MADSON RAFAEL BARBALHO DA SILVA

PRODUTIVIDADE, QUALIDADE TECNOLÓGICA E ANÁLISE FINANCEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO

Recife-PE

2023

MADSON RAFAEL BARBALHO DA SILVA

PRODUTIVIDADE, QUALIDADE TECNOLÓGICA E ANÁLISE FINANCEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco como um dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Manassés Mesquita da Silva

Recife-PE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586p Silva, Madson Rafael Barbalho da
PRODUTIVIDADE, QUALIDADE TECNOLÓGICA E ANÁLISE FINANCEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO / Madson Rafael Barbalho da Silva. - 2023.
90 f. : il.

Orientador: Manasses Mesquita da Silva.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2023.

1. Saccharum spp. 2. Manejo de irrigação. 3. Irrigação intermitente. 4. Produção agrícola. I. Silva, Manasses Mesquita da, orient. II. Título

CDD 630

MADSON RAFAEL BARBALHO DA SILVA

PRODUTIVIDADE, QUALIDADE TECNOLÓGICA E ANÁLISE FINANCEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL PULSADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

DEFENDIDA em __/__/__

Orientador:

_____

Prof. Dr. Manassés Mesquita da Silva (UFRPE)

Examinadores:

_____

Prof. Dr. Willian Fernandes de Almeida (IFES)

_____

Prof. Dr. Claudio Augusto Uyeda (IFPE)

_____

Dr. Djalma Euzébio Simões Neto (EECAC/UFRPE)

Agradecimentos

Minha gratidão a todas as pessoas que contribuíram para o sucesso desta dissertação. Seus esforços e apoio foram fundamentais ao longo dessa jornada, e sem eles, não teria sido possível alcançar os resultados que obtivemos.

Agradeço a Deus pela dávida da vida, por me conceder saúde e determinação para ir em busca dos meus objetivos.

Aos meus pais, Lucinalva Barbalho e Marco Alexandre, pela constante inspiração e por me mostrar o valor da determinação e persistência. A sabedoria e encorajamento de vocês foram a força motriz por trás do meu trabalho, e sou imensamente grato por ter vocês como meus pais. A minha irmã, Maria Luiza, agradeço por seu apoio moral durante todo o processo de pesquisa o qual foi muito importante para mim.

A minha namorada, Lívia Cavalcante, por sempre acreditar em mim e por ser a minha fonte de motivação. Seu amor, suporte e compreensão foram fundamentais durante essa jornada, e sou grato por tê-la ao meu lado.

Expresso minha profunda gratidão Professor Manassés por seu tempo e dedicação em me instruir neste percurso. A banca avaliadora por suas contribuições e sugestões valiosas que foram fundamentais para o aperfeiçoamento desta dissertação.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA/UFRPE), pela oportunidade de crescimento profissional, pela assistência e estrutura oferecidas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa e tornar possível a realização desta pesquisa.

A todos os profissionais da Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (EECAC), em especial a Evanilson Paulino pela disponibilidade e por todo apoio ao longo da realização do meu trabalho.

Por fim, agradeço também aos meus colegas Carolyne Souza, Fabiano Simplício, Catiana Vasconcelos, João Vitor e Sirleide Menezes, que me auxiliaram na condução do experimento e sempre estiveram disponíveis para me ajudar em qualquer momento. Sua dedicação e trabalho em equipe foram essenciais para o sucesso deste projeto.

A todos vocês, meu mais sincero obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO..... 10

ABSTRACT..... 11

CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS 12

1.1. Introdução 13

1.2. Hipóteses 14

1.3. Objetivos 14

1.3.1. Geral.....14

1.3.2. Específicos 14

CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....16

2.1. Cana-de-Açúcar: aspectos gerais 17

2.2. Irrigação da cana-de-açúcar 18

2.3. Estresse hídrico no crescimento e componentes de produção 21

2.4. Irrigação por gotejamento subsuperficial.....22

2.5. Irrigação por pulso 24

2.6. Qualidade tecnológica e produtividade.....25

2.7. Viabilidade econômica: importância.....27

CAPÍTULO III – ARTIGOS PRODUZIDOS 38

GOTEJAMENTO PULSADO NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE TECNOLÓGICA NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO.....39

ABSTRACT..... 40

1. INTRODUÇÃO 41

2. MATERIAL E MÉTODOS 42

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES 53

4. CONCLUSÕES 61

5. REFERÊNCIAS.....61

ANÁLISE FINANCEIRA DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO PULSADO NA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO.....65

ABSTRACT.....66

1. INTRODUÇÃO.....67

2. MATERIAL E MÉTODOS.....68

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....79

4. CONCLUSÕES.....86

5. REFERÊNCIAS.....87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise física e química do solo da área experimental. 42
Tabela 2. Análise físico-química da água de irrigação. 45
Tabela 3. Kc para cana-de-açúcar nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. 48
Tabela 4. Consumo hídrico aplicado em cada tratamento. 49
Tabela 5. Resumo da tabela de variância para a variável produtividade. 53
Tabela 6. Resumo da análise de variância (quadrado médio) para os atributos de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. 55
Tabela 8. Análise físico-química da água de irrigação. 71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui da disposição do experimento na EECAC. Carpina-PE, 2022. 43
Figura 2. (A) Filtros de areia e (B) injetor venturi e válvulas de controle de fluxo. 46
Figura 3. Teste de uniformidade de distribuição. 47
Figura 4. Precipitação mensal até o período de irrigação do experimento. 49
Figura 5. Análise do efeito das lâminas de irrigação (A.) e dos tipos de aplicação (B.) na produtividade da cana-soca. Letras distintas significam que houve diferença estatística entre os valores pelo teste de Scott Knott à ($p < 0,01$). 54
Figura 6. Valores médios de TCH observados no experimento. TCH = toneladas de colmo por hectare. 55
Figura 7. Análise dos tipos de irrigação na variável Pol. Letras distintas significam que houve diferença estatística entre os valores pelo teste de Scott Knott à ($p < 0,05$). 57
Figura 8. Análise do efeito das lâminas de reposição da ETc na variável Pureza. 57
Figura 9. Análise do efeito das lâminas de reposição da ETc na porcentagem de Fibra e PC. 58
Figura 10. Análise dos tipos de irrigação na variável açúcares redutores (AR). Letras distintas significam que houve diferença estatística pelo teste de Scott Knott à ($p < 0,01$). 59
Figura 11. Análise do efeito das lâminas de reposição na variável açúcares redutores totais (ART). 59
Figura 12. Análise do efeito das lâminas de irrigação (A.) e dos tipos de aplicação (B.) no rendimento produtivo da variável ATR. Letras distintas significam que houve diferença estatística entre os valores pelo teste de Scott Knott à ($p < 0,01$). 60
Figura 13. Valores médios do açúcar total recuperável (ATR). 60

Silva, M. R. B. **Produtividade, qualidade tecnológica e análise financeira da cana-de-açúcar sob gotejamento subsuperficial pulsado**, 2022. 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

RESUMO

O Brasil é considerado o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. Devido sua importância econômica, a cultura vem sendo amplamente estudada referente aos fatores limitantes de sua produção, destacando a baixa disponibilidade hídrica e a distribuição pluviométrica irregular como os maiores fatores de impacto nas quedas de produtividade. O manejo correto da irrigação traz benefícios como, aumento de produtividade e longevidade aos canaviais. Mas, alguns gargalos acabam impactando diretamente a implementação de sistemas de irrigação em cana-de-açúcar, destacando o alto custo de implantação. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a produtividade, qualidade tecnológica e análise financeira da aplicação de diferentes lâminas de irrigação via gotejamento subsuperficial pulsado em cana-de-açúcar. O delineamento utilizado foi blocos casualizados, com 10 tratamentos dispostos em arranjo fatorial 2 x 5, sendo duas formas de aplicação da irrigação (pulsada e contínua) e cinco lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (40, 60, 80, 100 e 120% da ETc), com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. As análises tecnológicas foram realizadas conforme o método CONSECANA. A análise financeira foi realizada por meio da comparação das diferentes lâminas de irrigação com as receitas dos tratamentos de maior produtividade nos dois tipos de aplicação. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, homocedastidade e análise de variância pelo teste F ($p<0,05$). Para cana-de-açúcar irrigada por gotejamento pulsado observou-se maior produtividade de colmos independente da lâmina aplicada. A reposição de 80% da ETc proporciona a máxima produtividade de colmos e incrementa as qualidades tecnológicas da cana. Além disso, a eficiência do uso da água foi maior quando a cultura foi irrigada com gotejamento pulsado. Repor 80% da ETc com irrigação pulsada proporciona receita líquida positiva já no primeiro ano de cultivo.

Palavras-chave: *Saccharum spp*; manejo de irrigação; irrigação intermitente; produção agrícola.

Silva, M. R. B. **Productivity, technological quality and financial analysis of sugarcane under subsurface drip**, 2022. Dissertation (Master in Agricultural Engineering) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil.

ABSTRACT

Brazil is considered the largest producer of sugarcane in the world. Due to its economic importance, the culture has been widely studied regarding the limiting factors of its production, highlighting water availability and irregular rainfall distribution as the greatest impact factores in productivity declines. The correct irrigation management brings several benefits such as increased productivity and longevity to the cane fields. However, some bottlenecks end up directly impacting the implementation of irrigation systems in sugarcane fields, highlighting the high cost of implementation. In this aspect, this work seeks to evaluate the productivity, technological quality and financial analysis of the application of different irrigation depths via subsurface drip in sugarcane system. The design used was randomized blocks, with 10 treatments arranged in a 2 x 5 factorial arrangement, with two ways of irrigation application (pulsed and continuous) and five replacement levels of crop evapotranspiration (40, 60, 80, 100 and 120% of ETc), with four repetitions, totaling 40 experimental plots. Technological analyzes followed the CONSECANA method. The financial analysis was obtained by comparing the different irrigation depths with the recipes of the treatments with the highest productivity in the two types of application. The data submitted to the normality test, homoscedastity and analysis of variance by the F test ($p < 0.05$). For sugarcane irrigated by pulsed drip irrigation, higher stalk productivity was observed regardless of the water level applied. The replacement of 80% of de ETc provides maximum stalk productivity and increases the technological qualities of the cane. Furthermore, water use efficiency is higher when the crop was irrigated with pulsed drip irrigation. Replacing 80% of the ETc with pulsed irrigation provides positive net income in the first year of cultivation.

Keywords: *Saccharum* spp.; irrigation management; intermittent irrigation; Subsurface drip; agricultural production.

CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das principais comodities agrícolas do mundo em termos de produtividade, e uma importante fonte de renda no meio rural. O Brasil destaca-se como o maior produtor desta cultura e também na comercialização e exportação de açúcar e etanol. No Nordeste brasileiro, o cultivo da cana-de-açúcar é desde a época colonial, o qual se concentra, principalmente, nas regiões litorâneas e zona da mata dos estados de Alagoas, Pernambuco e Paraíba.

Semelhante às outras culturas agrícolas, o sistema de produção depende de um conjunto de fatores, dentre eles evidencia-se a água. Diante disto, a irrigação é fundamental para o alcance de altas produtividades. Conforme Vieira (1986), geralmente as gramíneas respondem bem à irrigação, pois quando encontram umidade suficiente no solo, calor e luminosidade, apresentam elevado desenvolvimento. Existe uma relação direta entre a lâmina de irrigação aplicada durante a estação de cultivo e o rendimento da colheita: se a captação de água pela planta é limitada, a transpiração e outros processos da planta, como a fotossíntese, podem ser limitados (WALLER; YITAYEW, 2016).

Dentre os sistemas de irrigação existentes, o gotejamento subsuperficial apresenta melhor adaptação às características de cultivo da cana-de-açúcar (FERREIRA JUNIOR et al., 2014), sendo o mais sofisticado no ponto de vista de aproveitamento da água aplicada na cultura. Neste sistema, também conhecido como gotejo enterrado, a água é aplicada abaixo da superfície do solo, continuamente em gotas e molha a zona radicular verticalmente por gravidade e lateralmente por ação da capilaridade ajudando na conservação, reduzindo as perdas por evaporação em sistemas agrícolas (BAINBRIDGE, 2001; WEI WEI et al., 2010). Assim, destaca-se como a tecnologia que possui maior eficiência de uso da água na agricultura, economizando 25% a 50% de água em comparação à irrigação por sulcos (ALMEIDA et al., 2018).

A irrigação por gotejamento pode ser aplicada de forma contínua e/ou pulsada. Na técnica de irrigação contínua, a lâmina é aplicada sem interrupção, possibilitando formação de uma faixa úmida. Por outro lado, a irrigação por pulsos consiste na aplicação da lâmina de irrigação de forma fracionada em uma série de ciclos de irrigação “on-off”, onde cada aplicação é acompanhada por um período de repouso do sistema (ALMEIDA; LIMA; PEREIRA, 2015). Esta técnica é decorrente de uma combinação adequada do número de pulsos e da duração dos intervalos de tempo entre eles, no entanto, a mesma não tem um padrão estabelecido.

O sucesso do sistema de irrigação se dá pelo manejo correto da água e do solo, bem como o dimensionamento do seu projeto. Andrade Junior et al. (2012) avaliaram que o uso da irrigação na cana-de-açúcar resultou em acréscimo na produtividade agrícola e rendimento de açúcar, aumentando automaticamente os retornos financeiros. Assim, o estudo e adoção de tecnologias que minimizem o uso da água e ao mesmo tempo consiga aumentar a produtividade das culturas irrigadas é bastante relevante para potencializar a utilização dos sistemas de irrigação (ZAMORA et al., 2019).

No entanto, apesar do avanço nos estudos sobre potencialização dos resultados da irrigação, ainda se faz necessário o desenvolvimento de pesquisas científicas que abordem novas técnicas de manejos capazes de maximizar a eficiência e a economia gerada pela adoção de sistemas de irrigação que consigam diluir seus altos custos de implementação, em detrimento dos retornos financeiros diretamente associados ao aumento de produtividade, rendimento industrial e longevidade da lavoura.

1.2. Hipóteses

- A irrigação por gotejamento subsuperficial pulsada aumenta a produtividade quando comparada com a irrigação aplicada de maneira contínua;
- A adoção do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial pulsado melhora a qualidade tecnológica da cultura, aumenta a rentabilidade no cultivo e proporciona melhor eficiência do uso da água.

1.3. Objetivos

1.3.1. Geral

Avaliar a produtividade, qualidade tecnológica e análise financeira da cultura da cana-de-açúcar sob irrigação pulsada e contínua por gotejamento subsuperficial.

1.3.2. Específicos

- Mensurar os ganhos produtivos promovidos pela adoção do sistema de gotejamento subsuperficial pulsado;
- Analisar o efeito da irrigação por gotejamento subsuperficial pulsado na qualidade industrial da cana-de-açúcar;

- Avaliar os custos de implantação, utilização e manutenção do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em aplicação de diferentes lâminas de irrigação;
- Analisar o efeito das lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento pulsado e contínuo relacionando com a análise financeira;
- Determinar a lâmina que apresentou maior produtividade, qualidade e análise financeira.

CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIO-GRÁFICA

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cana-de-açúcar: aspectos gerais

A cana-de-açúcar é uma planta do tipo C4, ou seja, com alta capacidade fotossintética, e pertence ao gênero *Saccharum*, originária de regiões temperadas quentes e tropicais da Ásia (BNDS, 2008). Vem sendo cultivada no Brasil desde a época Colonial, desde então, as agroindústrias canavieiras se multiplicaram e modernizaram-se, levando o país à hegemonia mundial na produção de açúcar e álcool (CHAVES et al., 2003).

Na Região Nordeste, onde o início da colheita é mais tardio em relação à Região Centro-Sul, é esperado um aumento de 1,3% na produtividade, devendo alcançar mais de 62 t ha^{-1}. A produtividade média esperada para a cana-de-açúcar, na safra 2022/23, é de 72 t ha^{-1}, 1,9% superior a 2021/22 (CONAB, 2022).

O interesse por essa cultura aumentou a nível global, devido a sua importância econômica e produção de energia sustentável (NATARAJAN; SUBRAMANIAN; PAPAGEORGIOU, 2016). Em decorrência de sua relevância no cenário econômico mundial, a cultura da cana-de-açúcar vem sendo palco de diversos estudos referentes aos fatores limitantes de sua produção, destacando a disponibilidade hídrica como fator de maior impacto nas quedas de produtividade da cultura no Brasil. Esse fator é particularmente importante, onde a maior parte do cultivo é realizada em regime de sequeiro e as regiões produtoras apresentam distribuição sazonal das chuvas.

A produção em grande escala no Brasil da cana-de-açúcar iniciou na região Nordeste, mas atualmente, vem se concentrando na região Sudeste, onde as condições edafoclimáticas são mais favoráveis, por esse motivo a cultura tem alcançado maior rendimento produtivo ultimamente (CESCONETTO et al., 2018). Atualmente, na região Nordeste, o cultivo da cana-de-açúcar se concentra na zona da mata, que compreende a área mais próxima do litoral, devido as melhores condições pluviométricas (VIDAL, 2018).

É notável que, diversas pesquisas envolvendo a cultura da cana-de-açúcar cultivada em regime de sequeiro e irrigado, (SILVA et al., 2015; RODOLFO JUNIOR et al., 2016; ARLANCH et al., 2018), têm chegado a constatações unânimes quanto aos acréscimos na produção da cultura irrigada comparado à cultura em condições de sequeiro. Portanto, para satisfazer a expansão do mercado, o setor sucroalcooleiro deve investir em tecnologias que proporcionem o aumento do rendimento da cultura (FARIAS et al., 2008).

Outro aspecto importante para garantia de sucesso na produção da cana-de-açúcar é o manejo varietal, onde deve-se realocar variedades para locais e ambientes de produção mais favoráveis,

potencializando assim sua melhor resposta genética. 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 especificas de produção (BATISTA, 2013).

Coelho et al., (2019), verificou que o efeito varietal e a disponibilidade hídrica afetam diretamente a produção de biomassa e, consequentemente, seu poder calorífico. De acordo com Vianna (2014), os principais fatores ambientais que interferem na produtividade da cana-de-açúcar, são a temperatura do ar e a disponibilidade hídrica dos solos. Neste aspecto, a irrigação e os programas de melhoramento, são tecnologias chave, para o alcance de altas produtividades. Novas variedades vêm dando respostas positivas, quando submetidas a determinadas condições climáticas, podendo revelar diferentes respostas de crescimento e produção (BARROS et al., 2018; LEAL et al., 2017).

Outro aspecto que vem demonstrando relevância na produção da cana-de-açúcar é a nutrição mineral, sendo responsável por perdas de produtividade da cultura, em detrimento de manejos incorretos. De acordo com Rozane et al. (2013), a nutrição adequada ou equilibrada das plantas depende da quantidade e da relação entre os nutrientes e do conhecimento da dinâmica de acúmulo desses nutrientes na matéria seca ao longo do ciclo de cultivo, visto que o desequilíbrio nutricional provoca sérios prejuízos às plantas, modificando seu crescimento, seu estado reprodutivo e, consequentemente, sua produção.

Assim, é importante desenvolver estudos que visam aumentar a eficiência dos insumos para proporcionar uma melhor resposta do desenvolvimento da cana-de-açúcar, melhorando as relações nutricionais e hídricas da cultura, disponibilizando os nutrientes de forma prontamente assimilável a fim de atingir sua máxima capacidade produtiva (GRANGEIRO et al., 2011). É notória a importância de estudos que visem proporcionar melhores rendimentos operacionais das técnicas de irrigação, potencializando os ganhos produtivos e respeitando a sustentabilidade dos recursos naturais.

2.2 Irrigação da cana-de-açúcar

Historicamente a ascensão econômica e o desenvolvimento social de povos antigos estão associados a prática da irrigação. As grandes aglomerações que há mais de 4000 anos se fixaram às margens dos rios Huang Ho e Iang´tse-King no vasto império da China, do Nilo no Egito, do

Tigre e Eufrates na Mesopotâmia e do Ganges na Índia, surgiram e cresceram em virtude da utilização de seus recursos hídricos (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008).

Na atualidade, estudos sobre manejo correto da irrigação tornam-se mais necessários devido as crescentes elevações da temperatura que provocam mudanças nos regimes de chuvas, secas, ventos e correntes marinhas que agem sobre o mundo, causando assim irregularidades e afetando negativamente a produtividade das lavouras. Várias mudanças no clima ocasionadas pela ação antrópica, dentre elas o aquecimento global e os seus danos, estão aumentando a cada ano (VINOGRADOV; STREBKOV, 2020).

Neste caso, o manejo adequado da irrigação é um meio para mitigar esse problema, permitindo a aplicação da água nos períodos críticos da cultura, proporcionando aumento da produtividade e equilíbrio da oferta de alimentos no mundo. Segundo a ANA (2017), o uso da irrigação é uma prática agrícola que visa aumento de produtividade das culturas, em locais onde as chuvas são irregulares.

O manejo correto e eficiente do sistema de irrigação é de suma importância para proporcionar ambientes favoráveis ao desenvolvimento da cana-de-açúcar e otimizando o uso racional da água. De acordo com Castro (2000), os fatores abióticos como condições climáticas e disponibilidade hídrica, tendem a ter um papel de grande influência na produção da cana-de-açúcar, aumentando a emissão de brotos, perfilhamento, desenvolvimento e acúmulo de sacarose.

Segundo Carr e Knox (2011), a adoção da irrigação no cultivo da cana-de-açúcar proporciona melhorias no ambiente produtivo, resultando em aumentos na produção de colmos e de açúcar (SOARES et al., 2004; DALRI; CRUZ, 2008). Os métodos de irrigação mais utilizados nos canaviais são a aspersão e a localizada, dando destaque para a irrigação por gotejamento subsuperficial, que cada vez mais está sendo utilizada (ANDRADE JUNIOR et al., 2017), devido à eficiência do uso da água e adaptabilidade da cultura. Souza et al. (2012) obtiveram produtividade de até 190 t ha^{-1}, utilizando o manejo de irrigação por gotejamento subterrâneo.

Para satisfazer a expansão do mercado, o setor sucroalcooleiro deverá investir em tecnologias que proporcionem o aumento do rendimento da cultura (FARIAS et al., 2008). Desta forma, a técnica da irrigação destaca-se como uma das possibilidades para a otimização e potencialização da produção de cana-de-açúcar. No Estado de Pernambuco, o uso dessa tecnologia é imprescindível, visto que, a produção é fundamentada na agricultura de sequeiro ou apenas com uma irrigação de “salvação”, podendo acarretar em reduções na produtividade.

Grande parte das precipitações, na referida região concentram-se de três a quatro meses, sendo em geral, os demais meses do ano, baixos índices de chuvas (CHAVES et al., 2013), fato

este que proporciona redução no armazenamento de água no solo durante a época seca, levando a diminuições das taxas de evapotranspiração, de crescimento e de produtividade da cultura.

A agricultura irrigada desempenha papel fundamental na segurança e sustentabilidade alimentar mundial. A cana-de-açúcar, sendo uma cultura de ciclo prolongado (360-540 dias) e elevada exigência de água do plantio até a colheita (100-200 cm de água), merece grande atenção no sentido de serem adotadas tecnologias eficientes de gerenciamento de água em todo o mundo (SHANAN, 1992).

A cana-de-açúcar é produzida no Brasil normalmente sem o uso de irrigação. Os produtores brasileiros limitam sua produção em regiões onde ocorre um volume razoável de chuvas (SCARPARE et al., 2016). Embora essa cultura seja adaptada às condições de alta intensidade de luminosidade, altas temperaturas e escassez de água, a deficiência de água durante as fases de crescimento e desenvolvimento podem levar a reduções expressivas no colmo e produção de açúcar (DANTAS NETO et al., 2006).

De acordo com Shrivastava et al. (2011), a cultura da cana-de-açúcar é muito exigente em água no decorrer do seu ciclo. Estudos com lisímetros revelaram que uma planta de cana, do estádio de plântula até a colheita, requer 88-118 L de água / kg de cana e 884-1157 L água / kg de açúcar produzido, respectivamente, no ciclo de cana-planta e cana-soca.

Segundo Silva et al. (2009), a cultura requer umidade adequada durante todo o período vegetativo para a obtenção de rendimentos máximos, mas, na maioria das regiões, ocorre estresse hídrico, muitas vezes, severo, sendo que em 98% das áreas de cana-de-açúcar irrigadas no Brasil, é aplicada apenas irrigação de salvamento, correspondendo a uma lâmina de água de 20 a 80 mm por ano, cujo objetivo é reduzir parcialmente o déficit hídrico na estação seca (BELLEZONI et al. 2018).

Confirmando estudos feitos por Shrivastava et al. (2011), a cana-de-açúcar é uma importante cultura de alto rendimento, que não só produz 78% do açúcar em todo o mundo, mas também contribui para demandas de energia por cogeração e álcool como combustível, produzindo um grande número de recursos úteis de alto valor agregado, além de milhões de agricultores e trabalhadores estarem envolvidos em sua cadeia produtiva. Entende–se então a necessidade de estudos de métodos de irrigação mais eficientes que contribuam para o aumento de produtividade.

2.3 Estresse hídrico no crescimento e componentes de produção

A baixa disponibilidade hídrica afeta negativamente o crescimento dos cultivos agrícolas e é a principal causa da redução da produtividade (PIMENTEL, 2004; FLEXAS et al., 2006). As plantas tendem a diminuir a perda de água pelo fechamento parcial dos estômatos, o que evita a

redução do potencial da água na planta (ψ) em condições de déficit hídrico. De acordo com Inman-Bamber e Jager (1986), com valores de ψ_{12h} em torno de -1,3 MPa, o alongamento celular é praticamente nulo, e o alongamento das folhas é mais afetado pela falta de água do que o alongamento do colmo (INMAN-BAMBER, 2004; INMAN-BAMBER et al., 2008). A deficiência hídrica também causa acentuada senescência foliar e restrição ao surgimento de novas folhas, e o grau dessas alterações é decorrente da intensidade do estresse hídrico e depende do genótipo (SMIT; SINGELS, 2006).

Em locais cujo clima é adverso e o solo não apresenta atributos físicos que facilitem a disponibilidade hídrica e de nutrientes às raízes, é possível verificar diferenças morfofisiológicas no dossel da cultura, principalmente devido ao sistema radicular dispor de mecanismos capazes de detectar essas condições adversas do meio e enviar sinais à parte aérea, como alerta para controlar o crescimento e a expansão foliar (DAVIES; ZHANG, 1991).

Em ocasiões nas quais o volume de água no solo não atende às necessidades hídricas das plantas, principalmente na fase de crescimento das culturas, desenvolve-se um estresse hídrico, contribuindo para uma rápida resposta morfofisiológica da planta que acarreta no impedimento das trocas gasosas pelos estômatos e no cessamento da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O déficit hídrico nos solos não se restringe apenas às regiões áridas e semiáridas, já que mesmo em regiões úmidas, com distribuição irregular das chuvas e solos cujas características físicas podem limitar o armazenamento de água, o crescimento e a produção final das culturas podem ser impactados de forma significativa (INMAN-BAMBER, SMITH, 2005).

Apesar da alta capacidade de adaptação aos diferentes ambientes de produção da cultura da cana-de-açúcar, a limitação ambiental principalmente a disponibilidade hídrica, vem promovendo reduções de produtividade nos canaviais nordestinos. No Nordeste há má distribuição e redução do volume de chuvas, além da dificuldade no estabelecimento das plantas em campo, proporcionando mortalidade da socaria forçando uma renovação precoce dos canaviais, aumentando-se os custos de produção (CUENCA; DOMPIERI, 2016).

Na cultura da cana-de-açúcar, o estresse hídrico afeta diretamente o desenvolvimento foliar, ou seja, da área fotossintética ativa, diminuindo a absorção da radiação solar, provocando reduções na produção e emissão de folhas e brotações, aceleração do processo de senescência foliar e reduções no crescimento e no acúmulo de matéria seca nos colmos (OLIVEIRA et al., 2016; OLIVEIRA; et al., 2015; SILVA et al., 2015).

Inman-Bamber e Smith (2005) relatam que a suscetibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica é maior quando as plantas estão na fase de alongamento dos colmos, o que causa sérios prejuízos na produção de fitomassa e no rendimento de sacarose (ROBERTSON et al., 1999;

SILVA e COSTA, 2004). No entanto, Ramesh (2000) relata a alta demanda hídrica durante a fase de formação da cana-de-açúcar, que compreende os períodos de perfilhamento e de rápido crescimento e ocorre entre 60 e 150 dias após o plantio.

Dependendo do genótipo, da fase fenológica e do nível de restrição hídrica pode-se ter um desempenho diferenciado nas taxas fotossintéticas dos materiais vegetais analisados. Estima-se que reduções de até 35% na produção da fitomassa sejam causadas pela restrição hídrica (MACHADO et al., 2009).

Desta forma ressalta-se a importância da utilização de técnicas de irrigação que visam mitigar esses efeitos adversos em relação ao desenvolvimento da cultura.

2.4 Irrigação por gotejamento subsuperficial

A irrigação por gotejamento subsuperficial (IGS) é uma derivação do gotejamento superficial, sendo constituída por emissores instalados na subsuperfície do solo (enterrado), com possibilidades para a total mecanização do processo produtivo, tendendo à racionalização no uso da água, energia e aumentando a produção com aplicação diretamente na zona radicular da cultura. O sistema possibilita provimento de água às culturas pela aplicação de baixo volume, reduzindo as perdas hídricas nos sistemas de cultivo (PARKES et al., 2010), enquanto uma porção superficial do solo é mantida relativamente seca.

Um dos principais pontos positivos da adoção do IGS, é que o sistema permite a fertirrigação, diminuindo custos de mão-de-obra e uniformizando a aplicação dos fertilizantes junto à zona radicular da lavoura. Isso se dá, devido à alta uniformidade de aplicação da água proporcionada pela IGS (GIL et al., 2008).

Outro aspecto que se destaca na adoção ao sistema IGS, segundo Gornat e Nogueira (2015), a utilização do gotejamento subsuperficial traz maiores oportunidades para uma irrigação mais eficaz, possibilitando automatização de todo o sistema, diminuindo custos com mão-de-obra.

De acordo com Silva et al. (2019), a IGS é o método de irrigação que apresenta melhor adaptação na cultura da cana-de-açúcar, pois possui melhor eficiência do uso da água. A irrigação, além de aumentar a produtividade das culturas, permite ampliar o tempo de exploração da planta e o número de colheitas, principalmente culturas como a cana-de-açúcar.

Dentre 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 inferem 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 estádio 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).

No entanto, existe alguns problemas que estão relacionados ao uso da IGS, que pesam na tomada de decisão para adoção do sistema. Um dos principais pontos é o inconveniente do estabelecimento inicial da cultura, justamente por não umedecer a superfície do solo, o sistema não proporciona condições satisfatórias de umidade para a brotação dos colmos da cana-de-açúcar. Portanto, é necessário o uso de uma segunda alternativa, a qual seria o plantio nas épocas chuvosas, ou um segundo sistema de irrigação na fase inicial, frequentemente por aspersão, o que aumenta os custos e reduz o retorno econômico (CAMP, 1998; PAVERO, 2002; GUSHIKEN, 1995).

A IGS demanda de um ótimo sistema de filtragem e é imprescindível o uso de ventosas de duplo efeito em todos os pontos altos do sistema para prevenir sucção e entrada de solo na tubulação, especialmente em declives acentuados, mitigando o efeito de entupimento do sistema. Uma das maiores limitações do uso da irrigação por gotejamento subsuperficial é seu alto custo inicial (QASSIM, 2003).

Experimentos conduzidos por Andrade Junior 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^{-1} de N e de 60,1 kg ha^{-1} de K_2O, proporcionou máximo rendimento de colmos (207,4 Mg ha^{-1}).

Outro estudo de bastante relevância ocorreu 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) chegaram as conclusões que, a produtividade de colmos apresentou efeito significativo, com aumentos de 200,5 Mg ha^{-1} para 235,7 Mg ha^{-1} cana planta e 157,4 Mg ha^{-1} para 223,8 Mg ha^{-1} cana soca em função da reposição hídrica de 0 e 100%, respectivamente.

Isto só reforça a importância da realização das pesquisas voltadas para a irrigação por gotejamento subsuperficial na cultura da cana-de-açúcar, demonstrando os resultados positivos em função da adoção de novas tecnologias que visam o incremento de produtividade de forma economicamente viável.

2.5 Irrigação por pulsos

O objetivo da agricultura moderna é desenvolver técnicas que potencializem a produção, em que ao mesmo tempo, consigam reduzir custos e consequentemente aumentar a rentabilidade das culturas. Dentre os métodos existentes de irrigação, a irrigação localizada vem se destacando em sofisticação e inovação em todo o mundo. Suas características de uniformidade de aplicação e redução no consumo de água à torna extremamente atraente, principalmente nos dias atuais, onde há uma grande discussão sobre o melhor aproveitamento de água.

Dentre essas técnicas, a irrigação por pulsos vem sendo bastante estudada, no qual, vem demonstrando resultados positivos em relação a diminuição de custos de produção e maior rentabilidade. A irrigação por pulsos é a técnica em que a aplicação do volume necessário de cada irrigação programada é dividida em várias aplicações. Cada aplicação é seguida por um período de descanso do sistema (KARMELI; PERI, 1974). BAKEER et al. (2009) observaram que a irrigação pulsante resulta em incremento da relação entre volume de água armazenado na rizosfera por unidade de volume aplicado. Eid; Bakry; Taha (2013) observaram que o incremento do número de pulsos resulta em maior volume de solo com umidade igual ou superior à de campo.

A aplicação de água com intensidade maior que a capacidade de infiltração do solo resulta em acúmulo de água na superfície, denominado disco saturado, o qual é um fenômeno muito comum na irrigação por gotejamento. Em geral, a irrigação por pulsos potencializa a eficiência e uniformidade de distribuição de água, que ocorre por meio da diminuição da taxa de infiltração, pela modificação das condições físicas e hidrodinâmicas da camada superficial do solo, o que provoca uma desagregação de pequenas partículas do solo, que obstrui parte dos macroporos, podendo alcançar regimes de umidade semelhantes aos que resultam de baixas taxas de aplicação contínuas (AL-NAEEM, 2008; PHOGAT; SKEWES; COX, 2013).

Segundo Zin El-Abedin (2006), a aplicação por pulsos da água possibilita a redução da taxa média de irrigação para um nível que coincide com condutividade hidráulica do solo e minimiza a percolação abaixo da zona radicular efetiva.

A irrigação por pulsos é utilizada em todo o mundo, principalmente devido aos seus efeitos positivos sobre o aumento da produtividade, melhoria da qualidade dos produtos, economia no uso da água, redução do entupimento de emissores e redução do consumo de energia (BAKEER et al., 2009). Esta técnica vem sendo estudada em algumas culturas, em diferentes regiões do mundo, tais como na soja e batata no Egito (EID; BAKRY; TAHA, 2013; ABDELRAOUF et al., 2012) e no tomateiro na Arábia Saudita (ELNESR et al., 2015). Verifica-se nesses estudos

que além dos benefícios, há certa indefinição em relação ao número de pulsos a ser adotado. Por exemplo, no trabalho de Eid; Bakry; Taha (2013); foram testados 4, 8 e 12 pulsos, já no trabalho de Abdelraouf et al. (2012) foram utilizados 2, 3 e 4 pulsos.

Embora venha apresentando resultados promissores sobre as vantagens da aplicação dos pulsos na irrigação é preciso mencionar algumas observações feitas por pesquisadores em relação a esta técnica. De acordo com Al-Naeem (2008), a aplicação desta técnica está ligada a um incremento sobre os custos de implantação do sistema de irrigação, devido à utilização de válvulas automáticas e controladores de irrigação.

Da mesma forma, Almeida, Lima, Pereira (2015), mencionam que a adoção da irrigação por pulsos pode levar a tempos reduzidos de irrigação que podem comprometer o equilíbrio total das pressões na rede hidráulica, podendo ter redução de pressão em setores muito extensos, principalmente em suas extremidades se os tempos de irrigação forem menores que os tempos de avanço da água na rede hidráulica, sugerindo como solução o emprego de pequenos setores.

2.6 Qualidade Tecnológica e Produtividade

Segundo Tristão (2016), para alcançar produtos e subprodutos que atendam as demandas do mercado consumidor, oriundo da cana-de-açúcar, fundamentalmente tem-se que dispor de matéria-prima de qualidade. Para isso, adotar as recomendações de cultivo, que vão desde o planejamento agrícola, a escolha da variedade, época e técnica de plantio, local ou ambiente de cultivo, tratos culturais, colheita até o beneficiamento é de suma importância para garantia do sucesso na produção.

Observa-se que, a cultura apresenta potencial geneticamente favorável para acúmulo de açúcares, especialmente na forma de sacarose. Portanto, define-se qualidade da matéria prima como sendo o conjunto de características que devem atender às exigências da indústria, por ocasião do processamento, em especial o teor de sacarose e a fibra industrial (MOURA et al., 2005).

A qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção dos derivados da cultura é uma das premissas consideradas para se obter o melhor desempenho da extração do caldo (MACIEL; FIGUEIREDO; MARQUES, 2008). Um dos aspectos que são levados em conta para uma maior garantia de uma produção satisfatória e altos rendimentos agrícolas, é a qualidade do canavial, para que, o mesmo chegue até a indústria, potencializando os rendimentos e aumentando os números.

O caldo da cana-de-açúcar apresenta em sua constituição de 78% a 86% de água, 10% a 20% de sacarose, 0,1% a 2,0% de açúcares redutores, 0,3% a 0,5% de cinza e 0,5% a 1,0% de compostos nitrogenados, com pH que varia de 5,2 a 6,8 (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

A concentração de açúcares tem a sua destacada importância, uma vez que a partir destes são obtidos os demais subprodutos da cana-de-açúcar, dependendo diretamente de parâmetros tecnológicos como o teor de sólidos solúveis (°Brix), teor de sacarose (%), pureza do caldo (%), fibras (%) e percentagem de açúcar bruto (%), e por meio destes é possível calcular o potencial econômico da cana-de-açúcar (CORREIA et al., 2014). A partir dessas variáveis, calcula-se a quantidade de ATR (açúcar total recuperável), utilizada para definir o valor a ser pago pela matéria-prima (CONSECANA, 2006).

De acordo com Caldas (2005), a determinação do teor de sólidos (graus Brix) dissolvidos em uma solução é de suma importância, não apenas para o cálculo da pureza da matéria-prima e demais produtos da fabricação, mas também pelo seu uso nos balanços de massa e divisão de cana para a produção de açúcar e etanol. Vian (2009) definiu Pol (polarização) como o teor de sacarose aparente na cana. Para o setor sucroenergético, quanto mais elevados os teores de sacarose, melhor é a qualidade do caldo. Valores de Pol reduzidos implicam em menor disponibilidade de açucares redutores totais para ser convertido em etanol pelas leveduras, levando a perdas de eficiência e econômicas no processo industrial (EGGLESTON et al., 2001).

De acordo com Oliveira (2016), a porcentagem da fibra está diretamente atrelada à eficiência da extração da moenda, ou seja, quanto mais alta a fibra da cana, menor será a eficiência de extração. Por outro lado, variedades de cana que apresentam baixos teores de fibra são mais suscetíveis a danos mecânicos ocasionados no corte e transporte, o que favorece a contaminação e as perdas na indústria. Outro aspecto interessante é que, materiais com baixo teor de fibra são mais susceptíveis ao acamamento e à quebra pelo vento, o que a faz perder mais açúcar na água de lavagem e dificultando a colheita. De acordo com o Marques et al. (2008), aumentos nos teores de fibra de cultivares de cana-de-açúcar, por ocasião do florescimento, dificultam a extração de caldo em moendas, reduzindo sua eficiência, além disso, o teor de fibra possui relação negativa com o teor de açúcar. Baixo teor de fibra implica em baixa produção de bagaço, afetando negativamente indústrias que vendem excedentes de energia (cogeração).

Os açúcares redutores (AR) se referem à quantidade de glicose e de frutose presentes na cana, que afeta diretamente a sua pureza, já que refletem em menor eficiência na recuperação da sacarose pela fábrica. Por sua vez, os açúcares redutores totais (ATR) são os indicadores que representam a quantidade total de açúcares da cana (sacarose, glicose e frutose) (OLIVEIRA, 2016).

O ATR é determinado pela relação Pol/0,95, somado ao teor de açúcares redutores. Segundo Assis et al. (2004), o caldo extraído da cana-de-açúcar tem, aproximadamente, 15 °Brix com uma pureza que varia entre 80% e 87%. Ripoli e Ripoli (2004) estabeleceram que o pol deve ser superior a 14%, pureza maior que 85%, ART maior que 15%, AR menor que 0,8%, e acidez sulfúrica menor que 0,80g H_2SO_4.

Observa-se que, devido à comprovada importância da cultura para a economia nacional, anualmente, os centros de pesquisa em melhoramento vegetal distribuídos pelo país vêm selecionando híbridos que apresentem resistência a pragas e doenças, elevadas produtividades, e bons indicadores de qualidade das variáveis tecnológicas, como: teor de fibra e de açúcar recuperável na cana; pureza, sólidos solúveis, açúcares redutores e percentagem de sacarose aparente no caldo (LIMA NETO et al., 2013).

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). De maneira geral, a baixa produtividade observada em cultivos de cana se deve a fatores como irregularidade climática, ataque de pragas e doenças, cultivo em solos pobres em nutrientes e/ou manejo inadequado da fertilização (LAMBA; GREWAL; LUMAR, 2018). Maciel et al. (2008) afirmam que assegurar a boa qualidade da matéria-prima na área agrícola pode refletir em aumento de produtividade, economia no processo industrial e aumento na eficiência.

2.7 Viabilidade Econômica: importância

A viabilidade econômica é um fator indispensável para sua adoção pelos agricultores, visto que, os custos gerados pelo uso do sistema de irrigação devem ser pagos pelo incremento de produtividade proporcionado pelo fornecimento de água às plantas (FRIZZONE; BOTREL; FREITAS, 1994).

A viabilidade econômica usa a vida útil do projeto e a taxa de retorno esperada para comparar os custos e benefícios esperados, presentes e futuros, do sistema de irrigação proposto. Se o sistema for lucrativo com a taxa de retorno exigida, há a tomada de decisão de investir no sistema. As funções de produção de água das culturas, mostram a relação entre a lâmina sazonal da água aplicada e o rendimento das culturas. Combinados com informações de custos de água e energia, cálculo é possível a determinação da lâmina ideal da aplicação da água (WALLER; YITAYEW, 2016).

A irrigação por gotejamento subsuperficial devido seu alto custo de implantação, geralmente restringe-se as culturas consideradas nobres, de elevado valor econômico. Além disso, exige alto investimento em obras e aquisição de equipamentos para captação, condução, controle e distribuição da água, devendo ser considerados gastos com energia e mão-de-obra para operação e manejo do sistema, que representam importantes custos adicionais à produção (SILVA et al., 2004).

Mesmo com diversos pontos positivos da utilização do sistema de irrigação localizado (especificamente o gotejo subsuperficial), existem alguns entraves que causam receio de alguns produtores a adotarem tal tecnologia. Os que se destacam são: elevado custo de implantação do sistema, qualidade da água, intrusão das raízes e a sucção de partículas de solo pelos gotejadores quando o sistema é desligado (BERNARDO; SOARES; MONTOVANI, 2008).

Alguns desses fatores interferem diretamente na tomada de decisão na adoção dessa tecnologia, colocando em dúvida a viabilidade da implantação do sistema de irrigação localizada aplicada a canavicultura. De acordo com Schirmer e Mattuella (1992), a realização de pesquisas de campo para determinar a viabilidade da irrigação é onerosa, visto que a cultura da cana-de-açúcar, é semi-perene. A falta de dados concretos e demonstrativos por muitas vezes impede a avaliação da compensação do custo de implantação e manutenção do sistema em detrimento de seu retorno financeiro.

Os benefícios da irrigação da cana-de-açúcar passam pelo aumento da produtividade agrícola e longevidade das soqueiras, até os relacionados à redução de custos no processo produtivo, como a possibilidade de dispensa de arrendamentos (MATIOLI; FRIZZONE; PERES, 1998). Em regiões com má distribuição de chuva (temporal e espacial) os sistemas de irrigação se tornam imprescindíveis no fornecimento de água à cultura, pois nessas condições a ocorrência de estresse hídrico pode resultar em quebras de produtividade (DANTAS NETO et al., 2006).

Na análise de investimentos de longa duração onde os retornos ocorrem somente a partir de um determinado ponto da vida útil do sistema, a estimativa de investimentos e do custo operacional da irrigação da cana-de-açúcar, em função da lâmina anual que se pretende aplicar, assume grande importância (AFFÉRRI; TRENTO; PINTO, 2014). A receita bruta, a taxa interna de retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL) e o Payback Período são indicadores que avaliam a viabilidade dos investimentos. A taxa interna de retorno (TIR) torna o valor dos lucros futuros equivalentes aos dos gastos realizados com o projeto, caracterizando a taxa de remuneração do capital investido (FRIZZONE, 2005). O valor presente líquido (VPL) referência os benefícios e os custos ao presente, ou seja, traz os fluxos de caixa esperados durante a vida útil do projeto para o tempo zero a uma taxa de juros que representa o mínimo retorno para o capital. O período

de recuperação do capital ou Payback período é o tempo que o projeto leva para retornar o capital investido e a relação Benefício/Custo (B/C) atua como um indicador que verifica se os benefícios são maiores que os custos (GITMAN, 1997).

Diante do exposto, observa-se que é de extrema relevância a realização de trabalhos de cunho científico, que venham indicar em que condições a eficiência econômica e sua viabilidade ocorrerá depois da implantação do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial na cultura da cana-de-açúcar. Estes estudos permitem a possibilidade do produtor rural acessar alternativas que venham a maximizar o seu potencial produtivo, bem como, a mitigar os efeitos ambientais causados pelo uso intensivo da água nos processos produtivos relacionados a produção da cultura da cana-de-açúcar em nossa região.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELRAOUF, R. E.; ABOU-HUSSEIN, S. D.; REFAIE, K.; EL-METWALLY, I. M. Effect of pulse irrigation on clogging emitters, application efficiency and water productivity of potato crop under organic agriculture conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Amman, v.6, n.3, p.807-816, 2012.

AFFÉRRI, A.; TRENTO, E.; PINTO, R. Como fazer um plano diretor de irrigação de canaviais. Projeto cana pede água. Disponível em: http://www.gifc.com.br/no-access/download-id/8794/ . Acesso em: 12 Ago. 2021.

Al-NAEEM, M. A. Use of pulse trickles to reduce clogging problems in trickle irrigation system in Saudi Arabia. Pakistan Journal of Biological Sciences, Islamabad, v. 1, n. 1, p. 68- 73, 2008.

ALMEIDA, W. F.; LIMA, L. A.; PEREIRA, G. M. Drip pulses and soil mulching effect on american crisphead lettuce yield. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 35, n. 6, p. 1009-1018, 2015.

ALMEIDA, W. F.; PAZ, V. P. S.; JESUS, A. P. C.; SILVA, J. S.; GONÇALVES, K. S.; OLIVEIRA, A. S. Yield of green beans subjected to continuous and pulse drip irrigation with saline water. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, p. 476-481, 2018.

ANA - Agência Nacional de Águas. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: Distrito Federal, p. 86, 2017.

ANDRADE JUNIOR A. S.; BASTOS E. A.; RIBEIRO V. Q.; ATHAYDE SOBRINHO C.; SILVA P. H. S. 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.

ARLANCH, A. B.; GAVA, G. J. C.; KÖLLN, O. T.; DELLABIGLIA, W. J.; SCARPARE, F. V.; PIRES, R. C. M. Índices fisiológicos e a produtividade de genótipos de cana-de-açúcar nos manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. Irriga, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 112-124, 2018.

ASSIS, P. C. O.; LACERDA, R. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. A. Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. Revista de Biologia e Ciências da Terra, São Cristóvão, v. 4, n. 2, p. 337-342, 2004.

BAINBRIDGE, D. A. Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation. Agriculture Water Management, v. 48, n. 2, p. 79–88. 2001.

BAKEER G.A.A.; EL-EBABI F.G.; EL-SAIDI M.T.; ABDELGHANY A. R. E. Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in sandy soils. Misr Society of Agricultural Engineering, Cairo, v. 26, n. 2, p. 736-765, 2009.

BATISTA, L. M. T. Avaliação morfofisiológica da cana-de-açúcar sob diferentes regimes hídricos. Brasília: FAV/UNB, 2013. 125 p. Dissertação de Mestrado.

BARROS, T. H. S.; PEREIRA, A. P. A.; SOUZA, A. J.; RIBEIRO, N. L.; CARDOSO, E. J. B. N.; COELHO, R. D. Influence of Sugarcane Genotype and Soil Moisture Level on the Arbuscular Mycorrhizal Fungi Community. Sugar Tech, v. 20, p. 1-9, 2018.

BELLEZONI, R. A., DEEPAK S., ALBERTO A. V., AMARO O. P. J. Water-energy-food nexus of sugarcane ethanol production in the state of Goiás , Brazil : An analysis with regional input-output matrix. Biomass and Bioenergy 115. Elsevier Ltd: 108-119. 2018.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual da Irrigação. 8. ed. Viçosa, MG: Universitária, 2008. 625 p.

BNDS. Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Organização BNDS/CGEE. Rio de Janeiro: BNDS, 2008, 316p.

CALDAS. C. Teoria básica das análises sucroalcooleiras. Maceió: Central Analítica, 2005.

CAMP, C.R. Subsurface drip irrigation: a review. Trasactions of ASAE, v.41, n.5, p.1353-1376, 1998.

CARR, M. K. V.; KNOX, J. W. The water relations and irrigation requirements of sugarcane (Saccharum officinarum): A review. Experimental Agriculture. v.47, p.1- 25, 2011.

CASTRO, P. R. C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISIOLOGIA DA CANA-DEAÇÚCAR, 2000, Piracicaba. Anais... Piracicaba: STAB, 2000. 9 p.

CESCONETTO, L. B.; PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R. G.; MARCATTI, G. E. Potentiality of sugarcane expansion under irrigation conditions considering natural and potential water availability. Agricultural Water Management, 203, p. 162-171, 2018.

CHAVES, J. B. P.; SILVA, C. A. B. da; SILVA, F. C. da; CESAR, M. A. A. Produção, Qualidade e Mercado de Açúcar Mascavo, Melado e Rapadura, no Brasil. In: Silva, F. C. da; Cesar, M. A. A.; Silva, C. A. B. da. (ed.). Pequenas indústrias rurais de cana-de-açúcar: melado, rapadura e açúcar mascavo. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, Cap. 1, p. 11-20. 2003.

CHAVES, L. H. G.; DANTAS NETO, J.; FERNANDES, J. D.; ALVES, H. S.; RIBEIRO, P. H. P. Adubação silicatada e lâminas de irrigação no crescimento e produção da cana-deaçúcar. Global Science and Technology, Rio Verde, v. 6, n. 3, p. 67-78, 2013.

COELHO, R. D.; LIZCANO, J. V.; BARROS, T. H. S.; BARBOSA, F. S.; LEAL, D. P. V.; SANTOS, L. C.; RIBEIRO, N. L.; FRAGA JUNIOR, E. F.; MARTIN, D. L. Effect of water stress on renewable energy from sugarcane biomass. Renewable & Sustainable Energy Reviews, v. 103, p. 399-407, 2019.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de Safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2022/2023. Primeiro levantamento, v. 9, n. 1, p. 1-57, 2022.

CONSECANA, Conselho de Produtores de Cana-de-Açúcar. Manual de instruções. 5. ed. Piracicaba – SP, 2006. 112 p.

CORREIA, C. B. G.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; CARVALHO, C. M.; SILVA, L. L.; FEITOSA, S. 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.

CUENCA, G. M. A.; DOMPIERI, M. H. G. Dinâmica espacial da canavicultura e análise dos efeitos sobre o valor bruto da produção, na região dos tabuleiros costeiros da Paraíba, Pernambuco e Alagoas. Rev. Econ. NE, v. 47, n. 4, p. 91–106, 2016.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. Engenharia Agrícola, v.28, p.516-524, 2008.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

DAVIES, W. J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. Annual review of plant biology, v. 42, n. 1, p. 55-76, 1991.

EGGLESTON, G.; LEGENDRE, B.; RICHARD, C. Effect of harvest method and storage time on sugarcane deterioration I: cane quality changes. International Sugar Journal, London, n. 103, p. 331-338, 2001.

EID, A. R.; BAKRY, B. A.; TAHA, M. H. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. Agricultural Sciences, v. 04, n. 05, p. 249–261, 2013.

ELNESR, M. N., ALAZBA, A. A., ZEIN EL-ABEDEIN A. I., EL-ADL, M. M. Evaluating the effect of three water management techniques on tomato crop. Plos one, Califórnia, v.10 n.6, 2015. Disponível em: http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371%2Fjournal.pone.0129796. doi:10.1371/journal.pone.0129796>. Acesso em: 04 dez 2020.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L. de; ESCOBEDO, J. F.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; ARAUJO NETO, R. A. de. Cana-de-açúcar com irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entrelinhas de plantio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 8, p. 798-804, 2014.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBO, M.; BOTA, J.; GALMES, J.; HENKLE, M.; MARTINEZ-CANELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO2 concentration. New Phytologist, v.172, p.73-82, 2006.

FRIZZONE, J. A. Análise de decisão econômica em irrigação. Série Didática. Departamento de Engenharia Rural. Piracicaba: Esalq, n.17, p.1-371, 2005.

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; FREITAS, H. A. C. Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô-central, em culturas de feijão, utilizando energia elétrica e óleo diesel. Engenharia Rural, Piracicaba, v.5, n.1, p.34-53, 1994.

GIL, M.; SINOBAS, L. R.; JUANA, L.; SANCHEZ, R.; LOSADA, A. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: Effect on water-application uniformity. Irrigation Science, v.26, p.451-458, 2008.

GITMAN, L. J. Princípios de administração financeira. 7.ed. São Paulo, Harbra, 1997.56p.

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 04 Dez. 2020.

GRANGEIRO, L. C.; FREITAS, F. C. L.; NEGREIROS, M. Z.; MARROCOS, S. T. P.; LUCENA, R. R. M.; OLIVEIRA, R. A. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.6, p. 11-16, 2011.

GUSHIKEN, E. C. Irrigating with reclaimed water through permanent subsurface drip irrigation systems. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, St. Joseph. Proccedings...St. Joseph: ASAE, 1995. p.269-274.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M.L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. Australian Journal of Agricultural Research, v.59, p.13-26, 2008.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water defi cits. Field Crops Research, v.92, p.185-202, 2005.

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

INMAN-BAMBER, N.G.; JAGER, J.M. de. Effect of water stress on growth, leaf resistance and canopy temperature in fi eld-grown sugarcane. Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association, v.60, p.156-161, 1986.

KARMELI, D.; PERI, G. Basic of pulse irrigation. Research Engineer, v. 100, n. 3, pág. 309-319, 1974.

LAMBA, S.; GREWAL, K.S.; LUMAR, V. Impact of fertilizer levels on sugarcane yield and available nutrients of clay loam Soil: A sustainable approach. International Journal of Chemical Studies. v.6, n.6, p.1160- 1164, 2018.

LEAL, D. P. V.; COELHO, R. D.; BARBOSA, F. S.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; MAURI, R.; SANTOS, L. C. Water productivity for sugar and biomass of sugarcane varieties. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso), v. 21, p. 618-622, 2017.

LIMA, U. A.; BASSO L. C.; AMORIM, H. V. Produção de etanol. In: SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. (Coord). Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2001. v. 3. cap. 1, p. 1-40, 2001.

LIMA NETO, J. F.; DUTRA FILHO, J. A.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, A. E. P.; SILVA, L. J.; FERREIRA, G. E. Avaliação agroindustrial e parâmetros genéticos de clones UFRPE de cana-de-açúcar no litoral norte de Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Pernambucana, v. 18, p. 8–13, 2013.

MACIEL, B. F.; FIGUEIREDO, I. C.; MARQUES, M. O. A qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de álcool. Nucleus, Ituverava, p. 82-92, 2008. Edição especial. Disponível em: http://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/ article/view/102>. Acesso em: 17 out. 2020.

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, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, dezembro, 2009.

MARQUES, M. O.; MACIEL, B. F.; FIGUEIREDO, I. C.; MARQUES, T. A. considerações sobre a qualidade da matéria-prima. In: MARQUES, MO.; MUTTON, M. A.; NOGUEIRA, T. A. R.; TASSO JÚNIOR. L. C.; NOGUEIRA, G. A.; BERNARDI J. H. Tecnologias na agroindústria canavieira. Jaboticabal: UNESP, 2008. p. 9-16.

MATIOLI, C. S.; FRIZZONE, J. A.; PERES, F. C. Irrigação suplementar cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para a Região Norte do Estado de São Paulo. STAB, Piracicaba, v.17, n.2, p.42-45, 1998.

MOURA, M. V. P. F.; FARIAS, C. H. DE A.; AZEVEDO, C. A. V. DE; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H. M. DE; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. Ciência e Agrotecnologia, v.29, p.753-760, 2005.

NATARAJAN. R., SUBRAMANIAN. J., PAPAGEORGIOU. Hybrid learning of fuzzy cognitive maps for sugarcane yield classification. Computers and Electronics in Agriculture, 127: 147–157, 2016.

OLIVEIRA, A. R. DE; BRAGA, M. B.; WALKER, A. M. Comportamento vegetativo e qualidade tecnológica de cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico em condições semiáridas do Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 08, p. 525–541, 2015.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; SIMÕES, W. L.; WALKER, A. M. Influência de lâminas de irrigação nas características tecnológicas de cana-de-açúcar. Petrolina: Embrapa Semiárido (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 127), 2016. 22p.a

PARKES, M.; YAO, W. W.; MA, X. Y.; LI, J. Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. Irrigation Science, v.29, p.331-339, 2010.

PAVERO, J. Subsurface drip irrigation: Is it a good choice for your operation? Published by University of Nebraska and the U.S. Department of Agriculture, 2002. Disponível em:<http://cropwatch.unl.edu/archives/2002/crop02-8.htm#top>. Acesso em 20 Dez. 2020.

PIMENTEL, C. A relação da planta com a água. Seropédica: Edur, 2004. 191p.

PHOGAT, V.; SKEWES, M. A.; COX, J. W. Evaluation of soil plant system response to pulsed drip irrigation of an almond tree under sustained stress conditions. Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 118, n. 1, p. 1-11, 2013.

QASSIM, A. Subsurface irrigation: a situation analysis. Published by Water Conservation and Use in Agriculture Jan. 2003. Disponível em: <http://www.wca-infonet.org/cds_upload/1058151636725_SUBSURFACE_IRRIGATION.PDF> . Acesso em: 10 Dez. 2020.

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

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Barros & Marques Editoração Eletrônica, 2004. 302 p.

RODOLFO JUNIOR, F.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; ROCHA, O. C.; BATISTA, L. M. T.; SILVA, F. A. M. Produtividade e qualidade de variedades de cana-de-açúcar de terceira soca sob regime hídrico variável. Nativa, Sinop, v. 4, n. 1, p. 36-43, 2016.

ROBERTSON, M.J.; MUCHOW, R.C.; DONALDSON, R.A.; INMAN-BAMBER, N.G.; WOOD, A.W. Estimating the risk associated with drying-off strategies for irrigated sugarcane before harvest. Australian Journal of Agricultural Research, v.50, p.65-77, 1999.

ROZANE, D. E.; PRADO, R. M.; NATALE, W.; ROMUALDO, L. M.; FRANCO, C. F. Caracterização biométrica e acúmulo de nutrientes em porta-enxertos de caramboleira cultivada em solução nutritiva. Revista Ciência Agronômica, v. 44, p. 426-436, 2013.

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.

SCARPARE, F. V.; HERNANDES, T. A. D.; RUIZ-CORRÊA, S. T.; KOLLN, O. T.; CASTRO GAVA, G. J.; SANTOS, L. N. S.; VICTORIA, R. L. Sugarcane water footprint under different management practices in Brazil: Tietê/Jacaré watershed assessment. Journal of Cleaner Production, v. 112, p. 4576-4584, 2016.

SCHIRMER, L. M.; MATTUELLA, J. L. Análise da viabilidade econômica da irrigação da cultura do milho pelo sistema pivô-central no Rio Grande do Sul. Análise Econômica, Porto Alegre, v.10, n.17, p. 127-139, 1992.

SHANAN, L. Planning and management of irrigation systems in developing countries. Agricultural Water Management, v. 22, n. 1-2, p. 3-234. 1992.

SHRIVASTAVA, A. K., SRIVASTAVA, A. K. & SOLOMON, S. Sustaining sugarcane productivity under depleting water resources. Current Science, v. 6, p. 748-754. 2011.

SILVA, E. M. P.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E.A.; RIBEIRO, V. Q. Produtividade de colmos e eficiência do uso da água em cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial. Irriga, v. 24, n. 1 , p. 162-176, 2019.

SILVA, S.; DANTAS NETO, J.; TEODORO, I.; SOUZA, J. L. de; LYRA, G. B.; SANTOS M. A. L. dos. Demanda hídrica da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento nos tabuleiros costeiros de Alagoas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 9, p. 849–856, 2015.a

SILVA, C.T.S., AZEVEDO, H.M., AZEVEDO C.A.V., DANTAS NETO, J., CARVALHO, C. M., FILHO, R.R.G. Crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. v. 3, n.1, p. 03-12. 2009.

SILVA, A.L.C. da; COSTA, W.A.J.M. de. Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. Tropical Agricultural Research, v.16, p.1-12, 2004.

SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. Field Crops Research, v.98, p.91-97, 2006.

SOARES, R. A. B.; OLIVEIRA, P. F. M.; CARDOSO, H. R.; VASCONCELOS, A. C. M.; Landell, M. G. H.; Rosenfeld, V. Efeito da irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade de duas variedades de cana-de-açúcar colhida em início de safra. STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.22, p. 38-41, 2004.

SOUZA, J. K. C.; SILVA S.; DANTAS NETO J.; SILVA M. B. R.; TEODORO I. Importância da irrigação para a produção de cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil. Revista Educação Agrícola Superior, v.27, n. 2, p. 33-140, 2012.

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

TRISTÃO, P. Agroindústria da produção de cachaça tem grande importância econômica e social. 2016. Disponível em:< https://www.cpt.com.br/> . Acesso em: 29 abr. 2020.

WALLER, P.; YITAYEW, M. Irrigation and Drainage Engineering. Springer International Publishing Switzerland, n.1, p. 19-32, 2016.

WEI WEI, Y., XIAO, Y. M., JUAN, L. & MARTIN, P. Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. Journal of Irrigation Science 29 (4), p. 331–339. 2010.

VIAN, C. E. F. Qualidade de matéria-prima. In: MARIN, F. R. (Ed.). Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar. Brasília, DF, 2009. Disponível em:<http://www.unicadata.com.br/>. Acesso em: 28 nov. 2020.

VIANNA, M. S. Risco climático para a cultura da cana-de-açúcar e estratégias de manejo de irrigação complementar para a sua minimização em diferentes regiões brasileiras. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

VIDAL, M. F. Setor sucroenergético nordestino. Caderno Setorial Etene, 25. 2018.

VIEIRA, D.B. A irrigação sistemática na cana-de-açúcar. Álcool & Açúcar, São Paulo, n.30, p.24-30, 1986.

VINOGRADOV, Y., STREBKOV, D. Research on the Anthropogenic Impact on Climate Change. International Journal of Energy Optimization and Engineering, v.9, n.2, p. 12- 24, 2020.

ZAMORA, V. R. O.; SILVA, M. M.; SILVA, G. F.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MENEZES, D.; MENEZES, S. M. Pulse drip irrigation and fertigation water depths in the water relations of coriander. **Horticultura Brasileira**, v.37, n.1, p.22-28, 2019.

ZIN EL-ABEDIN, T. K. Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil. Agricultural Engineering, Pavia, v. 22, n. 14, p. 1032-1050, 2006.

CAPÍTULO III – ARTIGOS PRODUZIDOS

GOTEJAMENTO PULSADO E CONTÍNUO NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO: Este estudo tem como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes de lâminas de irrigação sob gotejamento pulsado na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina - EECAC, com a variedade RB041443 em seu segundo ciclo (cana-soca). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 5, sendo dois tipos de irrigação (pulsada e contínua) e cinco lâminas de reposição da ETc (40%, 60%, 80%, 100% e 120%), com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Foram realizadas análises tecnológicas seguindo os preceitos do método CONSECANA. Os resultados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. As plantas submetidas ao gotejamento por pulsos apresentam maior produtividade de colmos. A aplicação pulsada da lâmina correspondente a 80% ETc maximiza a produtividade de colmos, bem como incrementa as qualidades tecnológicas da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* spp.; irrigação intermitente; rendimento industrial; rendimento produtivo.

PULSED AND CONTINUOUS DRIPPING ON SUGARCANE PRODUCTIVITY AND QUALITY

ABSTRACT: This study aims to evaluate the effect of applying different irrigation depths under pulsed dripping on the productivity and technological quality of sugarcane. The experiment was carried out at the Carpina Sugarcane Experimental Station - EECAC, with the RB041443 variety in its second cycle (soothing cane). The experimental design used was in randomized blocks in a 2 x 5 factorial scheme, with two types of application (pulsed and continuous) and five ETc replacement depths (40, 60, 80, 100 and 120%), with four replications, totaling 40 experiments plots. Technological analyzes were carried out following the precepts of the CONSECANA method. The results were submitted to analysis of variance by the F test at the 5% probability level. Plants subjected to pulse dripping have higher stem productivity. The pulsed application of the blade corresponding to 80% ETc maximizes the productivity of the stalks, as well as increases the technological qualities of the sugarcane.

Keywords: *Saccharum officinarum* spp., intermittent irrigation, industrial yield; productive yield.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, diversas lavouras estão sofrendo reduções drásticas na produtividade em função de diversos fatores, entre eles, o déficit hídrico decorrente da má distribuição de chuvas. Diante disto, o uso da irrigação visa mitigar esses efeitos adversos, aumentando a produtividade e consequentemente elevando os retornos financeiros.

Na cana-de-açúcar o estresse hídrico provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estádio de desenvolvimento da planta (LEVITT, 1980). A redução na atividade fotossintética pela redução na assimilação do CO_2 e a senescência das folhas são também indicadores do efeito do déficit hídrico de uma cultura (FAVER; GERIK; THAXTON et al., 1996). A irrigação é tão relevante quanto à aplicação de fertilizantes e o controle de plantas invasoras, pragas e doenças, para o aumento da produtividade, não somente em regiões com fortes índices de deficiência hídrica, como também em áreas onde, apesar de pluviosidades favoráveis, são irregulares, limitando assim o crescimento e a produtividade das culturas (DALRI, 2008).

A cana-de-açúcar, sendo uma cultura de ciclo prolongado (360-540 dias) e elevada exigência de água do plantio até a colheita, merece grande atenção no sentido de serem adotadas tecnologias eficientes de gerenciamento de água em todo o mundo (SHANNAN, 1992). Atualmente, o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial é o que se destaca na eficiência de uso da água e sofisticação quanto ao fornecimento hídrico para a cultura da cana-de-açúcar. Apesar disto, deve-se sempre buscar potencializar os sistemas tornando-os mais eficiente e assim garantindo o máximo potencial produtivo das lavouras.

Visando potencializar o sistema, a irrigação pulsada ou intermitente é uma alternativa que pode otimizar a eficiência do uso da água pelas plantas. Esta técnica consiste na aplicação da lâmina de irrigação através de intervalos nos quais as plantas recebem uma pequena quantidade de água seguido por um período sem água, repetindo o ciclo até que toda a lâmina requerida seja aplicada (ALMEIDA et al., 2018).

A parte de maior importância econômica da planta é o colmo sendo dividido nos seguintes constituintes de interesse agronômico: a fibra (10 a 12%), composta por celulose, hemicelulose e lignina; e o caldo (82 a 90%), que apresenta 75 a 82 % de água e 18 a 25% de sólidos solúveis (estádio de maturação), sendo este o constituinte de maior importância na indústria sucroalcooleira. Dos sólidos solúveis presentes no caldo, 1 a 2% são não açúcares (sais inorgânicos e orgânicos) e o restante composto por açúcares, sendo 14 a 24% sacarose, 0,2 a 1,0% glicose e 0,0 a 0,5% frutose (MASCHIO, 2011).

Diante do exposto, desenvolveu-se o presente estudo com o objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes de lâminas de irrigação (40%, 60%, 80%, 100% e 120% da ETc) sob gotejamento pulsado na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área experimental

O trabalho foi desenvolvido no período de dezembro de 2020 a dezembro de 2021, na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina, Carpina – PE, cujas coordenadas geográficas 7º 51’ 24.31’’ S e 35º 14’ 16.97’’ W e altitude média de 184 m, e conduzido no primeiro ciclo de cana soca, no ano de 2021.

O clima predominante é tropical chuvoso (As) com verão seco, de acordo com a classificação de Köppen, temperatura média anual de 24º C e precipitação média anual é de aproximadamente 1.400 mm, (MENDES, 2019). O solo predominante da área experimental é o Argissolo Amarelo distrófico abrupto (EMBRAPA, 2013a). Na tabela 1 observa-se as características físicas e químicas, nas camadas de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m.

Tabela 1. Análise física e química do solo da área experimental.

Análises Físicas

Camada	Areia	Silte	Argila	Textura	Ds	Θcc	Θpmp
Cm	---------- g kg^{-1} ----------			-	Mg m^{-3}	------m^3 m^3------	
0 – 20	848,7	13,9	137,4	Franco arenosa	1,72	0,15	0,08
20 – 40	826,2	16,4	157,4	Franco arenosa	1,86	0,18	0,12

Análises Químicas

Profundidades	pH (água)	Ca	Mg	Al	Na	K	P	C.O	M.O	H + Al
Cm	Adm	$cmol_c$ dm^{-3}				mg dm^{-3}		g kg^{-1}	$cmol_c$ dm^{-3}	
0-20	5,8	5,16	1,05	0	0,06	0,12	12	0,00099	1,98	2,8
20-40	5,9	2,31	0,93	0	0,04	0,09	12	0,00094	1,88	3

Ds: Densidade do solo; θcc: Umidade volumétrica na Capacidade de campo; θpmp: Umidade volumétrica no Ponto de murcha permanente; C.O: carbono orgânico; M.O: matéria orgânica; H+Al: acidez potencial.

2.2 Delineamento Experimental

O trabalho foi realizado em campo, ou seja, condições climáticas não controladas. O delineamento foi em blocos casualizados com arranjo fatorial 2 x 5, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Os tratamentos foram constituídos por dois tipos de aplicação da irrigação: irrigação pulsada e contínua. E foram aplicadas cinco lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (40%, 60%, 80%, 100% e 120% da ETc). Para a condição de irrigação pulsada definiu-se quatro pulsos de irrigação com intervalo de 40 minutos de repouso entre as lâminas aplicadas.

As unidades experimentais foram compostas por quatro linhas duplas medindo 7 m de comprimento, espaçamento duplo combinado de 1,4 m entre as fileiras e 0,6 m por linhas, as fitas de gotejo foram enterradas a 0,2 m, conforme Embrapa (2013b) e espaçadas a 2 m, totalizando 56 m^2. A área utilizada para a coleta dos dados foram dois sulcos combinados centrais (quatro linhas), descartando-se um metro das extremidades, respeitando o efeito bordadura conforme apresentado na figura 1.

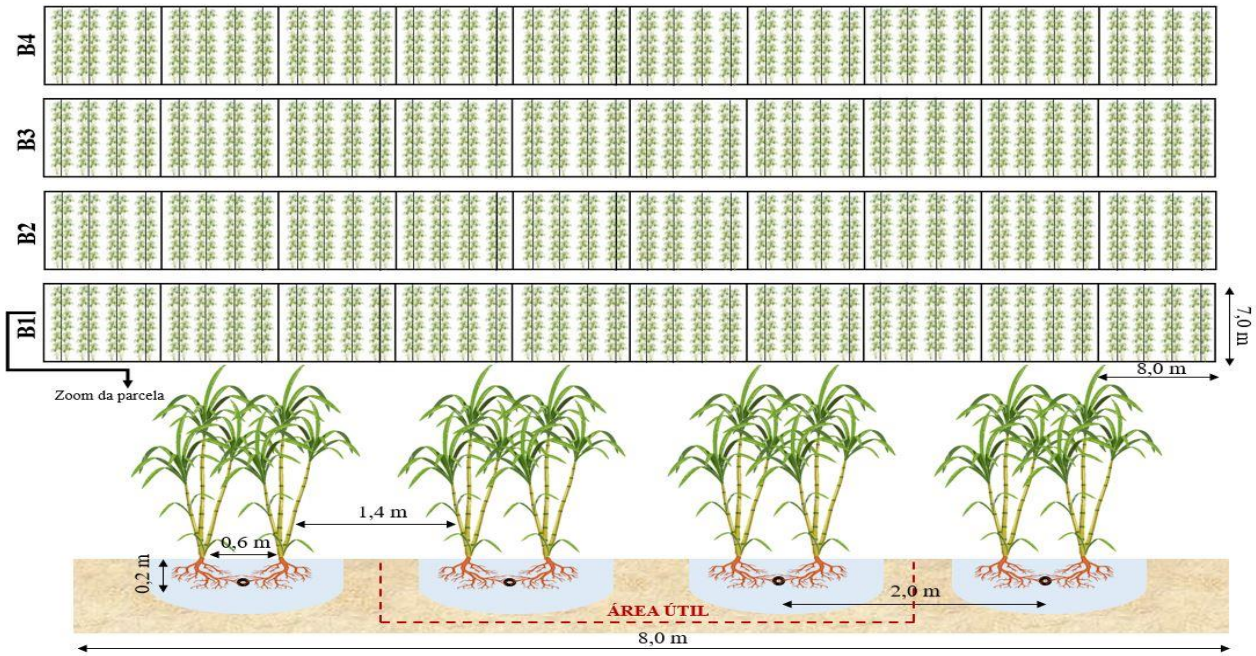

Figura 1. Croqui da disposição do experimento na EECAC. Carpina-PE, 2022.

2.3 Descrição da adubação

2.3.1 Cana-Planta

O levantamento histórico da adubação foi realizado, e observou-se que a área experimental foi quimicamente corrigida conforme o resultado da análise de solo, assim, a adubação nitrogenada foi realizada seguindo as recomendações de Cavalcanti et al. (2008) de forma parcelada,

aplicando-se 50% da dose no plantio e os demais 50% via fertirrigação realizada a cada 15 dias. As doses de N e K_2O foram fornecidas por meio dos fertilizantes ureia e cloreto de potássio, respectivamente, e para o fornecimento de P foi utilizado o superfosfato simples. Os demais nutrientes essenciais foram fornecidos via adubação foliar e as fontes de B, Zn, Cu, Fe e Mn foram ácido bórico, sulfato de zinco, sulfato de cobre, sulfato de ferro e sulfato de manganês, respectivamente.

2.3.2 Socaria

A adubação foi realizada tanto de forma convencional, quanto através da fertirrigação, de forma fracionada, durante todo o ciclo produtivo, nos quais, os adubos utilizados foram: fosfato monoamônico purificado, uréia, e cloreto de potássio, fazendo-se o balanceamento necessário de nutrientes.

Aplicou-se 150 kg ha^{-1} de Nitrogênio, seguindo a recomendação de Aguiar et al. (2014), sendo que 100 kg aplicado via adubação convencional e 50 kg via fertirrigação. Tanto a aplicação de Fósforo quanto de Potássio foi seguindo a recomendação de Ribeiro, Guimarães, Venegaz (1999). Sendo 40 kg ha^{-1} de Fósforo aplicado via adubação convencional e 140 kg ha^{-1} de Potássio, onde aplicou-se 80 kg via adubação convencional e 60 kg ha^{-1} via fertirrigação. Os micronutrientes foram aplicados numa frequência mensal, seguindo o resultado da análise química do solo e a recomendação de Cavalcanti et al. (2008), utilizando o produto comercial Biostim Complex de forma parcelada, onde 2,5 L ha^{-1} foi aplicado via adubação foliar e 2 L ha^{-1} via fertirrigação.

2.4 Histórico da cana planta e condução da cultura

O genótipo estudado foi a variedade RB 041443, desenvolvida pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana de Açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco, o qual é integrante da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA). O material possui desenvolvimento rápido, alta produtividade, maturação precoce, período útil de industrialização (PUI) longo, alto teor de sacarose e resistência a nematoides.

No plantio o preparo de solo empregado foi o convencional: subsolagem para descompactação das regiões mais profundas do solo, gradagem para aração do solo e a sulcagem. Os rebolos da cana-de-açúcar foram dispostos em sulcos com profundidade de 0,2 m, na posição “pé com ponta” de forma cruzada, ajudando na uniformidade de germinação e padronização do stand. Estes rebolos foram fracionados de maneira que disponham de 3-4 gemas, sendo dispostos nos

sulcos de 12-14 gemas por metro. E com o intuito de prevenir danos por pragas e doenças da lavoura foram utilizados produtos fitossanitários, diretamente no rebolo.

Os tratos tradicionais da região foram adotados para condução da cultura, que são eles: aplicação de herbicidas para o controle de ervas daninhas, nivelamento (quebra de lombo) aos 70 dias após o plantio e monitoramento fitossanitário da lavoura.

2.5 Caracterização do sistema de irrigação

Na Tabela 2 observa-se as características físico-químicas da água de irrigação. De acordo com os resultados da análise, a água possui salinidade média, podendo ser utilizada para irrigação sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Para plantas com moderada tolerância aos sais, o cultivo pode ser, na maioria dos casos, sem práticas especiais de controle de salinidade.

Tabela 2. Análise físico-química da água de irrigação.

Parâmetros Analisados	VPM[1]	Resultados (mg L^{-1})
Cor Aparente	15	100
Turbidez	5	6,52
Condutividade Elétrica (dS m^{-1})	***	491,20
pH	6,0 a 9,5 [2]	6,5
Sólidos Totais Dissolvidos	1.000	283,00
Alcalinidade de Hidróxidos	***	0,00
Alcalinidade de Carbonatos	***	0,00
Alcalinidade de Bicarbonatos	***	140,00
Alcalinidade Total	***	140,00
Dureza Total	500	92,00
Cálcio	***	16,03
Magnésio	***	12,64
Sódio	200	60,00
Potássio	***	14,00
Cloreto	250	96,11
Sulfato	250	24,82
Irrigação[3]		Resultados (mmol $L^{-1})^{0,5}$
RAS (Relação de Adsorção de Sódio)		2,71
Classificação para irrigação		C2S1

[1] VMP – valores máximos permitidos para consumo humano (Portaria n° 518 do Ministério da Saúde, 2004); [2]intervalo recomendado pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; [3] De acordo com Daker (1988).

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento subsuperficial a uma profundidade de 0,20 m (Figura 1). As linhas laterais compostas por tubos de polietileno de 16 mm, com emissores autocompensantes do tipo *in line* com pressão de serviço de 1 a 3 bar, espaçados a 0,50 m e saída cilíndrica (tipo PC/ Anti-sifão, vazão de 1 L h^{-1}). A condução da água foi realizada através de tubulações oriundas do ponto inicial do sistema, sendo este constituído por uma bomba centrífuga de 4 c.v, sistema de filtragem (areia e disco), injetor venturi para realização da fertirrigação e equipamento de válvulas para o controle de fluxo (Figura 2).

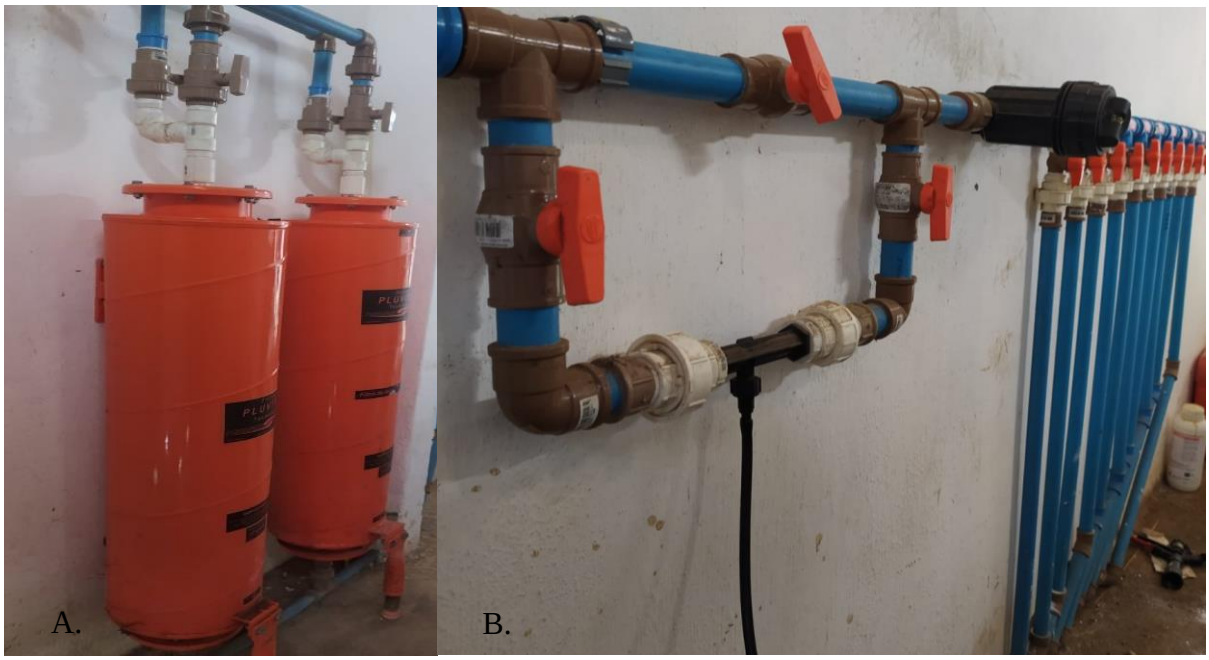

Figura 2. (A) Filtros de areia e (B) injetor venturi e válvulas de controle de fluxo.

O cálculo do tempo de irrigação foi obtido considerando-se a lâmina bruta de irrigação em função da eficiência nominal do sistema. O tempo de irrigação mudou diariamente, com início às 06:00 horas e o término de acordo com a lâmina de irrigação diária a ser aplicada de forma manual, sendo fixa apenas a quantidade (4 pulsos) e o tempo de intervalo entre cada pulso (40 minutos).

Na Figura 3 observa-se o teste de uniformidade realizado para verificação do desempenho do sistema de irrigação baseado na metodologia de Keller e Karmelli (1974), com o auxílio de proveta de 100 mL, cronômetro (3 minutos) e manômetro para monitorar a pressão de serviço. A pressão inicial do sistema foi regulada em 16 mca, mediante válvula

reguladora de pressão. Observou-se uma pressão final de 17 mca e uma vazão média dos emissores de 0,98 L h^{-1}.

Figura 3. Teste de uniformidade de distribuição.

O coeficiente de uniformidade de distribuição – CUD foi calculado por meio da relação entre média das vazões menores e vazão total, conforme a equação 1. A uniformidade de distribuição de água foi de 93,24% indicando alta uniformidade do sistema de irrigação.

$$CUD = \frac{Q^{\frac{1}{4}}}{Q\ total} * 100 \qquad \text{(eq. 1)}$$

Em que:

CUD = Coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

$Q^{1/4}$ = Média de ¼ das vazões de menores valores (L h^{-1});

Q_{total} = Média de todas as vazões (L h^{-1}).

A irrigação foi realizada diariamente de acordo com a necessidade de água pela cultura, a qual foi obtida com base na evapotranspiração da cultura (ETc) e nos tratamentos das lâminas de reposição (40, 60, 80, 100 e 120% da ETC). O método utilizado para determinar a evapotranspiração foi o tanque Classe A, conforme a equação 2.

$$ETc = ECA \times Kp \times Kc \qquad \text{(eq. 2)}$$

Em que:

ETc = evapotranspiração da cultura (mm/d);

ECA = evaporação do tanque Classe A (mm);

Kp = coeficiente do tanque Classe A;

Kc = coeficiente da cultura.

Os valores de Kp foram obtidos a partir dos dados de velocidade do vento, umidade relativa e evaporação do tanque classe A, coletados diariamente na estação meteorológica da EECAC, seguindo a metodologia de Doorenbos e Pruitt (1977). Na tabela 3, encontra-se o Kc utilizado em cada estádio de desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Tabela 3. Kc para cana-de-açúcar nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

Estádios de desenvolvimento	
Dias	Kc
1 – 61	0,40
62 – 153	0,75
154 – 244	1,10
245 – 334	1,25
335 – 360	0,70

Fonte: Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994)

A lâmina bruta foi determinada através da divisão da evapotranspiração do cultivo pela eficiência de aplicação, equação 3. A eficiência de aplicação é relação entre o volume de água disponível para a cultura e o volume aplicado pelo emissor, em que de acordo com o teste de coeficiente de uniformidade (CUD) correspondeu a 93,24%.

$$LB = \frac{ETc}{Ea} \qquad \text{(eq. 3)}$$

Em que:

LB = lâmina bruta (mm)

ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1})

Ea = eficiência de aplicação (decimal).

O tempo de irrigação (Ti) foi calculado pela divisão da lâmina bruta pela intensidade de aplicação do sistema (Ia), conforme a equação 4. A intensidade de aplicação obtida através da divisão da vazão dos gotejadores pela distância entre eles, é de 0,98 mm/h.

$$Ti = \frac{\text{Lâmina bruta}}{Ia} \qquad \text{(eq. 4)}$$

Em que:

Ti = tempo de irrigação (h)

Ia = intensidade de aplicação do sistema (mm/h).

2.5 Consumo hídrico

A irrigação da socaria foi plena, onde após o corte da cana planta foi aplicado uma lâmina de 10 mm, com sistema de aspersão móvel, para uniformizar a rebrota e partir de uma condição semelhante para todos os tratamentos. No ano de 2021, choveu abaixo da média anual da cidade, 1.400 mm. O acumulado de chuva foi de aproximadamente 951,9 mm, o que torna imprescindível o manejo de irrigação para suprir a demanda necessária para a cultura se desenvolver e alcançar produtividades satisfatórias no momento da colheita (figura 4).

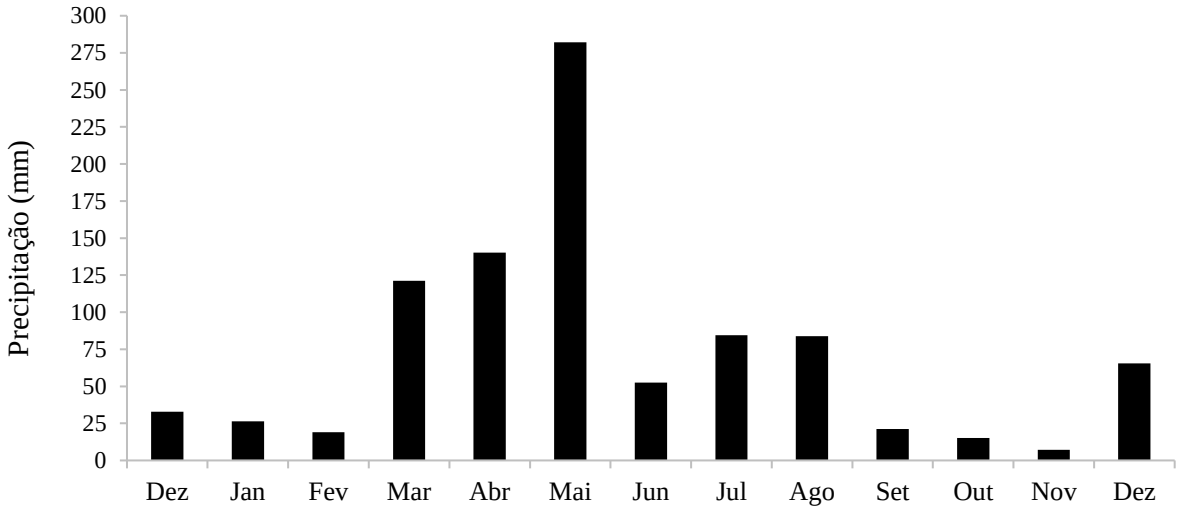

Figura 4. Precipitação mensal até o período de irrigação do experimento.

Na Tabela 4, apresenta-se a lâmina total aplicada de acordo com as diferentes lâminas aplicadas em cada tratamento. A lâmina total corresponde a junção das lâminas dos tratamentos com a precipitação anual. Sendo o somatório das lâminas de 100% e 120% coincidente com as encontradas na literatura para suprir as necessidades hídricas da cultura e atingir bons níveis de produtividade, ao qual, varia de 1.500 e 2.500 mm (OMETTO, 1980).

Tabela 4. Consumo hídrico aplicado em cada tratamento.

TRATAMENTOS	Precipitação	Lâmina de tratamento	Lâmina total
	(mm)	(mm)	(mm)
120% ETc – Pulsos	951,90	963,96	1915,86
120% ETc – Contínuo	951,90	963,96	1915,86
100% ETc – Pulsos	951,90	803,30	1755,20
100% ETc – Contínuo	951,90	803,30	1755,20
80% ETc – Pulsos	951,90	642,64	1594,54
80% ETc – Contínuo	951,90	642,64	1594,54
60% ETc – Pulsos	951,90	481,98	1433,88

60% ETc – Contínuo	951,90	481,98	1433,88
40% ETc – Pulsos	951,90	321,32	1273,22
40% ETc – Contínuo	951,90	321,32	1273,22

2.6 Variáveis a serem analisadas

2.6.1 Produtividade

A produtividade foi avaliada por meio da pesagem total dos colmos da área útil no momento da colheita, com o auxílio de um dinamômetro com capacidade de pesagem de até 1000 kg e os valores expressos em Mg ha^{-1}.

2.6.2 Qualidade Tecnológica

Em cada área útil foi retirado amostras com dez colmos e encaminhadas ao Laboratório de Análises Industriais da Usina Petribu S/A, em Pernambuco, seguindo procedimentos metodológicos preconizados pelo CONSECANA (2006), para determinação dos seguintes parâmetros tecnológicos:

- Grau brix do caldo (%)
- Pol do caldo (%)
- Pureza aparente do caldo (%)
- Açúcares redutores totais, ART (%)
- Teor de fibra, F (%)
- Pol da cana (%)
- Açúcares redutores da cana, ARC (%)
- Açúcar total recuperado do colmo, ATR (kg mg^{-1})

Para a coleta do caldo do colmo, durante um minuto e sob pressão de 250 kg cm^{-2}, as amostras foram prensadas numa prensa hidráulica automática. A partir de uma amostra do volume do caldo extraído, foram realizadas as determinações dos sólidos totais dissolvidos, também conhecidos como Brix do caldo, o qual representa o teor de sólidos solúveis totais expressos em porcentagem, utilizando-se um refratômetro digital com correção automática de temperatura (20 ºC).Por outra amostra do caldo, foi realizada a determinação da porcentagem de massa de sacarose aparente no caldo (POL), utilizando um sacarímetro digital automático, após clarificação do caldo através de um clarificante a base de alumínio, equação 1.

$$POL = (1{,}00621 \times LAl + 0{,}05117) \times (0{,}2605 - 0{,}0009882 \times B) \qquad \text{(eq. 1)}$$

Em que:

POL = porcentagem de massa de sacarose aparente no caldo (%);

LAl = Leitura sacarimétrica obtida com a mistura clarificante à base de alumínio;

B = ºBrix.

Com os valores obtidos, calculou-se a pureza aparente do caldo (Q) e do teor de açúcares redutores totais do caldo (ART %), equações 2 e 3.

$$Q = \left(\frac{S}{B}\right) \text{ x } 100 \qquad \text{(eq. 2)}$$

Em que:

Q = Pureza do caldo (%);

S = Teor de sacarose aparente (%), em peso de caldo (POL do caldo);

B = Teor de sólidos solúveis (%), em peso de caldo (Brix do caldo).

$$ART = 3{,}641 - (0{,}0342 \text{ x } Q) \qquad \text{(eq. 3)}$$

Em que:

ART = Teor de açúcares redutores totais (%), em peso de caldo (ART do caldo);

Q = Pureza do caldo (%).

A partir do bolo úmido (BU), determinou-se o peso de bolo úmido (PBU) e, posteriormente, foi realizada a secagem em estufa de circulação forçada de ar (65 ºC) até a obtenção do peso seco constante, onde foi obtido o peso de bolo seco (PBS). Em posse desses valores, calculou-se o teor de fibra (F %), equação 4:

$$F = \frac{(100 \text{ x } PBS) - (PBU \text{ x } B)}{5 \text{ x } (100 - b)} \qquad \text{(eq. 4)}$$

Em que:

F = Fibra da cana (%);

PBS = Peso do bolo seco (g);

PBU = Peso do bolo úmido (g);

B = Brix do caldo.

A partir da equação 5 calculou-se o Pol da cana (PC).

$$PC = S \times (1 - 0{,}01 \times F) \times (1{,}0313 - 0{,}00575 \times F) \quad \text{(eq. 5)}$$

Em que:

PC = Teor de sacarose aparente (%), em peso de cana (Pol da cana);

S = Pol do caldo;

F = Fibra da cana.

Os açúcares redutores da cana (ARC) foram obtidos por meio da equação 6.

$$ARC = ART \times (1 - 0{,}01 \times F) \times (1{,}0313 - 0{,}00575 \times F) \quad \text{(eq. 6)}$$

Em que:

ARC = Açúcares redutores da cana (%)

ART = Teor de açúcares redutores totais (%), em peso de cana (ART da cana);

F = Fibra.

E através da equação 7 foram calculadas as quantidades de açúcar total recuperável (ATR).

$$ATR = (10 \times PC \times 1{,}05263 \times 0{,}905) + (10 \times ART \times 0{,}905) \quad \text{(eq. 7)}$$

Em que:

ATR = Açúcar total recuperável (Kg t^{-1});

1,05263 = Coeficiente estequiométrico de conversão da sacarose em açúcares redutores;

0,905 = Coeficiente de recuperação, para uma perda industrial de 9,5%;

PC = Teor de sacarose aparente (%), em peso de cana (Pol de cana);

ART = Teor de açúcares redutores totais (%), em peso de cana (ART da cana).

2.7 Análise Estatística

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância aplicando o teste F. Quando necessário foram feitas análises de regressão para o fator quantitativo e aplicado teste de médias Scott Knott ao 5% de significância para o fator qualitativo. Foi utilizando o software estatístico de licença livre SISVAR (Ferreira, 2011).

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

3.1 Produtividade (TCH – toneladas de colmos por hectare)

A colheita da cana-soca foi realizada num total de 359 dias após o corte da cana-planta. Na tabela 5 apresenta o resumo da tabela de variância para a produtividade. Houve diferença estatística tanto para o fator tipo de aplicação (pulsada; contínua) ($p < 0,01$), quanto para as lâminas de reposição da ETc (40%, 60%, 80%, 100% e 120%) à 1% de probabilidade ($p < 0,01$) de maneira isolada. Porém, não houve interação entre os fatores. Verificou-se que, o CV ficou dentro dos níveis consideráveis aceitáveis para um experimento de campo, o qual é menor que 20%.

Tabela 5. Resumo da tabela de variância para a variável produtividade.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio
Tipo de aplicação (TA)	1	1372,06 **
Lâminas (L)	4	2326,26 **
(TA) x (L)	4	53,59 ns
Blocos	3	84,07 ns
CV %		7,33
Média geral		141,59 t ha^{-1}

**significa que ($p < 0,01$); ns = não significativo.

Resultado semelhante foi observado em pesquisa de Fischer (2018), estudando a resposta de cultivares de cana-de-açúcar às lâminas de irrigação via gotejamento subsuperficial, na segunda soca, que a interação irrigação e cultivares não teve significância para a produtividade de colmos, apenas em relação aos regimes hídricos, obtendo-se resultados significativos.

Na figura 5A, observa-se o efeito das lâminas de irrigação na produtividade. A lâmina de 80% da ETc apresentou maior produtividade com média de 155,18 t ha^{-1}. Entretanto, observa-se que houve redução do rendimento produtivo da lavoura a medida que se aplicou uma lâmina de 120%, obtendo produtividade média de 152,15 t ha^{-1}. A lâmina de 40% da ETc demonstrou o menor rendimento produtivo de 117,40 t ha^{-1}. O ponto máximo da produtividade ocorreu com a aplicação da lâmina de reposição da ETc de 104,23% atingindo 155,22 t ha^{-1}. Segundo Gava et al. (2011), o crescimento e o desenvolvimento das plantas são afetados tanto pela falta quanto pelo excesso do suprimento de água. Esse fato certamente explica valores decrescentes na medida que há uma aplicação de uma lâmina superior ao padrão que seria o suprimento integral da evapotranspiração da cultura.

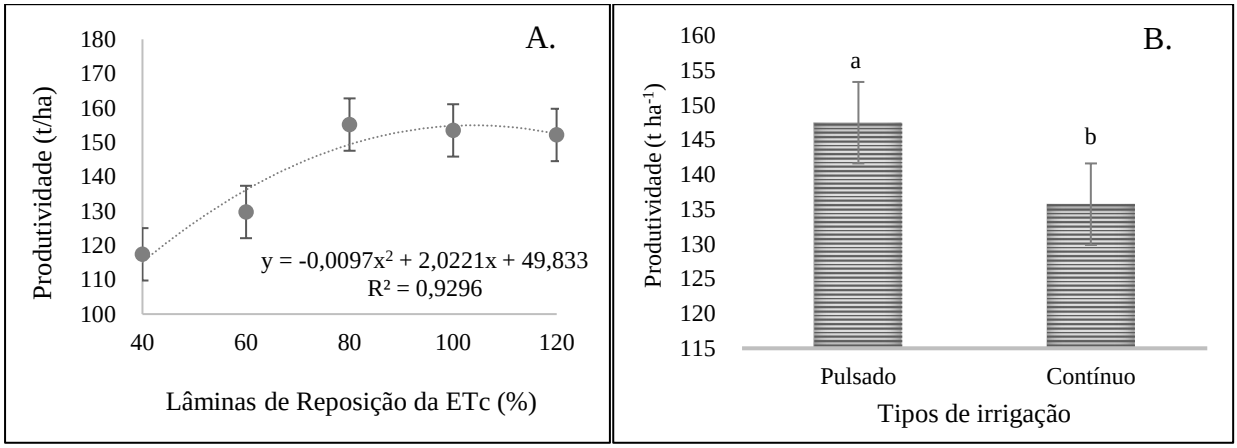

Figura 5. Análise do efeito das lâminas de irrigação (A.) e dos tipos de aplicação (B.) na produtividade da cana-soca. Letras diferentes (a, b) indicam que houve diferença estatística entre os valores pelo teste de Scott Knott à ($p < 0,01$).

Na Figura 5B encontra-se a produtividade em função do tipo de aplicação (pulsado e contínuo). A irrigação com aplicação pulsada foi superior a contínua, incrementando cerca de 7,94% de produtividade na cana-de-açúcar. Esses resultados podem estar atrelados a melhor eficiência do uso de água, onde segundo Seron et al. (2015), a técnica do manejo pulsado permite minimizar os efeitos nocivos do déficit hídrico, e ainda incrementa a produtividade mantendo-se a irrigação real necessária, inclusive permitindo a redução de água.

Os ganhos produtivos observados principalmente em situação de déficit hídrico, indicam que a adoção do manejo de irrigação pulsado contribui diretamente na manutenção da umidade no sistema radicular, aumentando a uniformidade e potencializando a absorção e eficiência de água e nutrientes (Cote et al., 2003; Elmaloglou e Diamantopoulos, 2007). O aumento da frequência de irrigação, acompanha um ganho positivo na absorção de água pela planta, evidenciando-se no incremento da densidade e espessura da raiz, isto implica diretamente no rendimento produtivo (Assouline et al., 2012).

Na Figura 6 apresentam-se as médias da produtividade e observa-se que para todas as lâminas aplicadas via gotejamento subsuperficial pulsado obteve-se maiores resultados. Em vista disto, podemos tecer os seguintes comentários: (a) o aumento da frequência de irrigação proveniente do manejo pulsado gerou um acréscimo considerável de t ha^{-1} em relação ao manejo contínuo; (b) a reposição de 80% da ETc em ambos manejos a maior produtividade do que se presume que é possível aumentar a produtividade ao mesmo modo que economize 20% de água; (c) os incrementos de produtividade quando confrontados os tipos manejos (pulsado e contínuo) com as diferentes lâminas de reposição (40%, 60%, 80%, 100% e 120%) foram de 3,95 t ha^{-1}, 9,05 t

ha^{-1}, 15,99 t ha^{-1}, 16,04 t ha^{-1} e 13,46 t ha^{-1}, respectivamente, demonstrando a superioridade dos valores numéricos obtidos pela adoção do manejo pulsado.

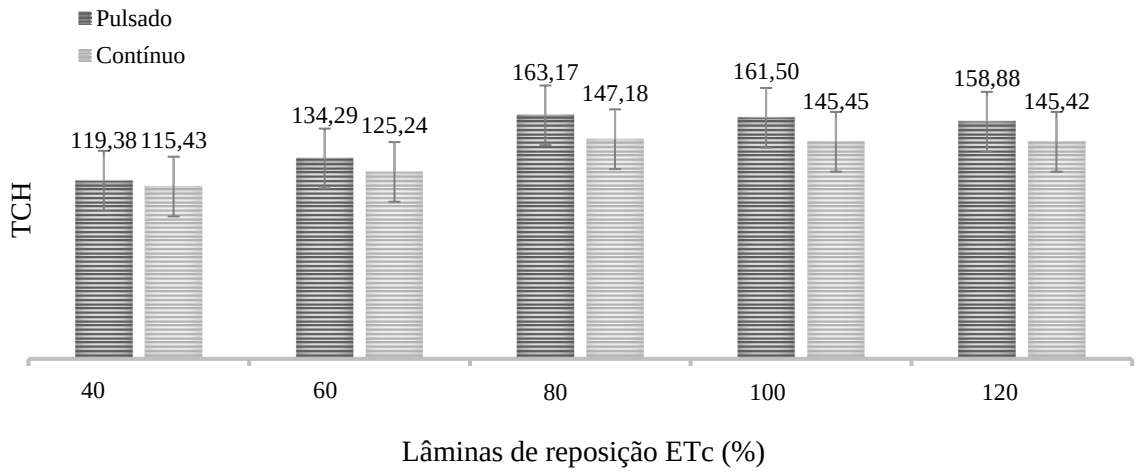

Figura 6. Valores médios de TCH observados no experimento. TCH = toneladas de colmo por hectare.

3.2 Qualidade tecnológica da cana-soca

Na Tabela 6 apresenta-se o resumo da análise de variância para as variáveis da qualidade tecnológica. Não houve interação significativa entre os fatores lâminas de irrigação (40, 60, 80, 100 e 120% da ETc) e os tipos de aplicação (contínua e pulsada). Entretanto, de forma isolada, para o fator lâminas de irrigação houve diferença significativa para as variáveis Pureza, Fibra, PC e ART. Já para as variáveis Pol, AR, e ATR, houve diferença significativa para os tipos de aplicação. A variável ATR apresentou diferença estatística tanto para os tipos de aplicação quanto para as lâminas de reposição à 1% de probabilidade ($p < 0,01$). Os tratamentos não afetaram a variável grau Brix. Barbosa et al. (2012) e Dalri et al. (2008) concluíram que as lâminas não alteraram significativamente os sólidos solúveis totais do caldo.

Tabela 6. Resumo da análise de variância (quadrado médio) para os atributos de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

Fonte de Variação	Brix	Pol	Pureza	Fibra	PC	AR	ART	ATR
Tipo aplicação (TA)	4,01^{ns}	11,02*	0,10^{ns}	0,11^{ns}	1,61^{ns}	0,12**	1,60^{ns}	3300,94**
Lâminas (L)	0,25^{ns}	1,60^{ns}	10,99**	2,11**	3,61*	0,02^{ns}	3,95*	289,21**
(TA) x (L)	2,10^{ns}	3,82^{ns}	0,97^{ns}	0,06^{ns}	0,09^{ns}	0,00^{ns}	0,28^{ns}	4,03^{ns}

Blocos	4,93*	3,78ns	6,31ns	1,09*	5,00**	0,01ns	3,28*	83,27ns
CV %	6,02	7,28	1,71	3,91	6,15	14,63	5,97	4,37
Média	19,53ºB	17,64 %	88,52 %	13,40%	15,41%	0,60%	16,55%	147,38 Kg t^{-1}

ns: não siginificativo; *: significativo à (p < 0,05); **: significativo à (p < 0,01); PC: pol da cana; AR: açúcares redutores; ART: açúcares redutores totais; ATR: açúcar total recuperável.

Os valores dos atributos tecnológicos deste estudo apresentaram-se acima do mínimo estabelecido para que a cana-de-açúcar seja comercializada. Todas as condições apresentaram Brix maior que 18%, POL% acima de 15%, Pureza superior a 75%, PC maior que 13%. Apenas a Fibra, com média de 13,4%, apresentou valor acima do ideal (10,5 e 12,5%), seguindo os parâmetros da CONSECANA (2006). Tais resultados evidenciam indícios que os tratamentos aplicados contribuíram para melhorar o rendimento industrial da cana-de-açúcar.

Vale ressaltar que essas variáveis sofrem influência direta da variedade, ambiente de produção e principalmente da disponibilidade de água, visto que, o teor de açúcar costuma ser adversamente afetado pelo excesso de umidade no estádio de maturação. Por outro lado, a disponibilidade hídrica plena favorece o desenvolvimento da planta, sobretudo no estádio de grande crescimento, o que promove melhor aproveitamento da radiação solar e realização da fotossíntese (Inman-Bamber & Smith, 2005).

Na Figura 7 observa-se a variável Pol em função ao tipo de irrigação. O teor médio de Pol na irrigação pulsada foi de 18,16%, já para a aplicação contínua o teor médio foi de 17,11%. Esses valores corroboram com a hipótese de que a irrigação por pulsos permite o aumento da concentração de massa aparente de sacarose em plantas submetidas a este tipo de aplicação. A irrigação pulsada proporcionou incremento de 5,78% nesta variável. Esses resultados evidenciam que a maior constância na manutenção da umidade do solo, permite que a planta tenha maior capacidade de biossíntese de moléculas orgânicas, e proporcionalmente tende a absorver mais água e nutrientes permitindo maior acúmulo de açúcares.

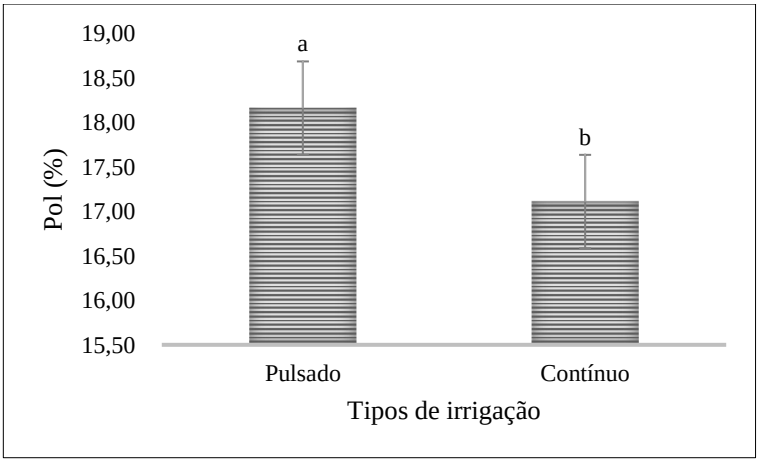

Figura 7. Análise dos tipos de irrigação na variável Pol. Letras distintas significam que houve diferença estatística entre os valores pelo teste de Scott Knott à ($p < 0,05$).

A Figura 8 apresenta a variável Pureza em função das lâminas de reposição da ETc (%). De acordo com o modelo quadrático aderente, o ponto máximo foi observado quando a cultura foi submetida à uma lâmina de 77,36% ETc gerando 89,94% de pureza. Os valores médios de pureza do caldo, são indicadores da quantidade de açúcares em relação aos sólidos solúveis do caldo e do estádio de maturação da cana-de-açúcar, evidenciam uma alta concentração de sacarose no caldo, o que reflete em altos rendimentos na indústria proporcionados pelo uso da irrigação.

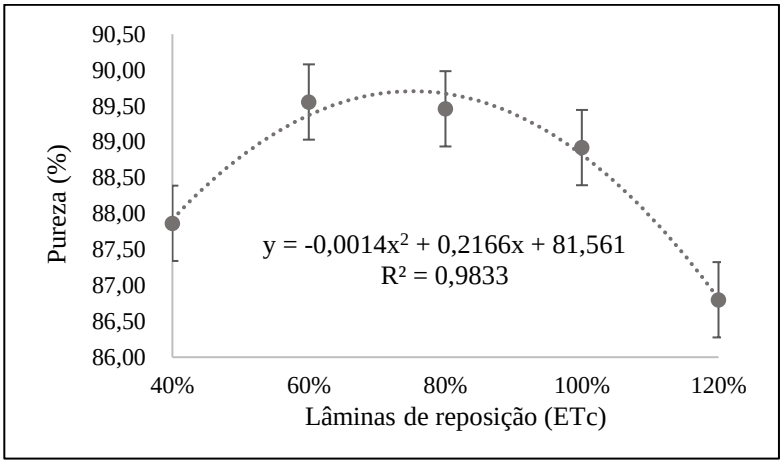

Figura 8. Análise do efeito das lâminas de reposição da ETc na variável Pureza.

Na Figura 9A apresenta-se a variável Fibra em função das lâminas de irrigação. O menor teor de Fibra foi encontrado na aplicação da lâmina de 120% da ETc, certamente pelo maior acúmulo de água que está associado ao menor gasto energético, ocasionado pela diminuição do metabolismo, e que normalmente gera menor acúmulo de fibra na cana-de-açúcar. Esse resultado foi semelhante ao observado por Costa et al. (2019), em que os autores observaram redução nas variáveis grau Brix e Fibra a medida em que houve aumento da lâmina de irrigação aplicada. O ponto máximo da curva do acúmulo de Fibra foi de 13,82% observado na lâmina de 75,14% ETc, demonstrando que com uma economia de 24,86% de água a planta tende a apresentar maior rigidez e menos suscetibilidade à tombamentos. Inclusive, a fibra residuária (bagaço) do processo de industrialização da cana-de-açúcar, é importante para cogeração de energia, visto que, alimenta as caldeiras da própria usina.

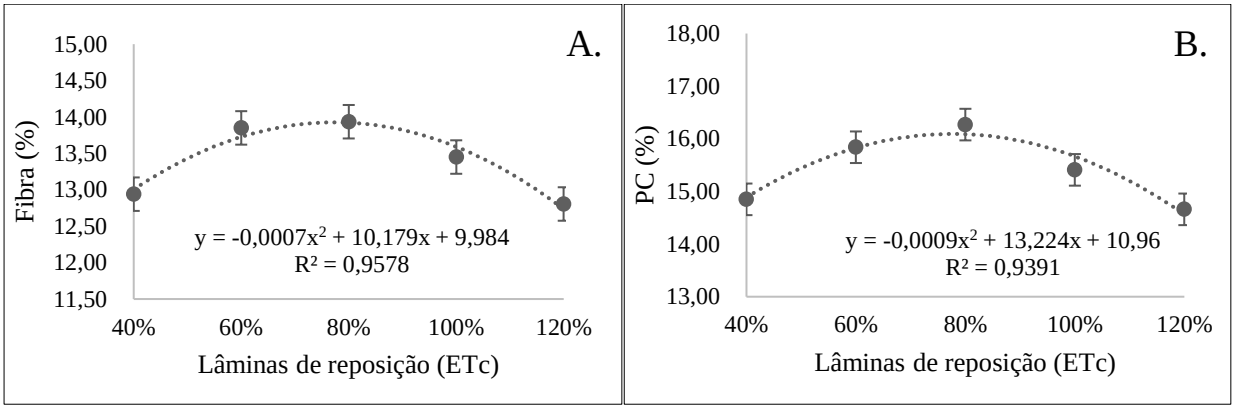

Figura 9. Análise do efeito das lâminas de reposição da ETc na porcentagem de Fibra e PC.

Na Figura 9B está apresentada a variável PC em função das lâminas de irrigação. Segundo a equação quadrática aderente, o ponto máximo foi observado quando submetido à uma lâmina de 73,44% ETc gerando 15,81% de PC encontrado na cana. Dantas Neto et al. (2006) estudando o desenvolvimento da cana-soca sob diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura, concluíram que os parâmetros de crescimento e a sacarose (PC) da cana-soca variaram em função das lâminas de irrigação de forma linear e quadrática, respectivamente, na fase inicial e no máximo desenvolvimento.

Na Figura 10 encontram-se os açúcares redutores (AR) em função dos tipos de aplicação. Sob gotejamento subsuperficial pulsado observou-se um acréscimo de 16,92% de AR em relação ao gotejamento subsuperficial contínuo. Este comportamento pode ter ocorrido devido ao fato de que, sob condições de déficit hídrico, o manejo por pulsos da irrigação favorece a condição de umidade no solo, promovendo o desenvolvimento da planta, e consequentemente aumentando o quantitativo dos açúcares: glicose e frutose. Vale salientar que, quanto maior a quantidade de AR, menor é a eficiência na recuperação da sacarose pela indústria.

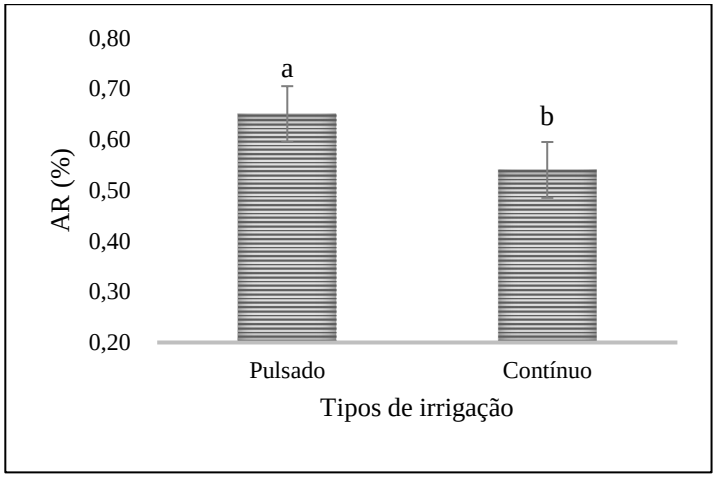

Figura 10. Análise dos tipos de irrigação na variável açúcares redutores (AR). Letras distintas significam que houve diferença estatística pelo teste de Scott Knott à ($p < 0,01$).

Na Figura 11 apresenta-se a variável ART em função das lâminas de irrigação. A lâmina de aproximadamente 78% ETc proporcionou o maior percentual de açúcares redutores totais fermentescíveis com 17,27%, indicando cenário ideal para a destinação dessa matéria prima para fabricação de etanol.

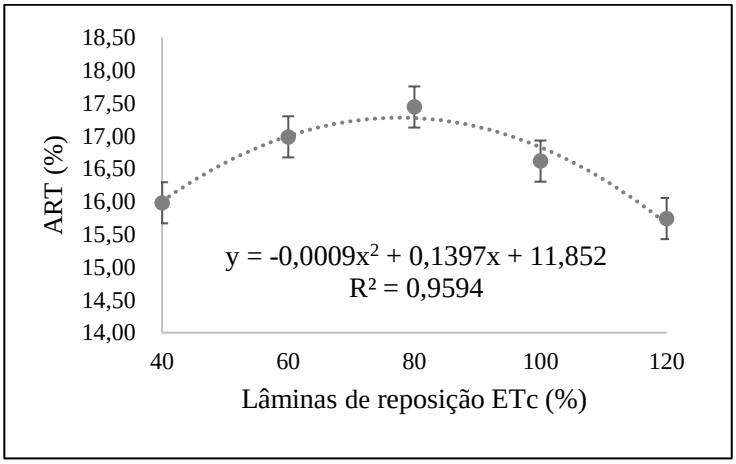

Figura 11. Análise do efeito das lâminas de reposição na variável açúcares redutores totais (ART).

Na Figura 12A observa-se a variável açúcar total recuperável (ATR) em função das lâminas de reposição da ETc. A aplicação da lâmina de aproximadamente 78% ETc proporcionou o máximo valor de ATR (153,24 kg t^{-1}). Deste modo, observou-se que não há redução da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar quando submetida a regime com economia de água.

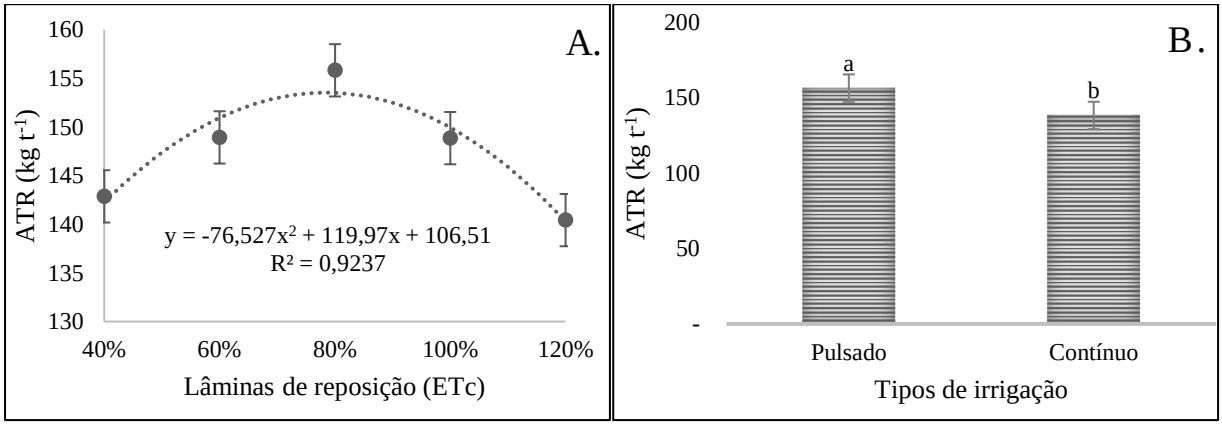

Figura 12. Análise do efeito das lâminas de irrigação (A.) e dos tipos de aplicação (B.) no rendimento produtivo da variável ATR. Letras distintas significam que houve diferença estatística entre os valores pelo teste de Scott Knott à ($p < 0,01$).

Na Figura 12B apresenta-se a variável ATR em função dos tipos de aplicação. Para as plantas submetidas ao gotejamento pulsado observou-se resultado 11,61% superior, em comparação a irrigação contínua, sinalizando o ganho no rendimento industrial em decorrência do aumento da frequência de irrigação, o qual, proporcionou uma melhoria considerável das características qualitativas do caldo.

O valor da cana-de-açúcar fornecida para a indústria é calculado por sua produção de ATR ha^{-1}. Diante disto, este resultado é bastante relevante, visto que, demonstrou um excelente rendimento de ATR mesmo em condições de irrigação plena. Considerando tal aspecto, a qualidade tecnológica dos colmos decorrentes da melhor expressão do atributo ATR é, em parte, devido ao bom desempenho responsivo da variedade RB 041443 à irrigação.

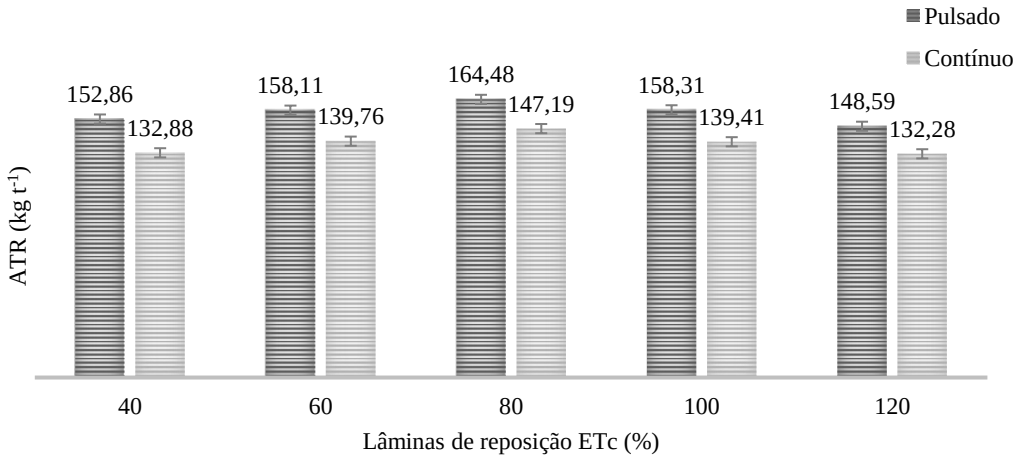

Figura 13. Valores médios do açúcar total recuperável (ATR).

Ao observar a Figura 13, pode-se tecer os seguintes comentários: (a) o aumento da frequência de irrigação favorece mais a disponibilidade de água e nutrientes na zona radicular e

melhora a distribuição da umidade no solo, proporcionando incremento em kg t^{-1} de açúcar total recuperável quando comparado ao manejo contínuo; (b) a lâmina de 80% em ambos os manejos foram as que obtiveram melhores resultados, demonstrando que é possível aumentar a qualidade tecnológica ao mesmo modo que haja uma economia de 20% de água; (c) os incrementos quando confrontados os manejos (pulsado e contínuo) com as diferentes lâminas de reposição (40%, 60%, 80%, 100% e 120%) foram de 19,88 kg t^{-1}, 18,38 kg t^{-1}, 17,29 kg t^{-1}, 18,90 kg t^{-1} e 16,31 kg t^{-1}, respectivamente, demonstrando a superioridade dos valores numéricos obtidos pela adoção do manejo pulsado.

4. CONCLUSÕES

1. As plantas submetidas ao gotejamento subsuperficial pulsado apresentaram maior produtividade de colmos independente da lâmina aplicada.
2. A aplicação de lâminas em torno de 80% da ETc maximiza a produtividade e o ATR da cana-de-açúcar.
3. Independente da lâmina aplicada, as plantas sob gotejamento subsuperficial por pulsos apresentaram ATR superiores às plantas submetidas ao gotejamento subsuperficial contínuo.

5. REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. T. E., GONÇALVES, C., PATERNIANI, M. E. A. G. Z., TUCCI, M. L. S. A., CASTRO, C. E. F. Instruções Agrícolas para as Principais Culturas Econômicas, BOLETIM 200 IAC, Campinas – SP, 2014. 112 p.

ALMEIDA, W. F. D.; PAZ, V. P. D. S.; JESUS, A. P.; SILVA, J. S. D.; GONÇALVES, K. S.; OLIVEIRA, A. S. D. Yield of Green Beans Subjected to Continuous and Pulse Drip Irrigation with Saline Water. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.22, n.7, p.476-481, 2018.

ASSOULINE, S.; MÖLLER, M.; FURMAN, A.; NARKIS, K.; SILBER, A. Impact of water regime and growing conditions on soil-plant interactions: from single plant to field scale. Vadose Zone J., 11, 3-14, 2012.

BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial:

ciclo da cana-planta. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, p. 952-958, 2012.

CAVALCANTI, F. L. A.; SANTOS, J. C. P.; PEREIRA, J. R.; LEITE, J. P.; SILVA, M. C. L.; FREIRE, F. J.; SILVA, D. J.; SOUSA, A. R.; MESSIAS, A. S.; FARIAS, C. M. B.; BURGOS, N.; LIMA JÚNIOR, M. A.; GOMES, R. V.; CAVALCANTI, A. C.; LIMA, J. F. W. F. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3 ed. Recife: Instituto Agronômico de Pernambuco-IPA, 2008. 212 p.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. Manual de Instruções. 5º Ed. Piracicaba–SP, CONSECANA-SP, 2006. 112 p.

COSTA, A. R. F. C.; ROLIM, M. M., NETO, D. E. S., SILVA, M. M., SILVA, G. F., PEDROSA, E. M. R. Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. Irriga, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 38-53, 2019. DOI: 10.15809/irriga.2019v24n1p38-53.

COTE, C.; BRISTOW, K.; CHARLESWORTH, P.; COOK, F.; THORBUM, P. Analysis of soil wetting and solute transport in subsurface trickle irrigation. Irrigation Science, 22(1), 143-156, 2003.

DAKER, A. Irrigação e drenagem: a água na agricultura. 7 ed. Rio de Janeiro, RJ: Frei Bastos, 1988. 543p.

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

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

DOORENBOS, J. Y.: KASSAN, A, H. Efeito da água no rendimento das culturas. Tradução de H. R. gheyi, A. A de Souza, F. A. V. Damasceno, J. F. de Medeiros, Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994, p. 220-226. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J. Y.; PRUITT, W. O. Crop water requirements. FAO Estudio de Riego y Drenaje, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 1977. 144 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353p. a

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Espaçamento e Profundidade do Sistema de Irrigação por Gotejamento Subsuperficial em Cultivo de Cana-de-açúcar**. 114.ed. Brasília: Instruções Técnicas da Embrapa Semiárido, 2013b.

ELMALOGLOU, S.; DIAMANTOPOULOS, E. Wetting front advance patterns and water losses by deep percolation under the root zone as influenced by pulsed drip irrigation. Computers and Electronics in Agriculture, v. 90, n. 1, p. 160–163, 2007.

FAVER, K.L.; GERIK, T.J.; THAXTON, P.M. Late season water stress in cotton: Leaf gas exchange and assimilation capacity. Crop Science, Madison, v.36, 1996. p. 922-928.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analiysis system. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FISCHER, F. J. A. Resposta de cultivares de cana-de-açúcar a lâminas de irrigação via gotejamento subsuperficial. Tese (doutorado em Agronomia – Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2018.

GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KOLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejo de sequeiro e irrigado por gotejamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, v.15, n.3, p. 250-255, 2011. DOI: 10.1590/S1415-43662011000300005.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. Field Crops Research, v.92, p.185-202, 2005.

LEVITT, J. Response of plants to enviropmental stress. II: Water radiation, salt and other stress. New York: Academic Press, 1980. 606p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE, v. 17, p. 678-684, 1974.

MASCHIO, R. Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar. 2011. 87p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

MENDES, P. M. B.; ROLIM, M. M.; LIMA, R. P.; PEDROSA, E. M. R.; TAVARES, U. E.; SIMÕES NETO, D. E. Estimation of precompression stress in an Ultisol cultivated with sugarcane. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 23, p. 336-340, 2019.

OMETTO, J. C. Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ, 1980. 17 p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T.; VENEGAZ, V. H. A. 5ª Aproximação-Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Editora UFV, Viçosa, Minas Gerais, 1999.

SERON, C. C.; LORENZONI, M. Z.; SOUZA, A. H. C.; MALLER, A.; REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A. Crescimento da cultura do pepino irrigado por pulsos. In: IX EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica. UniCesumar, Maringá, n. 9, p. 4-8, 2015.

SHANNAN, L. Planning and management of irrigation systems in developing countries.Agricultural Water Management, 22(1-2), 1992. p. 3-234.

EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA E ANÁLISE FINANCEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB LÂMINAS DE GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL CONTÍNUO E PULSADO

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo avaliar a produtividade da água bem como a análise financeira da aplicação de diferentes lâminas de irrigação sob gotejamento subsuperficial pulsado e contínuo em cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina - EECAC, com a variedade RB041443 em seu segundo ciclo (cana-soca). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 5, sendo dois tipos de irrigação (pulsada e contínua) e cinco lâminas de reposição da ETc (40%, 60%, 80%, 100% e 120%), com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Foram mensurados eficiência do uso da água, os custos de produção da cana-de-açúcar e avaliado a análise econômica em cada tratamento. Os resultados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. Para as plantas submetidas ao gotejamento subsuperficial por pulsos observou-se maior produtividade da água independente da lâmina de reposição. A lâmina de 80% da ETc aplicada por gotejamento pulsado é a que proporciona o melhor retorno econômico ao produtor.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum officinarum*, custos operacionais, manejo de irrigação.

EFFICIENCY OF WATER USE AND FINANCIAL ANALYSIS OF SUGARCANE UNDER CONTINUOUS AND PULSE SUBSURFACE DRIP PLATES

This work aims to evalute the water productivity as well as the economic feasibility of applying diferente irrigation depths under pulsed and contínuos subsurface dripping in sugarcane. The experimente was carried out at th Carpina Sugarcane Experimental Station – EECAC, with the RB041443 variety in its second cycle (soothing cane). The experimental design used was in randomized blocks in a 2 x 5 factorial scheme, with two types of irrigation (pulsed and continuous) and five levels of evapotranspiration replacement -ETc (40%, 60%, 80%, 100% and 120%), with four replications, totaling 40 experimental plots. Water use efficiency, sugarcane production costs were measured and the economic viability of each treatment was evaluated. The results were subjected to analysis of variance using the F testa t a 5% probability level. For plants submitted to pulsed subsurface dripping, higher water productivity was observed regardless of the replacement deph. The ETc 80% layer applied by pulsed dripping is the on that provides the best economic return to the producer.

KEYWORDS: Saccharum officinarum, operatings costs, irrigation management.

1. INTRODUÇÃO

Os produtores que usam agricultura irrigada desempenham papel relevante na segurança e sustentabilidade alimentar no mundo. A cana-de-açúcar é uma cultura de ciclo prolongado (360-540 dias) e elevada exigência de água do plantio até a colheita (100-200 cm de água), e merece atenção no sentido de serem adotadas tecnologias eficientes de gerenciamento de água (SHANAN, 1992). A irrigação na cultura da cana-de-açúcar proporciona vários benefícios, tais como: aumento de produtividade agrícola, maior longevidade das soqueiras, diminuição dos custos nos processos operacionais e menor gasto energético da planta para extração da água. Porém, a utilização da irrigação possui custo elevado e demanda de mão de obra especializada.

Em regiões com má distribuição de chuvas, como o Nordeste brasileiro, os sistemas de irrigação se tornam imprescindíveis no fornecimento de água à cultura para elevação de rendimentos produtivos e industriais para a cana-de-açúcar. Segundo Dantas Neto et al. (2006), o manejo racional da água na cultura da cana-de-açúcar é fundamental para a maximização da produção.

A eficiência gerencial de custos financeiros de produção constitui fator-chave para que qualquer empreendimento agropecuário possa garantir sua inserção no mercado e, por consequência, sua competitividade ao longo do tempo. Isto porque o clima, a perecibilidade de diversos produtos agropecuários e os altos custos de saída ou entrada podem afetar significativamente o desempenho de empreendimentos agrícolas (LAZZAROTTO, 2014).

Para o planejamento adequado da implantação e manutenção de uma área cultivada com cana-de-açúcar irrigada, como em qualquer cultura, deve-se analisar previamente a composição de seus custos de produção. Sendo o custo de produção a soma de todos os recursos (insumos) e operações (serviços) utilizados de forma econômica no processo produtivo, a fim de obter determinada quantidade de produto com o mínimo dispêndio (GUIDUCCI et al., 2012). E também é de grande importância a análise de investimentos de longa duração onde os retornos ocorrem somente a partir de um determinado ponto da vida útil da cultura, a estimativa de investimentos e do custo operacional da irrigação da cana-de-açúcar em função da lâmina anual que se pretende aplicar (AFFÉRRI; TRENTO; PINTO, 2014).

O diferencial para sustentabilidade de um empreendimento é a lucratividade. Portanto, é imprescindível lançamento de tecnologias que visem mitigar os custos de produção, e que ao mesmo tempo não comprometam as produtividades dos canaviais. Segundo Frizzone et al. (2005), o risco do sistema de irrigação está associado à sua elevada vida útil do sistema, o que dificulta a estimativa do valor econômico do projeto devido a suas variações ao longo do tempo

Portanto, é necessário estudos sobre a análise financeira da utilização de novas tecnologias que visam minimizar os altos custos de implantação do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial na cultura da cana-de-açúcar. Diante disto, objetiva-se a avaliação financeira da adoção do manejo da irrigação intermitente (pulsada) via gotejamento subsuperficial na cultura da cana-de-açúcar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área experimental

O trabalho foi desenvolvido no período de dezembro de 2020 a dezembro de 2021, na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina, Carpina – PE, cujas coordenadas geográficas 7º 51’ 24.31’’ S e 35º 14’ 16.97’’ W e altitude média de 184 m, e conduzido no primeiro ciclo de cana soca, no ano de 2021.

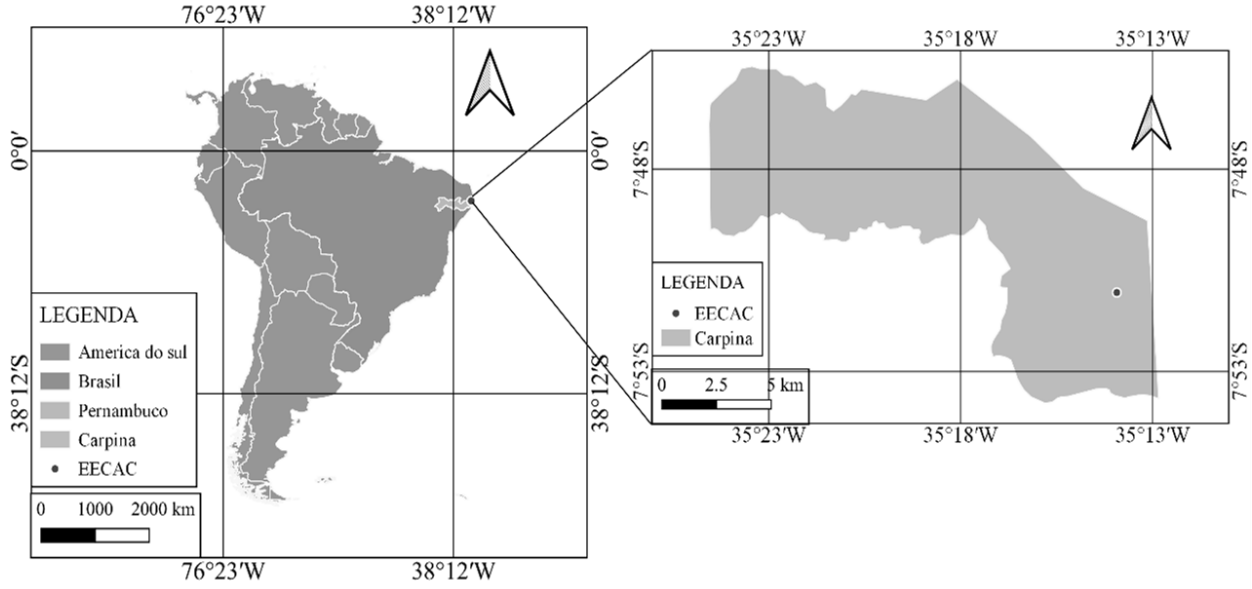

Figura 14. Mapa representando a localização geográfica da Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC), no município de Carpina-PE.

O clima predominante é tropical chuvoso (As) com verão seco, de acordo com a classificação de Köppen, temperatura média anual de 24º C e precipitação média anual é de aproximadamente 1.400 mm, (MENDES, 2019). O solo predominante da área experimental é o Argissolo Amarelo distrófico abrupto (EMBRAPA, 2013a). Na tabela 1 observa-se as características físicas e químicas, nas camadas de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m.

Tabela 1. Análise física e química do solo da área experimental.

Análises Físicas							
Camada	Areia	Silte	Argila	Textura	Ds	Θcc	Θpmp
Cm	---------- g kg^{-1} ----------			-	Mg m^{-3}	------m^3 m^3------	
0 – 20	848,7	13,9	137,4	Franco arenosa	1,72	0,15	0,08
20 – 40	826,2	16,4	157,4	Franco arenosa	1,86	0,18	0,12

Análises Químicas										
Profundidades	pH (água)	Ca	Mg	Al	Na	K	P	C.O	M.O	H + Al
cm	Adm	$cmol_c$ dm^{-3}					mg dm^{-3}	g kg^{-1}		$cmol_c$ dm^{-3}
0-20	5,8	5,16	1,05	0	0,06	0,12	12	0,00099	1,98	2,8
20-40	5,9	2,31	0,93	0	0,04	0,09	12	0,00094	1,88	3

Ds: Densidade do solo; θcc: Umidade volumétrica na Capacidade de campo; θpmp: Umidade volumétrica no Ponto de murcha permanente; C.O: carbono orgânico; M.O: matéria orgânica; H+Al: acidez potencial.

2.2 Delineamento Experimental

O trabalho foi realizado em campo, ou seja, condições climáticas não controladas. O delineamento foi em blocos casualizados com arranjo fatorial 2 x 5, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Os tratamentos foram constituídos por dois tipos de aplicação da irrigação: irrigação pulsada e contínua. E foram aplicadas cinco lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura (40%, 60%, 80%, 100% e 120% da ETc). Para a condição de irrigação pulsada definiu-se quatro pulsos de irrigação com intervalo de 40 minutos de repouso entre as lâminas aplicadas.

As unidades experimentais foram compostas por quatro linhas duplas medindo 7 m de comprimento, espaçamento duplo combinado de 1,4 m entre as fileiras e 0,6 m por linhas, as fitas de gotejo foram enterradas a 0,2 m, conforme Embrapa (2013b), e espaçadas a 2 m, totalizando 56 m^2. A área utilizada para a coleta dos dados foram dois sulcos combinados centrais (quatro linhas), descartando-se um metro das extremidades, respeitando o efeito bordadura conforme apresentado na figura 2.

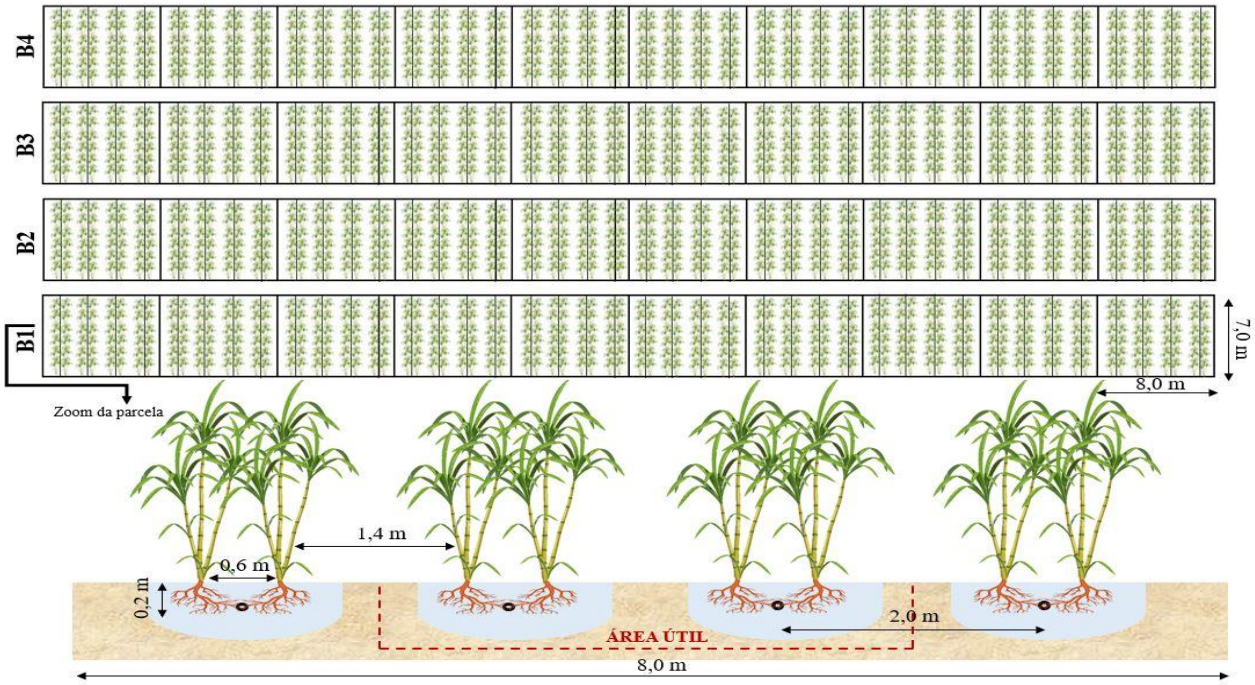

Figura 15. Croqui da disposição do experimento na EECAC.

2.3 Descrição da adubação

2.3.1 Cana-Planta

A partir do levantamento histórico da adubação, observou-se que a área experimental foi quimicamente corrigida conforme o resultado da análise de solo, assim, a adubação nitrogenada foi realizada seguindo as recomendações de Cavalcanti et al. (2008) de forma parcelada, aplicando-se 50% da dose no plantio e os demais 50% via fertirrigação realizada a cada 15 dias. As doses de N e K_2O foram fornecidas por meio dos fertilizantes ureia e cloreto de potássio, respectivamente, e para o fornecimento de P foi utilizado o superfosfato simples. Os demais nutrientes essenciais foram fornecidos via adubação foliar e as fontes de B, Zn, Cu, Fe e Mn foram ácido bórico, sulfato de zinco, sulfato de cobre, sulfato de ferro e sulfato de manganês, respectivamente.

2.3.2 Socaria

De acordo tabela 1, não houve necessidade da realização da calagem, visto que, os níveis de pH (0-20 e 20-40 cm) apresentaram-se dentro da faixa ideal para o correto manejo nutricional da cultura. A adubação foi realizada tanto de forma convencional, quanto através da fertirrigação, de forma fracionada, durante todo o ciclo produtivo, nos quais, os adubos utilizados foram: fosfato monoamônico purificado, uréia, e cloreto de potássio, fazendo-se o balanceamento necessário de nutrientes.

Aplicou-se 150 kg ha^{-1} de Nitrogênio, seguindo a recomendação de Aguiar et al. (2014), sendo que 100 kg aplicado via adubação convencional e 50 kg via fertirrigação. Tanto a aplicação de Fósforo quanto de Potássio foi seguindo a recomendação de Ribeiro, Guimarães, Venegaz (1999). Sendo 40 kg ha^{-1} de Fósforo aplicado via adubação convencional e 140 kg ha^{-1} de Potássio, onde aplicou-se 80 kg foi aplicado via adubação convencional e 60 kg ha^{-1} via fertirrigação. Os micronutrientes foram aplicados numa frequência mensal, seguindo o resultado da análise química do solo e a recomendação de Cavalcanti et al. (2008), utilizando o produto comercial Biostim Complex de forma parcelada, onde 2,5 L ha^{-1} foi aplicado via adubação foliar e 2 L ha^{-1} via fertirrigação.

2.4 Caracterização do sistema de irrigação

Na Tabela 8 observa-se as características físico-químicas da água de irrigação. De acordo com os resultados da análise, a água possui salinidade média, podendo ser utilizada para irrigação sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Para plantas com moderada tolerância aos sais, o cultivo pode ser, na maioria dos casos, sem práticas especiais de controle de salinidade.

Tabela 8. Análise físico-química da água de irrigação.

Parâmetros Analisados	VPM[1]	Resultados (mg L^{-1})
Cor Aparente	15	100
Turbidez	5	6,52
Condutividade Elétrica	***	491,20
Ph	6,0 a 9,5 [2]	6,5
Sólidos Totais Dissolvidos	1.000	283,00
Alcalinidade de Hidróxidos	***	0,00
Alcalinidade de Carbonatos	***	0,00
Alcalinidade de Bicarbonatos	***	140,00
Alcalinidade Total	***	140,00
Dureza Total	500	92,00
Cálcio	***	16,03
Magnésio	***	12,64
Sódio	200	60,00
Potássio	***	14,00
Cloreto	250	96,11
Sulfato	250	24,82
Irrigação[3]		Resultados (mmol $L^{-1})^{0,5}$

RAS (Relação de Adsorção de Sódio)	2,71
Classificação para irrigação	C2S1

[1] VMP – valores máximos permitidos para consumo humano (Portaria n° 518 do Ministério da Saúde, 2004); [2]intervalo recomendado pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; [3] De acordo com Daker (1988).

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento subsuperficial a uma profundidade de 0,20 m (Figura 1). As linhas laterais compostas por tubos de polietileno de 16 mm, com emissores autocompensantes do tipo *in line* com pressão de serviço de 1 a 3 bar, espaçados a 0,50 m e saída cilíndrica (tipo PC/AS, vazão de 1 L h^{-1}). A condução da água foi realizada através de tubulações oriundas do ponto inicial do sistema, sendo este constituído por uma bomba centrífuga de 4 c.v, sistema de filtragem (areia e disco), injetor venturi para realização da fertirrigação e equipamento de válvulas para o controle de fluxo (Figura 2).

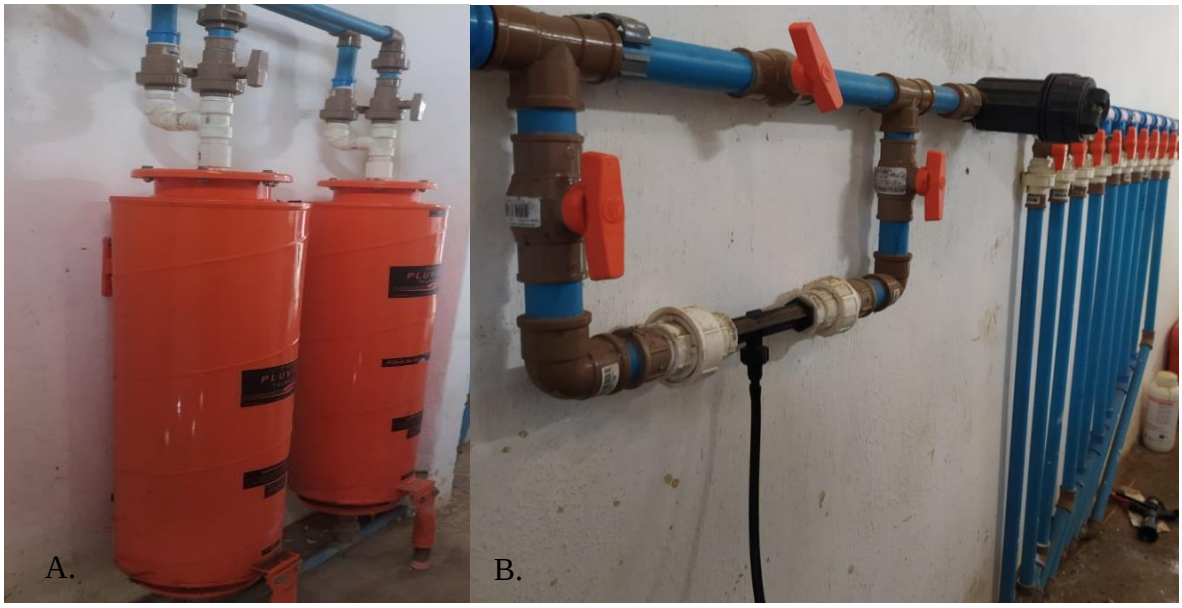

Figura 2. (A) Filtros de areia e (B) injetor venturi e válvulas de controle de fluxo.

O cálculo do tempo de irrigação foi obtido considerando-se a lâmina bruta de irrigação em função da eficiência nominal do sistema. O tempo de irrigação mudou diariamente, com início às 06:00 horas e o término de acordo com a lâmina de irrigação diária a ser aplicada, sendo fixa apenas a quantidade (4 pulsos) e o tempo de intervalo entre cada pulso (40 minutos).

Na Figura 4 observa-se o teste de uniformidade realizado para verificação do desempenho do sistema de irrigação baseado na metodologia de Keller e Karmelli (1974), com o auxílio de proveta de 100 mL, cronômetro (3 minutos) e manômetro para monitorar a pressão de serviço. A pressão inicial do sistema foi regulada em 16 mca, mediante válvula

reguladora de pressão. Observou-se uma pressão final de 17 mca e uma vazão média dos emissores de 0,98 L h^{-1}.

Figura 4. Teste de uniformidade de distribuição.

O coeficiente de uniformidade de distribuição – CUD foi calculado por meio da relação entre média das vazões menores e vazão total, conforme a equação 1. A uniformidade de distribuição de água foi de 93,24% indicando alta uniformidade do sistema de irrigação.

$$\text{CUD} = \frac{Q^{\frac{1}{4}}}{\text{Q total}} * 100 \qquad \text{(eq. 1)}$$

Em que:

CUD = Coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

$Q^{1/4}$ = Média de ¼ das vazões de menores valores (L h^{-1});

Q_{total} = Média de todas as vazões (L h^{-1}).

A irrigação foi realizada diariamente de acordo com a necessidade de água pela cultura, a qual foi obtida com base na evapotranspiração da cultura (ETc) e nos tratamentos das lâminas de reposição (40, 60, 80, 100 e 120% da ETC). O método utilizado para determinar a evapotranspiração foi o tanque Classe A, conforme a equação 2.

$$\text{ETc} = \text{ECA} \times \text{Kp} \times \text{Kc} \qquad \text{(eq. 2)}$$

Em que:

ETc = evapotranspiração da cultura (mm/d);

ECA = evaporação do tanque Classe A (mm);

Kp = coeficiente do tanque Classe A;

Kc = coeficiente da cultura.

Os valores de Kp foram obtidos a partir dos dados de velocidade do vento, umidade relativa e evaporação do tanque classe A, seguindo a metodologia de Doorenbos e Pruitt (1977). Na tabela 4, encontra-se o Kc utilizado em cada estádio de desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Tabela 4. Kc para cana-de-açúcar nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

Estádios de desenvolvimento	
Dias	Kc
1 – 61	0,40
62 – 153	0,75
154 – 244	1,10
245 – 334	1,25
335 – 360	0,70

Fonte: Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994)

A lâmina bruta foi determinada através da divisão da evapotranspiração do cultivo pela eficiência de aplicação, equação 3. A eficiência de aplicação é relação entre o volume de água disponível para a cultura e o volume aplicado pelo emissor, em que de acordo com o teste de coeficiente de uniformidade (CUD) correspondeu a 93,24%.

$$LB = \frac{ETc}{Ea} \qquad \text{(eq. 3)}$$

Em que:

LB = lâmina bruta (mm)

ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1})

Ea = eficiência de aplicação (decimal).

O tempo de irrigação (Ti) foi calculado pela divisão da lâmina bruta pela intensidade de aplicação do sistema (Ia), conforme a equação 4. A intensidade de aplicação obtida através da divisão da vazão dos gotejadores pela distância entre eles, é de 0,98 mm/h.

$$Ti = \frac{\text{Lâmina bruta}}{Ia} \qquad \text{(eq. 4)}$$

Em que:

Ti = tempo de irrigação (h)

Ia = intensidade de aplicação do sistema (mm/h).

2.5 Consumo hídrico

Na Tabela 5 apresenta-se a lâmina total aplicada de acordo com as diferentes lâminas aplicadas em cada tratamento. A lâmina total corresponde a junção das lâminas aplicadas via sistema de irrigação acrescidas da precipitação local. A necessidades hídricas da cultura para atingir bons níveis de produtividade, varia de 1.500 à 2.500 mm (OMETTO, 1980).

Tabela 5. Consumo hídrico aplicado em cada tratamento.

Cana-Planta	Precipitação	Lâmina via sistema	Lâmina total
	(mm)	(mm)	(mm)
120% ETc – Pulsos	753,00	723,66	1476,66
120% ETc – Contínuo	753,00	723,66	1476,66
100% ETc – Pulsos	753,00	603,05	1356,05
100% ETc – Contínuo	753,00	603,05	1356,05
80% ETc – Pulsos	753,00	482,44	1235,44
80% ETc – Contínuo	753,00	482,44	1235,44
60% ETc – Pulsos	753,00	361,83	1114,83
60% ETc – Contínuo	753,00	361,83	1114,83
40% ETc – Pulsos	753,00	241,22	994,22
40% ETc – Contínuo	753,00	241,22	994,22
	Precipitação	Lâmina via sistema	Lâmina total
Cana-Soca	(mm)	(mm)	(mm)
120% ETc – Pulsos	951,90	963,96	1915,86
120% ETc – Contínuo	951,90	963,96	1915,86
100% ETc – Pulsos	951,90	803,30	1755,20
100% ETc – Contínuo	951,90	803,30	1755,20
80% ETc – Pulsos	951,90	642,64	1594,54
80% ETc – Contínuo	951,90	642,64	1594,54
60% ETc – Pulsos	951,90	481,98	1433,88
60% ETc – Contínuo	951,90	481,98	1433,88
40% ETc – Pulsos	951,90	321,32	1273,22
40% ETc – Contínuo	951,90	321,32	1273,22

2.6 Variáveis analisadas

2.6.1 Eficiência do Uso da água

A eficiência do uso da água (EUA) foi avaliada por meio da relação entre a produtividade da cana-de-açúcar (t ha^{-1}) e o somatório de água que a cultura recebeu durante o ciclo produtivo (mm), sendo ele a precipitação ocorrida no período somada ao total de cada lâmina de reposição da evapotranspiração de cada tratamento.

As lâminas foram analisadas separadamente e submetidas à análise de regressão ($p < 0,05$), e os tipos de irrigação foram analisados pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). Quando verificado efeito significativo para o ajuste das equações com significados biológicos, selecionou-se os modelos de maior significância e coeficiente de determinação (R^2). O software estatístico utilizado para as análises dos dados foi o Sisvar 4.0.

2.6.2 Análise financeira

A metodologia adotada para avaliação dos custos de produção teve como base a estrutura do custo operacional comumente usada pela ASSOCANA, com algumas adequações para realidade de produtores locais (Tabela 6).

Tabela 6. Quadro de estimativa anual do custo de implantação e manutenção de um hectare de cana-de-açúcar irrigada.

Cana-Planta	R$ ha^{-1}
Conservação de solo	372,05
Preparo de solo	1.030,35
Plantio	6.089,49
Colheita	3.326,40
CUSTO OPERACIONAL	10.818,29
Irrigação	18.000,00
Sub-Total	28.818,29

Cana-Soca	R$ ha^{-1}
Manutenção da soqueira	2.309,00
Colheita	3.326,40
CUSTO OPERACIONAL	5.635,40
Irrigação	5.024,00
Sub-Total	10.659,40
Total Geral (sub-total planta + sub-total soca)	39.447,69

Dados referentes ao custo operacional (Planta -preparo do solo, plantio, colheita; Soca – manutenção de soqueira, colheita) retirados da ASSOCANA - Associação Rural dos Fornecedores e Plantadores de Cana da Média Sorocabana

Dados referentes ao custo com irrigação retirados da AGROVALE - ASBRANOR apresentados no Webinar Inovagri 2021.

A obtenção dos custos de produção foi por intermédio de sondagens de mercado e de empresas do setor sucroenergético, coletando informações sobre cada setor especializado nas diferentes operações agrícolas, tais como: 1) operações mecanizadas – número de hora por máquina, distribuição das “sementes”; 2) operações manuais – número de homens por dia; 3) insumos

utilizados – fertilizantes, herbicidas, inseticidas, “sementes”; água; 4) administração agrícola – mão de obra administrativa, consultoria, setor jurídico, impostos, entre outros.

Considerou-se o custo do mm de água aplicado por hectare (R$ mm^{-1}) e o preço do TCH (R$ t^{-1}), juntamente com o rendimento industrial, o qual seria o ATR (R$ t^{-1}). O preço pago pelo milímetro foi resultado do quociente do custo da aquisição do projeto de irrigação amortizado, energia elétrica, água, mão de obra e manutenção, para o tratamento que consumiu o maior volume de água (lâmina de reposição de 120%). O preço pago pelo quilowatt-hora (kWh) foi com base nos valores da Neoenergia - PE, considerando as tarifas cobradas ao produtor rural. Os custos com a mão de obra e reparo do sistema foi fundamentado na ASBRANOR, empresa responsável pela montagem e manutenção do sistema de irrigação do experimento.

As receitas brutas e líquidas foram calculadas em função do aumento na produtividade promovida em cada tratamento, usando as equações 5, 6 e 7. O preço da cana divulgado todos os meses é referente à cana padrão, o qual, no Nordeste é estabelecido em 119,0063 kg de ATR por tonelada de cana. Para valores de ATR acima do padrão, considera-se ágio. No entanto, se os valores forem abaixo do ATR padrão será deságio.

$$RB = Qf \,.\, P_p \qquad \text{(eq. 5)}$$

Em que:

RB = Receita bruta da cana-de-açúcar (R$ ha^{-1});

Qf = Quantidade fornecida (t ha^{-1});

P_p = Preço do produto + ágio (R$ t^{-1}).

$$RL = RB - (C_{pp} + C_{ps}) \qquad \text{(eq. 6)}$$

Em que:

RL = Receita líquida (R$ ha^{-1});

RB = Receita bruta da cana-de-açúcar (R$ ha^{-1});

C_{pp} = Custo total de produção cana planta (R$ ha^{-1});

C_{ps} = Custo total de produção cana soca (R$ ha^{-1}).

O custo de produção anual em cada tratamento foi calculado por meio da soma dos custos de implantação do sistema, energia elétrica e manutenção e mão de obra, de acordo com a equação 7.

$$C_p = C_i + C_e + C_m \qquad \text{(eq. 7)}$$

Em que:

C_p = Custo de produção (R$ ha^{-1});

C_i = Custo de implantação do sistema de irrigação (R$ ha^{-1});

Ce = Custo da energia elétrica em cada tratamento (R$ ano^{-1});

Cm = Custo da manutenção e mão de obra do sistema (R$ ha^{-1}).

Para o preço do produto, admitiu-se o valor pago na época da colheita (dezembro de 2020), correspondente a R$ 119,87 a tonelada de cana para um ATR mínimo de 119,0063, onde o valor do kg ATR era de R$ 1,0073 no ciclo da cana-planta. Para o ciclo da cana-soca admitiu-se o valor pago na época da colheita (dezembro de 2021), correspondente a R$ 177,28 a tonelada de cana, onde o valor do kg ATR era de R$ 1,4897. Na tabela 8, verifica-se um demonstrativo da descrição da composição do custo total de irrigação na cana-soca, onde é possível constatar que o preço do produto varia em função da diferença obtida tanto pela produtividade quanto pelo ATR.

De acordo com a empresa ASBRANOR, o custo da implantação juntamente com a condução do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar era em média R$ 18.000,00 por hectare e que o custo de mão-de-obra para manutenção e reparos era 10% do valor de implantação do sistema. O parcelamento do custo de implantação do sistema de irrigação foi simulado em 8 anos e com juros à 12% ao ano.

Tabela 8. Quadro dos custos de irrigação utilizados na determinação da receita líquida da cultura da cana-de-açúcar em cana-soca.

Lâminas Aplicadas	La	Pp	Ci	Cm	Ce	Cti
Pulsada	Mm	R$ t^{-1}	------R$ ha^{-1} ------		R$ ano^{-1}	R$ ha^{-1}/ano
L1	321,32	227,71	210,00	180,00	270,71	660,71
L2	481,98	235,54	210,00	180,00	406,05	796,05
L3	642,64	245,02	210,00	180,00	540,58	930,58
L4	803,30	235,83	210,00	180,00	676,76	1.066,76
L5	963,96	221,35	210,00	180,00	812,13	1.202,13
Contínua						
L1	321,32	197,95	210,00	180,00	270,71	660,71
L2	481,98	208,20	210,00	180,00	406,05	796,05
L3	642,64	219,27	210,00	180,00	540,58	930,58
L4	803,30	207,68	210,00	180,00	676,76	1.066,76
L5	963,96	197,06	210,00	180,00	812,13	1.202,13

C_{ti} = Custo total da irrigação; La = Lâmina aplicada; Custo com a energia = R$ 0,2294 kWh^{-1} (consumo ativo intermediário).

A taxa de crescimento da produção foi calculada por meio da relação TCH pelo número de meses entre o corte da cana-planta e a colheita em t mês^{-1}, conforme a equação 8.

$$T_c = \frac{TCH}{m} \quad \text{(eq. 8)}$$

Em que:

Tc = Taxa de crescimento (t mês^{-1});

TCH = Tonelada de colmo (t ha^{-1});

m = meses do experimento (unid.).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 9, encontram-se a relação do fornecimento hídrico e produtividade nos ciclos de cana-planta e soca. As lâminas aplicadas durante o ciclo de cana-planta variaram entre 241,22 a 723,66 mm/ciclo, correspondendo respectivamente à reposição de 40% a 120% da ETc. Do mesmo modo, as lâminas de irrigação aplicadas no ciclo de cana-soca variaram entre 321,32 a 963,96 mm/ciclo, correspondendo à reposição da ETc de 40% e 120%, respectivamente. No entanto, quando considerada a precipitação acumulada durante o cultivo, as lâminas totais para estes tratamentos foram de 994,22 a 1.476,66 mm/ciclo e 1.273,22 a 1.915,86 mm/ciclo na cana-planta e soca, respectivamente.

Os dados apresentaram comportamento quadrático, onde nas lâminas iniciais os valores foram crescentes (40%, 60% e 80%) e posteriormente houve uma queda na produtividade quando submetida as lâminas superiores em ambos os tipos de aplicação. Estes resultados corroboram com a afirmação de que o excesso de água, também é um fator nocivo para as plantas, segundo Wiedenfeld (2004). Embora a cana-de-açúcar seja altamente exigente em água, quando submetido a um cenário prolongado de excesso hídrico, pode apresentar reduções de rendimento produtivo. Porém no manejo contínuo da cana-planta, a aplicação da lâmina de 120% da ETc promoveu uma produtividade de 99,55 t ha^{-1}, sendo este o maior valor observado entre as demais do manejo contínuo.

Tabela 9. Relação do fornecimento hídrico e produtividade na variedade RB041443 nos ciclos de cana-planta e cana-soca irrigada por gotejamento subsuperficial pulsado e contínuo.

Cana-planta				
Lâminas de Irrigação	Fornecimento Hídrico (mm)			Produtividade (t ha^{-1})
Pulsada	P	L	P + L	RB041443
L1	753,00	241,22	994,22	86,50
L2	753,00	361,83	1.114,83	104,00
L3	753,00	482,44	1.235,44	112,63
L4	753,00	603,05	1.356,05	109,41
L5	753,00	723,66	1.476,66	106,63
Contínua				
L1	753,00	241,22	994,22	85,94
L2	753,00	361,83	1.114,83	93,31
L3	753,00	482,44	1.235,44	99,19
L4	753,00	603,05	1.356,05	98,13
L5	753,00	723,66	1.476,66	99,55
Cana-soca				
Pulsada	P	L	P + L	RB041443
L1	951,90	321,32	1.273,22	119,38
L2	951,90	481,98	1.433,88	134,29
L3	951,90	642,64	1.594,54	163,17
L4	951,90	803,30	1.755,20	161,50
L5	951,90	963,96	1.915,86	158,88
Contínua				
L1	951,90	321,32	1.273,22	115,42
L2	951,90	481,98	1.433,88	125,17
L3	951,90	642,64	1.594,54	147,18
L4	951,90	803,30	1.755,20	145,45
L5	951,90	963,96	1.915,86	145,42

P = precipitação observada, L = lâmina aplicada.

3.1. Taxa média de crescimento mensal da produção em cana-soca

Na Figura 5, observa-se que a taxa de crescimento mensal foi ascendente até a lâmina de 80%, onde posteriormente houve decréscimo nas lâminas superiores (100% e 120% da ETc). Esta queda pode ser atribuída ao excesso de água, visto que, o manejo da irrigação é muitas vezes comprometido também por lâminas em excesso, ocasionando em uma série de fatores que inibem o crescimento da planta, podendo citar a baixa disponibilidade de oxigênio no solo que atua negativamente limitando a atividade microbiana e o crescimento radicular, além da lixiviação de nutrientes em função da alta velocidade de infiltração em solos arenosos (OLIVEIRA; GUALTIERI, 2017; SARAIVA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2008).

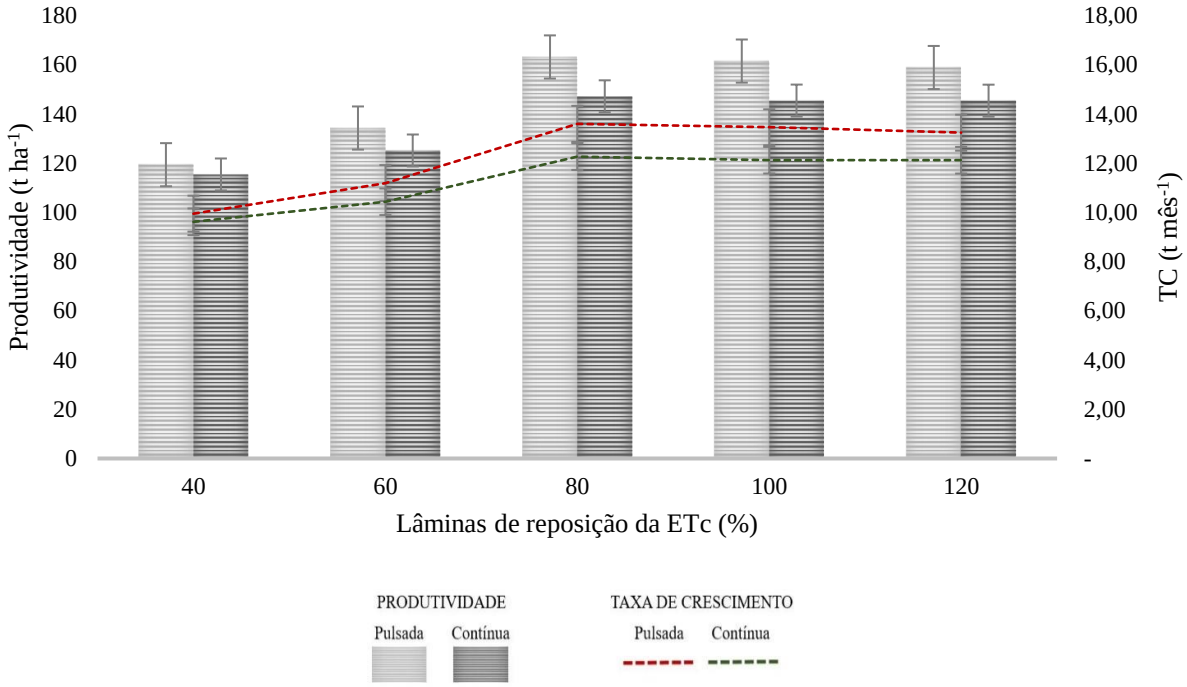

Figura 5. Taxa de crescimento mensal de TCH em função das lâminas de reposição da ETc.

Em todos os cenários avaliados verifica-se que a irrigação pulsada obteve uma taxa de crescimento mensal superior ao manejo contínuo, evidenciando os benefícios associados ao aumento da frequência de irrigação. A taxa de crescimento mensal média (TC) foi de 12,29 t mês^{-1} na irrigação pulsada, onde a lâmina deficitária (40% da ETc) obteve 9,95 t mês^{-1} e a lâmina de excesso (120% da ETc) apresentou 13,24 t mês^{-1}. Na irrigação pulsada, a lâmina de 80% ETc apresentou a maior taxa de crescimento 13,60 t mês^{-1}. Geralmente, as plantas quando submetidas a estresse hídrico, seja por excesso ou por escassez, a taxa de fotossíntese é reduzida, adotando mecanismos conservadores, reduzindo a condutância estomática e o processo transpiratório, aumentando a eficiência do uso da água (SOARES et al., 2012).

Para a irrigação contínua, a taxa de crescimento mensal média correspondeu a 11,31 t mês^{-1}, onde observou-se TC de 9,62 t mês^{-1} e 12,12 t mês^{-1} para as lâminas de 40% e 120% da ETc, respectivamente. A TC máxima observada na irrigação contínua foi de 12,27 t mês^{-1} na lâmina de 80% da ETc. Estudos realizados por Teodoro (2011), demonstrou resultados semelhantes ao observado no presente trabalho, onde, o mesmo obteve uma taxa de crescimento média de 12,30 t mês^{-1} em ciclo de cana planta e 10,80 t mês^{-1} na socaria.

De acordo com os resultados neste estudo, pode-se afirmar que a variedade RB041443 é responsiva a irrigação, visto que, em experimento realizado por Sousa et al. (1999) utilizando duas variedades a RB72454 e RB765418, os autores observaram taxas de crescimento médio

equivalente a 9,71 t mês^{-1} e 8,40 t mês^{-1}, respectivamente, aplicando lâminas que variaram de 1.063 a 1.811 mm.

3.3 Eficiência do uso de água (EUA) em cana-soca

Na Tabela 10, observa-se o resumo da análise de variância para a variável eficiência do uso da água (EUA). A interação entre os fatores lâminas de reposição da ETc (40, 60, 80, 100 e 120%) e tipos de aplicação da irrigação (pulsada e contínua) foi não significativa. Entretanto, quando estes fatores foram analisados isoladamente, as lâminas de irrigação e os tipos de aplicação apresentaram diferença significativa a 1% de probabilidade. O coeficiente de variação apresentou valor aceitável para um experimento de campo.

Tabela 10. Resumo da análise de variância para eficiência do uso da água (t ha^{-1} mm^{-1}) obtida no ciclo da cana-planta da variedade RB 041443, em função das formas de aplicação e diferentes lâminas de irrigação.

Fonte Variação	EUA		
	GL	QM	Pr>Fc
Tipo de Aplicação (TA)	1	0,000509	0,0016**
Lâminas (L)	5	0,000301	0,0002**
TA x L	4	88,11925	0,9990^{ns}
Blocos	3	0,000043	0,3852^{ns}
CV %	7,14		

ns: não siginificativo; **: significativo à ($p < 0,01$).

Deste modo, comprova-se que não houve efeito sinérgico das condições de aplicação de irrigação com as diferentes lâminas. A eficiência do uso da água (EUA) apresentou resposta quadrática à aplicação das diferentes lâminas totais de irrigação aplicadas (Figura 6A). Com base no modelo de regressão a lâmina de 70% da ETc apresentou melhor rendimento, aumento da EUA até atingir o valor máximo de 0,097 t mm^{-1} ha^{-1}. Enquanto que o menor rendimento foi expresso pela lâmina de 120% da ETc com 0,079 t mm^{-1} ha^{-1}. Cruciani e Minami (1981) afirma que em solos saturados, os processos respiratórios das raízes das plantas perdem a eficiência, visto que, reduzem ou até mesmo apresentam falta de oxigênio. Esses resultados podem ser atribuídos também ao processo de percolação, visto que, essa água em excesso não é efetiva para as plantas, transpassando a região da rizosfera e sendo perdida para o lençol freático.

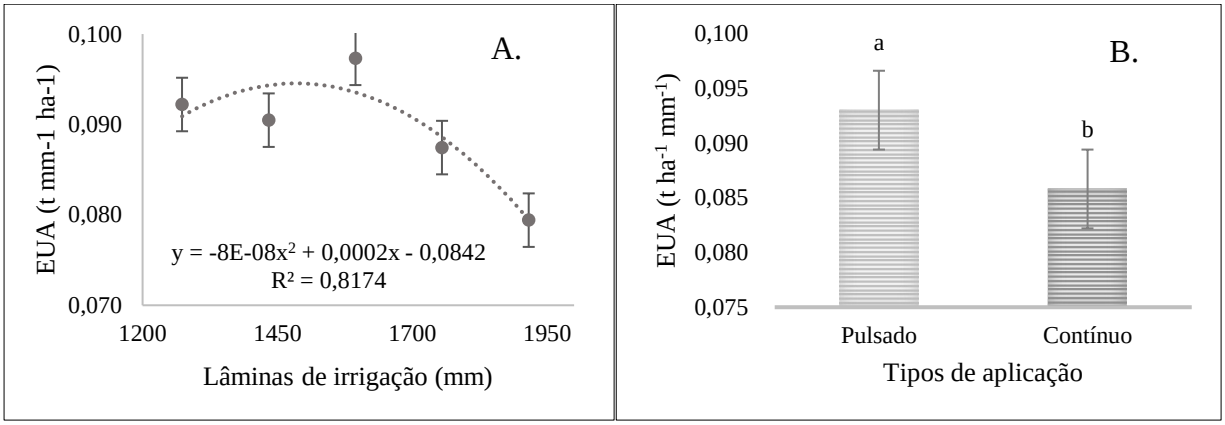

Figura 6. Análise do efeito das lâminas de irrigação (A.) e dos tipos de aplicação (B.) na eficiência do uso da água (EUA). Letras distintas significam que houve diferença estatística entre os valores pelo teste de Scott Knott à ($p < 0,01$).

De acordo com Tolk e Howell (2003), o aumento da aplicação de água de irrigação pode influenciar negativamente na EUA. Alamilla-Maganã et al. (2016) observaram maiores valores de EUA quando aplicadas menores lâminas de irrigação, porém a produtividade geralmente foi superior para as lâminas de irrigação maiores. Silva et al. (2013) observaram valores de EUA equivalentes a 0,083 e 0,073 t ha^{-1} mm^{-1} para irrigações com reposições de 100% e 50% da ETc, respectivamente.

Para o efeito dos tipos de aplicação (gotejamento pulsado ou contínuo) na EUA (Figura 6B), observou-se que o rendimento das plantas irrigadas por pulsos foi superior ao obtido pelas plantas irrigadas de forma contínua. Desse modo, houve um incremento médio de 7,74% da EUA quando submetida a irrigação pulsada. Experimentos avaliando o efeito da irrigação por gotejamento pulsado sobre a distribuição da umidade do solo e na produtividade do milho, determinaram uma maior EUA para o tratamento pulsado, registrando um aumento de 13,55% a mais que o tratamento contínuo (ZIN EL ABEDIN, 2006).

3.4 Incrementos na produtividade, ATR e remuneração

Na Tabela 11 observa-se a remuneração obtida em cada cenário estudado, desconsiderando o custo total de produção da cana-de-açúcar. Ao analisar os dois ciclos de cultivo, é possível constatar que a irrigação pulsada resultou em remuneração mais significativa quando aplicada com uma lâmina de irrigação correspondente a 80% da evapotranspiração da cultura (ETc). Esta lâmina demonstrou um aumento de 41,58% em comparação com a lâmina de 40% da ETc e um incremento de 4,09% em relação à aplicação com a lâmina de irrigação correspondente a 100% da ETc. O déficit hídrico foi um fator essencial na queda do rendimento econômico observado

nesse estudo. Embora a lâmina de excesso (120% ETc) tenha o maior fornecimento de água, isto não refletiu em maior remuneração obtida pela venda do produto.

Tabela 11. Quadro de remuneração da cana-de-açúcar em função da produtividade e rendimento tecnológico.

PLANTA						SOCA						PLANTA + SOCA	
Lâminas	Produtividade	ATR	Ágil	Pp	Remuneração	Lâminas	Produtividade	ATR	Ágil	Pp	Remuneração	Lâminas	Remuneração dos dois ciclos
Pulsada	t ha^{-1}	kg t^{-1}	%	R$ t^{-1}	R$ ha-1	Pulsada	t ha^{-1}	kg t^{-1}	%	R$ t^{-1}	R$ ha^{-1}	Pulsada	R$ ha^{-1}
40%	86,50	163,34	37,25	164,53	14.231,62	40%	119,38	152,9	28,45	227,71	27.184,02	40%	R$ 41.415,64
60%	104,00	164,43	38,17	165,63	17.225,29	60%	134,29	158,1	32,86	235,54	31.630,67	60%	R$ 48.855,96
80%	112,62	164,45	38,19	165,65	18.655,84	80%	163,17	164,5	38,21	245,02	39.979,91	80%	R$ 58.635,75
100%	109,41	165,56	39,12	166,77	18.245,88	100%	161,5	158,3	33,03	235,83	38.086,55	100%	R$ 56.332,42
120%	106,62	164,01	37,82	165,21	17.614,67	120%	158,88	148,6	24,86	221,35	35.168,09	120%	R$ 52.782,76
Contínua						Contínua						Contínua	
40%	85,94	168,23	41,36	169,46	14.563,01	40%	115,42	132,9	11,66	197,95	22.847,39	40%	R$ 37.410,40
60%	93,31	168,66	41,72	169,89	15.852,97	60%	125,17	139,8	17,44	208,2	26.060,39	60%	R$ 41.913,37
80%	99,19	171,83	44,39	173,08	17.167,56	80%	147,18	147,2	23,68	219,27	32.272,16	80%	R$ 49.439,71
100%	98,12	173,54	45,83	174,81	17.152,29	100%	145,45	139,4	17,15	207,68	30.207,06	100%	R$ 47.359,35
120%	99,55	170,80	43,52	172,05	17.127,51	120%	145,42	132,3	11,15	197,06	28.656,47	120%	R$ 45.783,98

Pp = preço do produto (Valor do kg t^{-1} x ATR obtido); Remuneração = Pp x produtividade.
Preço da Tonelada de Cana = R$ 119,87
Valor R$/Kg de ATR = R$ 1,0073
ATR Padrão 119,0063

Pp = preço do produto (Valor do kg t^{-1} x ATR obtido); Remuneração = Pp x produtividade.
Preço da Tonelada de Cana = R$ 177,28
Valor R$/Kg de ATR = R$ 1,4897
ATR Padrão 119,0063

Considerou-se a soma da remuneração obtida no ciclo na cana planta com o primeiro ano da soca.

Em ambos tipos de irrigação (pulsado e contínuo), a lâmina que apresentou a maior remuneração foi a de 80% da ETc. Nesta mesma lâmina, o gotejamento pulsado proporcionou uma porcentagem de remuneração superior (18,60%), quando comparada com a contínua, quando analiso os dois ciclos. Este resultado evidencia a superioridade no rendimento produtivo e industrial proporcionado pela irrigação pulsada, promovendo maior retorno financeiro ao produtor.

Observa-se de maneira separada que na cana-planta houve um incremento produtivo quando aplicada a irrigação pulsada. No entanto, é possível constatar que os valores de ATR foram superiores na aplicação da irrigação contínua (Tabela 11). Isto pode estar associado ao curto período que a cultura foi submetida no primeiro ciclo (planta), apenas nos meses de maior déficit hídrico da região. Provavelmente, com menos água disponível o processo de maturação fisiológica foi intensificado, proporcionando maior acúmulo de sacarose.

Na Tabela 12, apresentam-se os incrementos proporcionados pelo gotejamento por pulsos em detrimento do gotejamento contínuo na cana-soca. Observa-se que houve incremento no rendimento produtivo e na qualidade da matéria-prima em todas as lâminas aplicadas no presente estudo. O maior incremento de produtividade observado foi na lâmina de 100% da ETc, promovendo um ganho de 16,05 t ha^{-1}. Segundo o estudo de Abdelraouf et al. (2012), foi observado que ao repor 100% da evapotranspiração da cultura por meio de um sistema de irrigação por gotejamento, a irrigação pulsada promoveu uma eficiência de aplicação de água de 94% enquanto para irrigação contínua a eficiência do sistema foi de 89%. A irrigação pulsada promoveu maior tempo de umidade no solo acarretando maior absorção de nutrientes atuando positivamente no ganho produtivo observado.

Tabela 12. Incremento de rendimento produtivo, industrial e econômico na cana-soca submetida a gotejamento por pulsos em relação ao gotejamento contínuo.

Lâminas de Irrigação	Incremento de produtividade	Incremento de ATR	Remuneração
Pulsada	t ha^{-1}	kg t^{-1}	R$ t^{-1}
40%	3,96	19,98	117,87
60%	9,12	18,35	249,30
80%	15,99	17,29	411,85
100%	16,05	18,90	451,89
120%	13,46	16,31	327,04

Observa-se também que o maior incremento em ATR obtido foi de 19,98 kg t^{-1} resultante da aplicação da lâmina deficitária (40% ETc). O menor incremento observado de ATR, foi verificado na lâmina de excesso (120% ETc), apresentando valor de 16,31 kg t^{-1}. Esses resultados demonstram coerência, visto que, geralmente a cana-de-açúcar quando submetida a menores lâminas de água o processo de maturação é acelerado, corroborando com maior acúmulo de sacarose. Segundo Oliveira et al. (2012) o excesso de água e/ou nitrogênio está associado com o maior crescimento vegetativo da planta, correlacionando-se positivamente com o teor de umidade e negativamente com a acumulação de açúcares.

Apesar dos maiores incrementos (produtivo e qualitativo) acontecerem na lâmina de 100% da ETc, verifica-se que o melhor cenário para venda do produto, é proporcionado pelo fornecimento hídrico total de 1.594,54 mm equivalente a lâmina de 80% ETc aplicada por gotejamento pulsado. Nesta condição observou-se uma produtividade de 163,17 t ha^{-1} e ATR de 164,48 kg t^{-1}, elevando o preço do produto para R$ 245,02 por tonelada de cana comercializada (Tabela 11) no ciclo de cana-soca. Estudo realizado por Vieira et al. (2012), avaliando a produtividade de colmos e de rendimento de açúcares da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de água, observaram que o maior rendimento de açúcares 141,3 kg t^{-1} de colmos foi obtido com a lâmina de 1.617,7 mm, onde a partir desta lâmina, o teor de açúcares foi reduzido, devido à maior quantidade de água que estava disponível para a cultura.

3.5 Receita líquida e Receita bruta

A contabilização das receitas foi realizada para os melhores cenários obtidos no presente estudo em ambos tipos de aplicação, ou seja, nos tratamentos submetidos as lâminas de reposição

de 80% da ETc nos dois ciclos. Na Tabela 13 encontra-se a sumarização das receitas obtidas nos cenários que tiveram remunerações superiores.

Tabela 13. Receitas das lâminas 80% da ETc em cana-planta e primeiro ano de socaria.

Ciclo	T.A	Produtividade (t ha^{-1})	ATR (kg ha^{-1})	Custo implantação+operação (R$ ha^{-1})	RB (R$ ha^{-1})	RL (R$ ha^{-1})
Planta	Pulsado	112,62	164,45	28.818,29	18.655,84	- 10.162,45
	Contínuo	99,19	171,83		17.167,56	- 11.650,73
1º Soca	Pulsado	163,17	164,48	10.659,40	39.979,91	29.320,51
	Contínuo	147,18	147,19		32.272,16	21.612,76
Planta + Soca	Pulsado	275,79	328,93	39.477,69	58.635,75	19.158,06
	Contínuo	246,37	319,02		49.439,72	9.962,03

T.A = tipos de aplicação

Nota-se que, conforme já esperado, a receita líquida apresentou resultados desfavoráveis durante o primeiro ciclo de cultivo devido aos custos iniciais substanciais associados à implantação do sistema, bem como aos gastos relacionados ao plantio. No entanto, é digno ressaltar que já no ciclo subsequente de cultivo, houve uma inversão para resultados consistentes na receita líquida, o que está diretamente relacionado aos aumentos de produtividade e às melhorias na qualidade tecnológica fornecidas pela implementação do sistema de irrigação por gotejamento. Dessa forma, é evidente que o sistema se revela altamente atrativo e desempenha um papel determinante no processo de decisão relativo à sua adoção.

Ao examinar as mesmas lâminas, a aplicação pulsada provou ser mais eficiente em comparação com um regime de aplicação contínua. Embora os valores estejam acima das médias locais de produtores, é notável que o manejo pulsado resultou em um aumento líquido de receita de R$ 9.196,03 por hectare quando analisado os dois ciclos de cultivo.

Neste modo, torna-se imprescindível uma análise financeira mais profunda para averiguação da real influência que o tipo de aplicação de água exerce sobre a produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

4. CONCLUSÃO

1. A produtividade da água para cana irrigada por pulsos é superior à da cana irrigada de maneira contínua independente da lâmina de reposição.

2. A irrigação por gotejamento pulsado mostrou-se eficiente no cultivo de cana-de-açúcar, com destaque para a lâmina de reposição equivalente a 80% da ETc com maior eficiência do uso da água
3. O melhor cenário de venda do produto foi observado para o gotejamento pulsado na lâmina de 80% da Evapotranspiração da cultura com receita líquida positiva.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELRAOUF, R. E.; ABOU-HUSSEIN, S. D.; REFAIE K. M.; EL-METWALLY, I. M. Effect of pulse irrigation on clogging emitters, application efficiency and water productivity of potato crop under organic agriculture conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Amman, v. 6, n. 3, p. 807-816, 2012.

AGUIAR, A. T. E., GONÇALVES, C., PATERNIANI, M. E. A. G. Z., TUCCI, M. L. S. A., CASTRO, C. E. F. Instruções Agrícolas para as Principais Culturas Econômicas, BOLETIM 200 IAC, Campinas – SP, 2014. 112 p.

AFFÉRRI, A.; TRENTO, E.; PINTO, R. Como fazer um plano diretor de irrigação de canaviais. Projeto cana pede água. Disponível em: <www.canapedeagua. com.br/index.php?option=com_ docman&Itemid=17>. Acesso em: 03 Nov. 2021.

ALAMILLA-MAGAÑA, J. C.; CARRILLO-ÁVILA, E.; OBRADOR-OLÁN, J.J.; LANDEROS-SÁNCHEZ, C. VERA-LOPES, J.; JUÁREZ-LÓPEZ, J. F. Soil moisture tension effect on sugar cane growth and yield. Agricultural Water Management, v.177, p.264-273, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretária de Vigilância em Saúde. Portaria MS nº 518, de 25 de março de 2004. Brasília, 2005. 28 p. ISBN: 85-334-0935-4.

CAVALCANTI, F. L. A.; SANTOS, J. C. P.; PEREIRA, J. R.; LEITE, J. P.; SILVA, M. C. L.; FREIRE, F. J.; SILVA, D. J.; SOUSA, A. R.; MESSIAS, A. S.; FARIAS, C. M. B.; BURGOS, N.; LIMA JÚNIOR, M. A.; GOMES, R. V.; CAVALCANTI, A. C.; LIMA, J. F. W. F. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3 ed. Recife: Instituto Agronômico de Pernambuco-IPA, 2008. 212 p.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Custos de produção agrícola: A metodologia da Conab, Brasília, DF, 2010.

CONSECANA, Conselho de Produtores de Cana-de-Açúcar. Manual de instruções. 5. ed. Piracicaba – SP, 2006. 112 p.

CRUCIANI, D. E.; MINAMI, K. Efeito das inundações periódicas sobre a produção de cana-de-açúcar. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, v. 97, n. 2, p. 57-61, 1981.

DAKER, A. Irrigação e drenagem: a água na agricultura. 7 ed. Rio de Janeiro, RJ: Frei Bastos, 1988. 543p.

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

DOORENBOS, J. Y.; PRUITT, W. O. Crop water requirements. FAO Estudio de Riego y Drenaje, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 1977. 144 p.

DOORENBOS, J. Y.: KASSAN, A, H. Efeito da água no rendimento das culturas. Tradução de H. R. gheyi, A. A de Souza, F. A. V. Damasceno, J. F. de Medeiros, Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994, p. 220-226. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013a.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Espaçamento e Profundidade do Sistema de Irrigação por Gotejamento Subsuperficial em Cultivo de Cana-de-açúcar**. 114.ed. Brasília: Instruções Técnicas da Embrapa Semiárido, 2013b.

FRIZZONE, J.A.; JÚNIOR, A.S. DE A.; SOUZA, J.L.M.; ZOCOLER, J.L. Planejamento de Irrigação: análise de decisão de investimento. Embrapa Informação Tecnológica; Brasília, Distrito Federal, Brasil. 2005.

GUIDUCCI, R. C. N.; ALVES, E. R. A.; LIMA FILHO, J. R.; MOTA, M. M. Aspectos metodológicos da análise de viabilidade econômica de sistemas de produção. In: GUIDUCCI. R. do C. N.; LIMA FILHO. J. R. de; MOTA. M. M. (Ed.). Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso. Brasília. DF: Embrapa. 2012.

INOVAGRI, Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada. Gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. Webinar Inovagri. Link: https://www.youtube.com/watch?v=qx8-nngKk5E. Acesso: mar, 2022.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. Transactions of the ASAE, v. 17, p. 678-684, 1974.

LAZZAROTTO, J. J. Gestão econômica e financeira na produção de frutas de clima temperado. Embrapa Uva e Vinho-Artigo em periódico indexado (ALICE). 2014.

MATSUNAGA, M.; P. BEMELMANS.; P. TOLEDO.; R. D. DULLEY.; H. OKAWA.; I. A. PEDROSA. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. Agricultura em São Paulo, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.

MENDES, P. M. B.; ROLIM, M. M.; LIMA, R. P.; PEDROSA, E. M. R.; TAVARES, U. E.; SIMÕES NETO, D. E. Estimation of precompression stress in an Ultisol cultivated with sugarcane. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 23, p. 336-340, 2019.

OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J. Trocas gasosas e grau de tolerância ao estresse hídrico induzido em plantas jovens de Tabebuia aurea (Paratudo) submetidas a alagamento. Revista Ciência Florestal, v. 27, p. 181-191, 2017.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZU, 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, A. F.; MEDEIROS, J. F.; LIMA, C. J. G. S.; DUTRA, I.; OLIVEIRA, M. K. T. Eficiência agronômica da fertirrigação nitrogenada e potássica na cultura do meloeiro nas condições do Semiárido nordestino. Revista Caatinga, v. 21, p.5-11, 2008.

OMETTO, J. C. Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba: ESALQ, 1980.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T.; VENEGAZ, V. H. A. 5ª Aproximação-Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Editora UFV, Viçosa, Minas Gerais, 1999.

SARAIVA, K. R.; BEZERRA, F. M. L.; SOUZA, F.; CAMBOIM NETO, L. F. Aplicação do "ISAREG" no manejo da irrigação na cultura da melancia no Baixo Acaraú, Ceará. Revista Ciência Agronômica, v. 44, p. 53-60, 2013.

SHANAN, L. Planning and management of irrigation systems in developing countries. Agricultural Water Management, 1992. 3-234 p.

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

SOARES, L. A. A.; SOUSA, J. R. M.; BRITO, M. E. B.; ANDRADE, E. M. G.; SÁ, F. V. S.; SILVA, E. C. B. Influência de diferentes lâminas de irrigação nas trocas gasosas do tomateiro na fase vegetativa. Revista Agropecuária Técnica no Semiárido, v. 8, p. 118-122, 2012.

SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades, em Campos Goytacazes, RJ. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 19, n. 1, 1999.

TEODORO, I. Respostas técnico-econômicas da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada. 2011. 100 f. Tese (Doutorado en Agronomia/Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

TOLK, J. A.; HOWELL, T. A. Water use efficiencies of grain sorghum grown in three USA southern Great Plains soils. Agricultural Water Management, v.59, p.97-111, 2003. DOI: 10.1016/S0378-3774(02)00157-9.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, E. L.; DELAZARI, F. T. Produtividade de colmos e rendimento de açúcares da cana-de-açúcar em função de lâminas de água. Irriga, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 234-244, 2012.

WIEDENFELD, B. Schelduling water application on drip irrigated sugarcane. Agricultural Water Management. v. 64, p. 169-181, 2004.

ZIN EL-ABEDIN, T.K. Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil. In: THE 14TH. ANNUAL CONFERENCE OF THE MISR SOCIETY OF AG. ENG., 2006.