

KARLA EMMANUELLE DA SILVA

**GOTEJAMENTO PULSADO E CONTÍNUO COM DOSES DE NITROGÊNIO NA
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Recife – PE

Maio, 2023

KARLA EMMANUELLE DA SILVA

**GOTEJAMENTO PULSADO E CONTÍNUO COM DOSES DE NITROGÊNIO NA
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

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

Orientador: Prof. Dr. Manassés Mesquita da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Gerônimo Ferreira da Silva

Recife – PE

Maio, 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)

S586

Silva, Karla Emmanuelle da
GOTEJAMENTO PULSADO E CONTÍNUO COM DOSES DE NITROGÊNIO NA PRODUTIVIDADE E
QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR / Karla Emmanuelle da Silva. - 2023.
54 f.

Orientador: Manasses Mesquita da Silva.
Coorientador: Geronimo Ferreira da Silva.
Inclui referências.

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

1. Manejo da Irrigação. 2. Irrigação por pulsos. 3. Nutrição. I. Silva, Manasses Mesquita da, orient. II. Silva, Geronimo
Ferreira da, coorient. III. Título

CDD 630



Ministério da Educação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Rua Dom Manoel de Medeiros s/n - Dois Irmãos - Recife / PE
Tel. (0xx) 81-3320-6276 ou (0xx) 81 - 3320-6279 - www.pgea.ufrpe.br

DOCUMENTO DE REGISTRO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 25 dias do mês de maio de 2023 às 09h, realizou-se a Defesa de Dissertação Intitulada: "GOTEJAMENTO PULSADO E CONTÍNUO COM DOSES DE NITROGÊNIO NA PRODUTIVIDADE E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR", pela aluna **Karla Emmanuelle da Silva**, de acordo com as Normas Gerais dos Cursos de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco e complementadas pelas Normas Internas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, aprovadas pelo Colegiado de Coordenação Didática do Programa.

A Comissão examinadora foi composta pelos professores:

Manassés Mesquita da Silva (Presidente);
Mateus Rosas Ribeiro Filho (Membro Externo);
Djalma Euzébio Simões Neto (Membro Externo);
Cláudio Augusto Uyeda (Membro Externo).

Após a apresentação da Dissertação e efetuadas as arguições, a aluna recebeu da comissão examinadora os seguintes conceitos.

Manassés Mesquita da Silva	_____
Mateus Rosas Ribeiro Filho	_____
Djalma Euzébio Simões Neto	_____
Cláudio Augusto Uyeda	_____

De acordo com os conceitos atribuídos a aluna foi considerada (_____) devendo, para obtenção do grau de mestre, proceder às correções necessárias, entregar a versão final da Dissertação no prazo máximo de 60 (sessenta) dias e encaminhar um artigo científico para publicação.

Conferem o presente documento, que não apresenta rasuras nem emendas as seguintes pessoas:

Aluno (a): Karla Emmanuelle da Silva _____

Secretariada por Ana Paula Rodrigues da Luz Neri _____

Recife, _____ de _____ de _____

*“Prepara-se o cavalo para o dia da batalha,
mas o Senhor é quem dá a vitória.”*

Provérbios 21:31

A minha amada mãe, por todo amor e incentivo

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, Por ter me dado sabedoria para discernir os momentos de adversidades, força para suportar as dificuldades e determinação para concluir mais essa etapa em minha vida profissional e pessoal. Agradeço ao tempo de preparo enquanto esperava.

A toda da minha família, pelo apoio, carinho, motivação, investimento e esperanças, compartilhados nesses últimos anos. Essa conquista é nossa!

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela oportunidade de crescimento profissional, assim como ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado, fundamental ao desempenho de todas as atividades desenvolvidas.

À Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina (EECAC) e ao seu Coordenador, Dr. Djalma Euzébio, por todo suporte concedido para a realização do experimento, assim como as orientações e conhecimentos compartilhados.

A Usina Petribu pela parceria em realizar as análises laboratoriais e visita técnica para a apresentação do procedimento de análise.

Ao meu orientador, Professor Dr. Manassés Mesquita pela orientação, conselhos, compreensão, tranquilidade e os conhecimentos transmitidos que levarei por toda a vida. Ao meu coorientador, Professor Dr. Gerônimo Ferreira, por todo o apoio e ensinamentos repassados. Também ao Professor José Amilton por todos os conselhos e motivação ao longo desses anos.

Às minhas amigas de mestrado Kátia Ribeiro e Ana Cláudia e meus companheiros de campo, Bruna Braz e João Victor. Em especial, a Maria Catiana por ter compartilhado diariamente as alegrias e dificuldades da condução do experimento; a Evanilson Paulino, por sempre está presente nos ajudando e trazendo uma palavra de Deus; e a Sirleide Maria, por todo apoio e paciência que contribuíram para a construção deste trabalho.

Aos demais que de alguma forma contribuíram, diretamente ou indiretamente, para o desenvolvimento desde as disciplinas cursadas, execução do experimento, escrita, apresentação dos resultados e conclusão do mestrado.

Obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. Geral	13
2.2. Específicos	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1. Aspectos gerais e agronômicos da cultura da cana-de açúcar	14
3.2. Adubação nitrogenada na cultura da cana-de açúcar	16
3.3. Irrigação na cana-de-açúcar;	18
3.4. Irrigação por pulsos	20
3.5. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1. Caracterização da Área Experimental	25
4.2. Histórico da Área de Cultivo	26
4.3. Delineamento Experimental - 3º Ciclo	26
4.4. Caracterização do Sistema de Irrigação	27
4.5. Aplicação dos tratamentos	28
4.6. Monitoramento da Umidade do Solo	30
4.7. Variáveis Analisadas	31
4.7.1. Produtividade	31
4.7.2. Parâmetros Tecnológicos dos Colmos	31
4.7.3. Eficiência do Uso da Água	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
6. CONCLUSÕES	47
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
8. REFERÊNCIAS	49

Silva, Karla Emmanuelle da. **Gotejamento pulsado e contínuo com doses de nitrogênio na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.** 2023. 54f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma das culturas de grande importância econômica para o Brasil. Devido a sua crescente utilização para a geração de energia e biocombustíveis, busca-se a expansão e a melhor gestão das áreas já existentes. Em locais onde a precipitação é má distribuída ao longo do ciclo da cultura, se faz necessário o uso da irrigação para suprir a sua demanda hídrica. No entanto, com a escassez hídrica, o uso de estratégias de manejo da irrigação colabora para a redução do consumo de água e seu desperdício, assim como o aumento da eficiência na aplicação de nutrientes com destaque para o Nitrogênio por ser um dos elementos mais requeridos pela planta. Neste contexto, desenvolveu-se o presente trabalho com o objetivo de avaliar a produtividade e a qualidade tecnológica da cultura da cana-de-açúcar quando submetida a diferentes doses de nitrogênio e duas maneiras de aplicação de água. O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (EECAC) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no município de Carpina – Pernambuco, Brasil, localizada na latitude de 7°51'24,31" S, longitude de 35°14'16,97" W e altitude de 184 m, em delineamento experimental em blocos ao acaso sob arranjo fatorial 2 x 5, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas. Os tratamentos foram constituídos por dois tipos de aplicação da água: gotejamento subsuperficial pulsada e contínua, com 40 minutos de intervalo entre pulsos; e cinco doses de nitrogênio (80, 120, 160, 240 e 320 kg de N ha⁻¹). O uso do gotejamento subsuperficial pulsado favoreceu incrementos positivos nas variáveis ATR, Brix, ART e Pol da Cana; A dose média de 232 kg de N ha⁻¹ pode ser considerada ótima para beneficiar os principais parâmetros da qualidade tecnológica (Brix, Pol da cana e Pureza), envolvidos no cálculo do ATR. A aplicação pulsada do nitrogênio proporcionou maior Eficiência do uso da água para as doses superiores a 180 kg de N ha⁻¹ havendo declínio após esta.

Palavras-chave: Manejo da irrigação, Irrigação por pulsos, Nutrição, *Saccharum spp*

Silva, Karla Emmanuelle da. **Pulsed and continuous dripping with nitrogen doses on productivity and technological quality of sugarcane.** 2023. 54f. Dissertation (Master in Agricultural Engineering) – Federal Rural University of Pernambuco, Recife.

ABSTRACT

Sugarcane is one of the crops of great economic importance for Brazil. Due to its increasing use for the generation of energy and biofuels, expansion and better management of existing areas are sought. In places where precipitation is more distributed throughout the crop cycle, it is necessary to use irrigation to meet its water demand. However, with water savings, the use of irrigation management strategies collaborates to reduce water consumption and waste, as well as increasing efficiency in the application of nutrients, with emphasis on Nitrogen, as it is one of the most necessary elements. by the plant. In this context, the present work was developed with the objective of evaluating the productivity and the technological quality of the sugarcane culture when experimented with different doses of disease and two ways of applying water. The experiment was carried out at the Carpina Sugarcane Experimental Station (EECAC) of the Federal Rural University of Pernambuco, in the municipality of Carpina - Pernambuco, Brazil, located at latitude 7°51'24.31" S, longitude 35°14'16.97" W and altitude of 184 m, in a randomized block experimental design in a 2 x 5 factorial arrangement, with four replications, totaling 40 plots. The treatments consisted of two types of water application: pulsed and continuous subsurface dripping, with a 40-minute interval between pulses; and five doses of chicken (80, 120, 160, 240 and 320 kg of N ha⁻¹). The use of pulsed subsurface dripping favored positive increments in the variables ATR, Brix, ART and Pol da Cana; The average dose of 232 kg of N ha⁻¹ can be considered optimal to benefit the main parameters of technological quality (Brix, Sugarcane Pol and Purity), involved in the ATR study. The pulsed application of the administered greater Efficiency of water use for doses greater than 180 kg of N ha⁻¹ having decreased after this.

Keywords: Irrigation management, Pulse irrigation, Nutrition, *Saccharum spp.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estágios fenológicos da cultura da cana-de-açúcar para o primeiro e segundo corte. HISSA, 2011.	15
Figura 2. Fluxograma operacional da determinação do açúcar total recuperável (ATR). CONSECAN-PE, 2018.	23
Figura 3. Croqui da área experimental. Do autor.	27
Figura 4. Parcelamento mensal da aplicação das doses de nitrogênio e potássio. Do autor. ..	28
Figura 5. Valores de precipitação (PP), evapotranspiração de referência (ET _o), evapotranspiração da cultura (ET _c), e lâmina bruta aplicada (LB) para a cultura da cana-de-açúcar. Carpina - PE, 2021/2022.	30
Figura 6. Comportamento das leituras dos tensiômetros para as camadas de solo de (a) 0 a 20 cm; (b) 20 a 40 cm; e (c) 40 a 60 cm.	36
Figura 7. Leitura das umidades do solo ao longo do ciclo para o tratamento pulsado e contínuo. (a) 0 a 20 cm; (b) 20 a 40 cm; e (c) 40 a 60 cm.	37
Figura 8. Produtividade da cultura da cana-de-açúcar (TCH) sobre o efeito das doses de nitrogênio e tipos de manejo da irrigação.	38
Figura 9. (A) Açúcar Total Recuperável (ATR); (B) Sólidos Solúveis Totais (Brix), respectivamente, sobre o efeito isolado do tipo de aplicação e doses de nitrogênio.	40
Figura 10. (A) Pureza da cana-de-açúcar sobre o efeito isolado das doses de nitrogênio; (B) Fibras da cana-de-açúcar sobre o efeito isolado do tipo de aplicação e doses de nitrogênio. ..	41
Figura 11. (A) Açúcar reduzido total sobre o efeito isolado do tipo de aplicação e doses de nitrogênio; (B) Açúcar redutor (AR), sobre o efeito isolado das doses de nitrogênio.	42
Figura 12. (A) Pol da cana, sobre o efeito do tipo de aplicação e doses de nitrogênio; (B) Pol do caldo sobre efeito das doses de nitrogênio.	44
Figura 13. Eficiência do uso da água para a cultura da cana-de-açúcar sobre o efeito da interação entre tipo de aplicação e doses de nitrogênio.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental antes do início da aplicação dos tratamentos.....	25
Tabela 2. Coeficiente de cultivo (Kc) para a cana-de-açúcar nos diferentes estágios de desenvolvimento da cultura. Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994).....	30
Tabela 3. Resumo da análise de variância para as qualidades tecnológicas da cana-de-açúcar (3º Ciclo).	39

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância econômica para o país por ser matéria-prima de diversos produtos, destacando-se o açúcar, etanol, também é responsável pela geração de energia utilizando subprodutos da indústria, como o bagaço (HOFSET, SILVA, 2012). Além disso, o setor sucroalcooleiro é um dos que mais proporcionam oportunidades de empregos diretos e indiretos, movimentando a economia (CUENCA, NAZÁRIO, 2005).

O Brasil é o maior produtor de açúcar do mundo, seguido da Índia e China. Segundo as projeções da FAO (2019), o Brasil continuará a ser o maior produtor de açúcar e etanol, com cerca de 37% da cana-de-açúcar do mundo até 2028. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), para a safra de 2022/2023, o Brasil contou com uma área plantada de 8.3 milhões de hectares e uma produtividade média esperada de 72.026 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022).

Inicialmente a cana-de-açúcar teve seu maior destaque na região Nordeste. Porém, atualmente a região Centro-Sul é a que mais produz cana-de-açúcar no Brasil, responsável por cerca de 92% da produção (UNICA, 2021). Segundo a CONAB, para a safra de 2022/23, na região nordeste, ocorreu um aumento de 3,2% da área produzida, em relação à safra passada em que muitos produtores abandonaram suas lavouras por fatores climáticos.

Em Pernambuco, o cultivo da cana se concentra na região da Zona da Mata Norte e Zona da Mata Sul, ocupando quase que a totalidade das áreas agrícolas da região. As safras costumam iniciar-se na segunda quinzena de agosto e estender-se até abril do ano seguinte. Para a última safra de 2021/2022, a produção de cana para o estado foi de 12,77 milhões de toneladas, contando com 217,4 mil hectares plantados (CONAB, 2022).

No entanto, cada vez mais a cultura vem sendo utilizada como fonte de energia renovável e biocombustíveis (SILVA, MIGOT, SILVA, 2019; UNICA, 2022), razão pela qual tem motivado a expansão das áreas cultivadas, especialmente em regiões de clima tropical e subtropical. Porém vale salientar que os períodos de seca, predominantes nestas regiões, reduzem significativamente a produtividade da cana de açúcar, sendo necessário o suprimento hídrico adequado à cultura.

No Nordeste, as chuvas concentram-se nos meses de abril a agosto, seguindo de um acentuado período de deficiência hídrica entre os meses de setembro a março. Neste sentido, a irrigação tem sido utilizada de forma a reduzir ou minimizar os impactos da escassez de água na cultura.

Todavia, a água utilizada para irrigar deve ser gerida de modo a evitar desperdícios, promovendo assim o uso racional dos recursos hídricos uma vez que dentre as atividades humanas o setor agropecuário é tido como a que mais consome água. Desta forma a utilização de técnicas de manejo que auxiliem a gestão e melhorem a eficiência do uso da água pela cultura, são essenciais para manter um cultivo sustentável.

A irrigação por pulsos é uma técnica de manejo da irrigação que utiliza ciclos *on/off* para a aplicação da lâmina requerida, ou seja, o fornecimento da água de irrigação de forma parcelada. Embora o manejo por pulsos possa ser utilizado em qualquer método de irrigação, a associação com a irrigação localizada por gotejamento tem demonstrado resultados mais promissores (ZAMORA et al., 2019; MENEZES et al., 2020a).

A técnica da irrigação pulsada atrelada ao manejo da irrigação vem sendo utilizado em várias partes do mundo e nas mais diversas culturas, devido seus benefícios como o aumento da produtividade, melhor eficiência no uso da água, manutenção da umidade do solo, redução do entupimento dos gotejadores, assim como permite uma maior extração de nutrientes por parte das plantas (ABDELRAOUF et al., 2012; ALMEIDA et al., 2018, MENEZES et al., 2020a, MENEZES et al., 2020b). Desta forma, a adoção da irrigação por pulsos também pode ser uma das formas de manejo da aplicação de nutrientes, visando a redução da lixiviação deles.

A cultura da cana-de-açúcar tem uma alta demanda nutricional, principalmente o nitrogênio (URIBE et al., 2016). Contudo, a adubação nitrogenada de forma inadequada pode levar a reduções de produtividade no canavial, assim como causar alguns impactos ambientais devido as inúmeras transformações bioquímicas que ocorre com este elemento como, a mineralização, lixiviação e volatilização (SOARES et al., 2020).

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

- Avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de nitrogênio sob gotejamento subsuperficial pulsado e contínuo sobre a produtividade e a qualidade tecnológica da cultura da cana-de-açúcar.

2.2. Específicos

- Analisar o efeito da irrigação por gotejamento subsuperficial pulsado e contínuo no aproveitamento das doses de nitrogênio aplicadas sobre a produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar;
- Quantificar o rendimento produtivo de colmos da cana-de-açúcar;
- Identificar qual dose de nitrogênio demonstrou melhores resultados sobre a produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Aspectos gerais e agronômicos da cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) apresenta elevada utilização e resgate de CO₂ da atmosfera, sendo uma das gramíneas com a maior eficiência fotossintética. É adaptada às condições de alta intensidade luminosa e altas temperaturas, se desenvolvendo bem em climas tropicais e subtropicais, por apresentar um metabolismo C₄, o que permite uma alta taxa de crescimento e eficiência do uso da água (CASAGRANDE, 1996). Porém, é necessário grande quantidade de água para suprir a demanda hídrica da cultura (SEGATO, ALONSO, LAROSA, 2006; SILVA et al., 2014).

Originária da região central da Nova Guiné e Indonésia, localizadas no sudeste do continente Asiático (RHEIN et al., 2016), a cana-de-açúcar teve boa adaptação no Brasil, principalmente na região Nordeste e Centro-Sul do país, que apresentam uma faixa de temperatura entre 22°C e 38°C, região a qual apresenta um clima ideal para o desenvolvimento da cultura, com alta incidência de radiação solar (DIOLA, SANTOS, 2011).

Como características morfológicas, a cana-de-açúcar possui o caule em forma de colmos compostos por nós e entrenós, folhas com bainha aberta, e lâminas de sílica nas bordas. Seu desenvolvimento se dá por meio da formação de touceiras devido ao intenso perfilhamento e a parte subterrânea formada por raízes e rizomas. A inflorescência da cana-de-açúcar é uma panícula aberta, chamada de flecha ou bandeira (MOZAMBANI et al., 2006; FRANÇA, JASINSKI, 2007).

As raízes são do tipo fasciculada encontrando-se 85% nos primeiros 50 cm profundidade, sendo estes, 60% nos primeiros 20 a 30 cm de profundidade. A depender da variedade, as raízes da cana-de-açúcar podem atingir até 4 m de profundidade (SILVA, SILVA, 2012). Após o corte, os rizomas permanecem no campo e suas raízes mantêm suas funções até que ocorra a emergência dos novos pelos radiculares e a rebrota.

É uma cultura semiperene e apresenta dois ciclos de acordo com o período de plantio, podendo ser em sistema de ano-e-meio (cana de 18 meses) e sistema de ano (cana de 12 meses). Porém, para áreas irrigadas ou fertirrigadas com vinhaça, o plantio da cana pode ser realizado em qualquer época do ano (DIOLA, SANTOS, 2011).

O ciclo da cana-de-açúcar é bem definido, podendo ser dividido em quatro estágios fenológicos: a brotação e estabelecimento da cultura, perfilhamento, crescimento da parte aérea e maturação dos colmos, conforme mostrado na Figura 1, para a cana-planta e cana-soca.

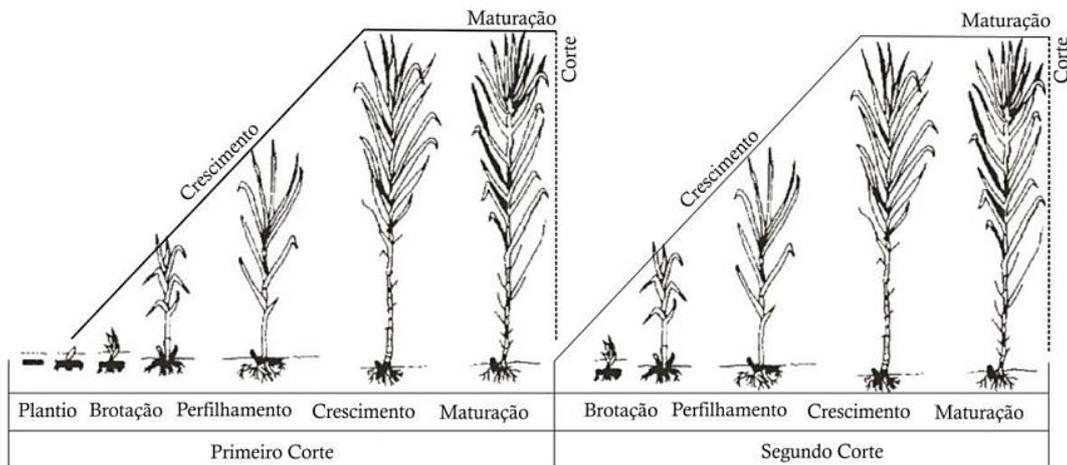


Figura 1. Estágios fenológicos da cultura da cana-de-açúcar para o primeiro e segundo corte. HISSA, 2011.

A brotação ocorre entre 20 e 30 dias após o plantio (DAP) e logo em seguida inicia a formação do sistema radicular e o surgimento dos perfilhos primários. O perfilhamento é intensificado por volta dos 40 DAP podendo durar até 120 dias. O perfilhamento pode variar conforme o número de cortes do canavial. Em seu trabalho, Almeida et al., (2008) constataram que na cana soca, o perfilhamento máximo ocorreu 60 dias após o corte (DAC), em comparação com a cana planta, em que o perfilhamento ocorreu 120 DAC, isto devido ao fato do sistema radicular na cana soca já está estabelecido.

O crescimento dos colmos é a fase que interfere diretamente na produção, ocorrendo o alongamento dos colmos e acúmulo de matéria seca, tendo seu início aos 120 DAP, chegando até 270 DAP (em um cultivo de 12 meses). Entre os 270 e 360 DAP ocorre a fase de maturação da cultura, fase a qual acontece a síntese e o acúmulo de açúcares (DIOLA, SANTOS, 2011).

O perfilhamento e crescimento dos colmos são as fases mais importantes e susceptíveis a serem afetadas devido a fatores externos. calo (2016) expõe que a luz é um dos fatores que mais influenciam nestas fases devido a capacidade da cana de regular a atividade das enzimas de crescimento. O déficit hídrico também pode resultar em maiores danos à produtividade da cultura, em que pequenas reduções da disponibilidade hídrica de água no solo afetam a divisão celular responsável pelo perfilhamento e o crescimento dos colmos (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; AVILEZ et al., 2018).

3.2. Adubação nitrogenada na cultura da cana-de açúcar

Assim como nas demais culturas comerciais, a adubação na cana-de-açúcar tem por objetivo garantir a disponibilidade de nutrientes para as plantas de forma que mantenham um bom desenvolvimento e produtividade. Conhecer a taxa de crescimento e a alocação de nutrientes durante o ciclo da cana-de-açúcar contribui para a melhoria dos ambientes de produção e do potencial do rendimento agrícola (OLIVEIRA et. al., 2011a).

Casagrande (1991) relata que a ordem de absorção dos minerais pela cana-de-açúcar é: $K > N > Ca > Mg > P > S$, podendo ser alterada a depender da disponibilidade destes elementos na solução do solo. Já para os micronutrientes, os mais absorvidos pela cana são: $Fe > Zn > Mn > B \geq Cu$. Mais recentemente, Salviano et al. (2017), realizando estudos em condições de irrigação por sulco no Semiárido brasileiro, afirmaram que a extração dos macronutrientes para a cana-de-açúcar possui a ordem de $K > N > S > Ca > P > Mg$.

Analisando o acúmulo mineral da biomassa na parte aérea, Oliveira et al. (2007) obtiveram os resultados de que para a produção de 100 toneladas de colmos para o processamento industrial, o acúmulo de macronutrientes é da ordem de 150, 40, 180, 90, 50 e 40 kg de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Já para os micronutrientes, o acúmulo se deu por volta de 8,0; 3,0; 0,6; 0,4 e 0,3 kg de Fe, Mn, Zn, Cu e B, respectivamente.

O fósforo e o nitrogênio são os elementos que mais limitam o crescimento da cana. O fósforo, pois, atua na divisão celular e interfere diretamente no perfilhamento e formação das touceiras. Já o nitrogênio, é um dos principais componentes das proteínas e aminoácidos, participando de forma direta e indireta de vários processos bioquímicos. Segundo Taiz e Zeiger (2017), a escassez de nitrogênio retarda o crescimento das plantas, devido a diminuição da síntese de clorofila no processo de fotossíntese, reduzindo o número de entrenós. No entanto, o excesso de nitrogênio também pode prejudicar a planta pois causa um maior desenvolvimento da parte aérea em relação ao sistema radicular.

A adubação nitrogenada se destaca diante das demais adubações como alternativa para o aumento da produtividade e longevidade dos canaviais, tendo como respostas positivas mais frequentes para os ciclos de cana-soca do que em cana-planta (MAEDA, BUZETTI, BOLONHEZI, 2009). O Nitrogênio presente na solução do solo ao ser absorvido pelas plantas, são convertidos em aminoácidos, e posterior síntese de proteínas as quais irão promover o crescimento das folhas, aumentando assim a superfície fotossintética (CANTARELLA, 2007; TAIZ e ZEIGER, 2017), o que favorece o crescimento da planta.

Silva et al. (2017) avaliando os efeitos da aplicação de 100 kg de N ha⁻¹ em dois ciclos (cana-planta e cana-soca), com cinco níveis de reposição hídrica nas variáveis biométricas altura de planta e diâmetro de colmos, teve como resultado que o nitrogênio apresentou um maior efeito nessas variáveis para a condição de cana-planta na fase de maturação. Também analisando as variáveis biométricas em cana-soca com o sem adubação nitrogenada e doses de adubação potássica, Bastos et al. (2017), observaram que a aplicação do N beneficiou o crescimento das folhas, porém limitou a quantidade de folhas por plantas.

O excesso e a deficiência interferem diretamente nas qualidades tecnológicas. Em condições de deficiência de nitrogênio e do teor de umidade ocorre a redução da qualidade do caldo, aumenta-se o teor de fibras e diminui a concentração de sacarose nos colmos. Já o excesso, causa o acúmulo deste nutriente nos colmos, decréscimo na qualidade do caldo e atraso no ponto de maturação (DINARDO-MIRANDA, VASCONCELOS, LANDELL, 2010).

Rhein et al. (2016) analisando as qualidades tecnológicas Brix, Pol%, Pureza% e Açúcar total recuperável (ATR) da cultivar de cana-de-açúcar SP 80-3280, com a aplicação das doses de 0, 50, 100, 150 e 200 kg de N ha⁻¹, notou que estas variáveis foram alteradas pela aplicação de doses de nitrogênio através de fertirrigação por gotejamento subsuperficial, com reduções na dose de 200 kg de N ha⁻¹. Costa et al. (2019), estudando o comportamento da cana-planta da variedade RB 92579 sob doses de nitrogênio com irrigação por aspersão, obteve como resultados maiores teores de açúcar total recuperável e de sacarose no colmo da cana-de-açúcar com a aplicação da lâmina de 1.498 mm associada com a dose de 200 kg de N ha⁻¹.

Segundo Joris (2015), em ambientes onde não há limitação de água e de outros nutrientes, a cana-de-açúcar pode responder positivamente a altas doses de N na soqueira. Nessas condições, a quantidade de nitrogênio aplicada nas maiores doses supera a quantidade removida pelos colmos na colheita. Se não ocorrerem perdas elevadas do nitrogênio por volatilização, desnitrificação e lixiviação, essas altas doses podem promover enriquecimento do estoque deste elemento no sistema. Por isso, é de extrema importância que se avaliem não só as doses de nitrogênio, mas também a forma de aplicação.

O manejo inadequado da adubação, em especial dos teores de nitrogênio, pode resultar tanto na redução da produtividade quando na longevidade do canavial, reduzindo o número de colheitas entre as reformas (ORLANDO et al. 1999). Desta forma, pesquisas realizadas com diferentes variedades e em diversas partes do Brasil e do mundo, tem destacado a adubação nitrogenada como uma das práticas culturais de maior demanda de estudos, uma vez que seus resultados são muito variáveis (SILVA et al., 2017).

3.3. Irrigação na cana-de-açúcar;

As áreas com maior potencial para o cultivo da cana-de-açúcar, apresentam clima semiárido e subúmido seco, precipitação anual de 800 a 1.200 mm, com uma distribuição espacial que não satisfaz as exigências da cultura de forma adequada durante o ciclo produtivo (ANDRADE JÚNIOR et al., 2012) sendo indispensável suprir a necessidade hídrica da cultura por meio da irrigação para atingir o máximo potencial genético produtivo da cultura (DANTAS NETO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2014).

Devido à variação de climas, tipo de solo e variedades de cana-de-açúcar utilizadas, torna-se difícil estabelecer a relação entre o consumo de água e a produção. Além disso, o consumo de água também varia de acordo com o estado fenológico em que a variedade se encontra, sendo função da área foliar e densidade das raízes (URIBE et al., 2016). De acordo com Doorenbos e Kassam (1994), a variação do consumo anual de água pela cana-de-açúcar fica em torno de 1.500 a 2.500 mm. No entanto, alguns estudos, mostram que a quantidade necessária para a cultura atingir seu máximo potencial é em torno de 1.200 a 1.300 mm (INMAN-BAMBER et al., 2008). Avilez et al. (2018), observaram valores mínimos de 1.095 mm/safra e máximos de 1.595 mm/safra de necessidade hídrica, estimando a evapotranspiração da cultura por meio de dados climatológicos no Noroeste Paulista.

A escolha da técnica de irrigação a ser utilizada dependerá de fatores como os recursos hídricos (potencial hídrico, localização da fonte de água, qualidade da água), condições de relevo do terreno (tamanho da área, declividade), o solo (tipo, capacidade de água disponível, profundidade, textura, estrutura, peso específico, taxa de infiltração, salinidade), clima (vento, temperatura e umidade relativa, precipitação), tipo da cultura (sistema de plantio, altura das plantas, profundidade das raízes, estádios de crescimento), além de fatores como mão-de-obra disponível e custos do projeto (FRIZZONE, 2017).

De acordo com a ANA (2017), o manejo da irrigação para a cana-de-açúcar pode ser separado de três formas: a irrigação plena, a irrigação suplementar e a irrigação de salvamento. A irrigação plena consiste na reposição de 100% da quantidade da perda de água para o solo e por evaporação; a irrigação suplementar consiste na aplicação de uma lâmina, que não necessariamente seja a ideal para a cultura e a irrigação por salvação que é a realizada quando a planta já está próxima ao seu ponto de murcha.

Em áreas comerciais é comum o uso de águas oriundas da agroindústria do processamento da cana-de-açúcar como complemento da água de irrigação, destacando-se neste caso a vinhaça e a água de lavagem da cana. Também, neste cenário é comum o uso da irrigação de salvamento

como principal prática no manejo da irrigação, utilizando irrigação por aspersão, aplicando-se lâminas de 40 a 60 mm, em dois ou três eventos, após plantio na cana planta, após o corte para a cana soca e para iniciar seu desenvolvimento.

Na cultura da cana-de-açúcar, a falta de água afeta diretamente o desenvolvimento foliar, impactando os processos de fotossíntese, diminuindo a absorção da radiação solar, redução na produção e emissão de folhas, acelerando o processo de morte foliar e redução no crescimento e acúmulo da matéria seca nos colmos (OLIVEIRA et al., 2016; OLIVEIRA, BRAGA, WALKER et al., 2015).

Vários estudos científicos comprovam o aumento da produtividade e qualidade da cana quando irrigadas. Dalri e Cruz (2002) verificaram que a irrigação por gotejamento proporcionou um aumento de 45% de massa fresca de colmos e folha, em comparação com a testemunha. Farias et al. (2009), analisaram o efeito de lâminas (lâmina máxima de 1.221 mm, referente a 100% da ETc) de irrigação em área de pivô central na qualidade industrial da cana-de-açúcar, observando a forte correlação entre as variáveis. Neste estudo houve a tendência de aumento do Brix, assim como para Pol (%), pureza e ATR. Já Oliveira et al. (2011b), obteve ganho superiores a 180% para as variedades RB92579, RB72454 e SP81-3250 quando irrigadas de forma plena em comparação com o sequeiro.

Também realizando estudos em condições de sequeiro e irrigado, Arlanch et al. (2018) identificou que os genótipos RB92579 e CTC6 foram bastante responsivos a irrigação quando analisado a produtividade de colmos e de açúcar. Já Rodolfo Júnior et al. (2016), também analisando em condições irrigadas em comparação com o sequeiro, obteve uma produtividade média ótima para a terceira soca das variedades testadas de 182,31 Mg ha⁻¹, quando irrigadas com a reposição de 69,01% da ETc.

A irrigação por gotejamento vem sendo apontada como o método mais vantajoso de aplicação da água de irrigação, devido ao melhor aproveitamento de água e nutrientes, redução da taxa de evaporação de água do solo, redução do surgimento de plantas daninhas e menor acúmulo de sais na superfície, proporcionando um aumento da longevidade do canavial (GONÇALVES, 2010; ANDRADE JÚNIOR et al. 2012). Gava et al., (2011) em seu trabalho, obtiveram respostas significativas na utilização do sistema de irrigação por gotejamento, com incremento médio de 24% na produção dos colmos e de 23% na produção de açúcar.

3.4. Irrigação por pulsos

A irrigação é um conjunto de técnicas que visam suprir a necessidade hídrica da planta de forma artificial com o objetivo de garantir uma produção ideal da cultura. Existem várias técnicas utilizadas, sendo a mais difundida delas, a irrigação por aspersão (TESTEZLAF, 2017). Entretanto, cada vez mais buscam-se formas que supram a necessidade hídrica da cultura para atingir a máxima produtividade com a redução do consumo de água (SILVA et. al., 2017).

O sistema de irrigação por gotejamento é caracterizado pela aplicação da lâmina de irrigação em alta frequência e baixa intensidade, próximo a zona radicular das plantas. Neste sistema, os tubos gotejadores podem ser instalados na superfície do solo ou enterrados (subsuperficial) reduzindo a exposição da área molhada e por consequência as perdas por evaporação (NOGUEIRA, COELHO, LEÃO, 2000). Barros et al. (2009), realizando pesquisas em um solo argiloso, constatam que os sistemas instalados em subsuperfície apresentam uma menor área molhada superficial e tendem a melhorar a uniformidade da umidade do solo à medida que o volume de água é aplicado, favorecendo a disponibilidade hídrica em maiores distâncias do ponto de emissão.

O uso da irrigação por gotejamento apresenta como principais vantagens a maior eficiência do uso da água, menor requerimento de energia em comparação com outros sistemas de irrigação pressurizados, maiores rendimentos das culturas, qualidade nas safras colhidas e permite a adição de fertilizantes de forma parcelada (COELHO, BORGES, 2009; BORGES, SILVA, 2011). No entanto, mesmo com uma maior eficiência, a irrigação por gotejamento pode ser associada a outras formas de manejo para a reduzir o consumo de água.

A aplicação da água de forma pulsada surge como mais uma técnica para promover um melhor manejo e aproveitamento da água aplicada, sem comprometer a produtividade da cultura (ZAMORA et al., 2019). Almeida et al. (2015) associou a cobertura plástica do solo com a aplicação de 6 pulsos de irrigação, obtendo uma economia de 25% e 50% de água, nos tratamentos sem e com cobertura plástica, respectivamente, resultando no aumento da eficiência no uso da água. García-Prats e Guillem-Picó (2016) citam que a adoção de novas técnicas de gestão da irrigação como as baixas vazões, longos tempos de irrigação e a irrigação pulsada têm demonstrado alto potencial na economia de energia.

A irrigação por pulsos ou intermitente, consiste na aplicação da água de irrigação de forma parcelada, em que se realiza a aplicação da lâmina de irrigação em um período de tempo, seguido de um período de repouso e novamente o período de irrigação, de forma repetida até que toda a lâmina necessária seja totalmente aplicada (ALMEIDA et. al., 2018).

Devido aos seus efeitos positivos sobre a produtividade, economia no uso da água, redução do entupimento dos emissores e redução no consumo de energia, a irrigação por pulsos vem sendo utilizada em várias partes do mundo (BAKEER et al., 2009). Abdelraouf et al. (2012), no Egito, estudando os efeitos da aplicação dos pulsos por meio do gotejamento, obtiveram um aumento na eficiência do uso da água e rendimento na cultura da batata quando aplicados 4 pulsos repondo 100% da evapotranspiração da cultura. Já Elnesr et al. (2015), na Arábia Saudita observaram que a aplicação da irrigação com 3 pulsos, aumentou o tamanho e acúmulo de vitamina C nos frutos do tomateiro.

A técnica da irrigação por pulsos pode ser utilizada para uma maximização do aproveitamento de água pela cultura, assim como a disponibilidade e absorção de nutrientes. Nascimento et al. (2013) constataram que a aplicação da água, utilizando gotejamento por meio de pulsos, acarretou numa redução da velocidade da frente de umidade e aumento do tempo em que a água permanecia no solo favorecendo a extração pela cultura e reduzindo as perdas por percolação profunda.

A manutenção da umidade promovida pela irrigação por pulsos também beneficia a extração de nutrientes pela cultura. Menezes et al. (2020a) trabalhando com a cultura do coentro, com irrigação por gotejamento pulsado, observaram que a fertirrigação por pulsos promoveu uma maior produção de matéria seca e acúmulo dos nutrientes N, P, K, Fe, Mn, Cu e Zn. Zamora et al. (2019), também estudando a cultura do coentro em solo arenoso utilizando irrigação por pulsos e contínua com cinco lâminas de fertirrigação (40, 60, 80, 100 e 120% da ETc), constataram que todos os tratamentos com irrigação por pulsos apresentaram maior produtividade que os com irrigação contínua, destacando uma economia de aproximadamente 40% de água na produção.

3.5. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

A descoberta de novos indicadores sobre a qualidade da matéria-prima, tem sido possibilitada devido as pesquisas em parcerias com as Usinas. A análise de correlação e regressão destes indicadores, torna possível dimensionar os impactos no rendimento industrial a depender da qualidade da matéria-prima, tornado possível as usinas estabelecerem metas e tomar decisões para a melhorias dos resultados (VIAN, 2009).

Os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar podem ser definidos como sendo uma série de características intrínsecas da própria planta, que podem ser alteradas pelo manejo agrícola e industrial adotado, os quais interferem em seu potencial para a produção de açúcar,

etanol e energia. Machado (2012), comenta que a qualidade da cana é influenciada pela variedade, condições climáticas locais, tipo de solo, nutrição, condições de transporte e armazenamento e principalmente o estágio de maturação.

Para Segato, Mattiuz e Mozambani (2006b), a qualidade da matéria-prima é definida pelas características físicas, químicas e microbiológicas, as quais afetam na recuperação do açúcar nos processos industriais e a qualidade do produto. De acordo com o Art. 8º do regulamento do CONSECANA (2018), a qualidade da cana-de-açúcar é dada pela concentração total de açúcares (sacarose e açúcares redutores) recuperados no processo industrial, expresso em kg por tonelada de cana.

A metodologia utilizada para a avaliação da qualidade da cana-de-açúcar passou por diversas alterações ao longo do tempo, fazendo com que atualmente o preço pago pela tonelada de cana seja realizado com base no açúcar total recuperável (ATR), visando uma remuneração mais justa. A avaliação da qualidade inclui os parâmetros: °Brix do caldo, porcentagem de sacarose aparente (POL), a pureza aparente do caldo, os açúcares redutores totais (ART), o teor de fibras (F), o teor de sacarose aparente em peso da cana, açúcares redutores da cana (ARC) e a açúcar total recuperado do colmo (ATR) (SILVA NETO et al., 2011). Na Figura 2 pode-se observar o fluxograma operacional para a determinação de cada uma das variáveis tecnológicas.

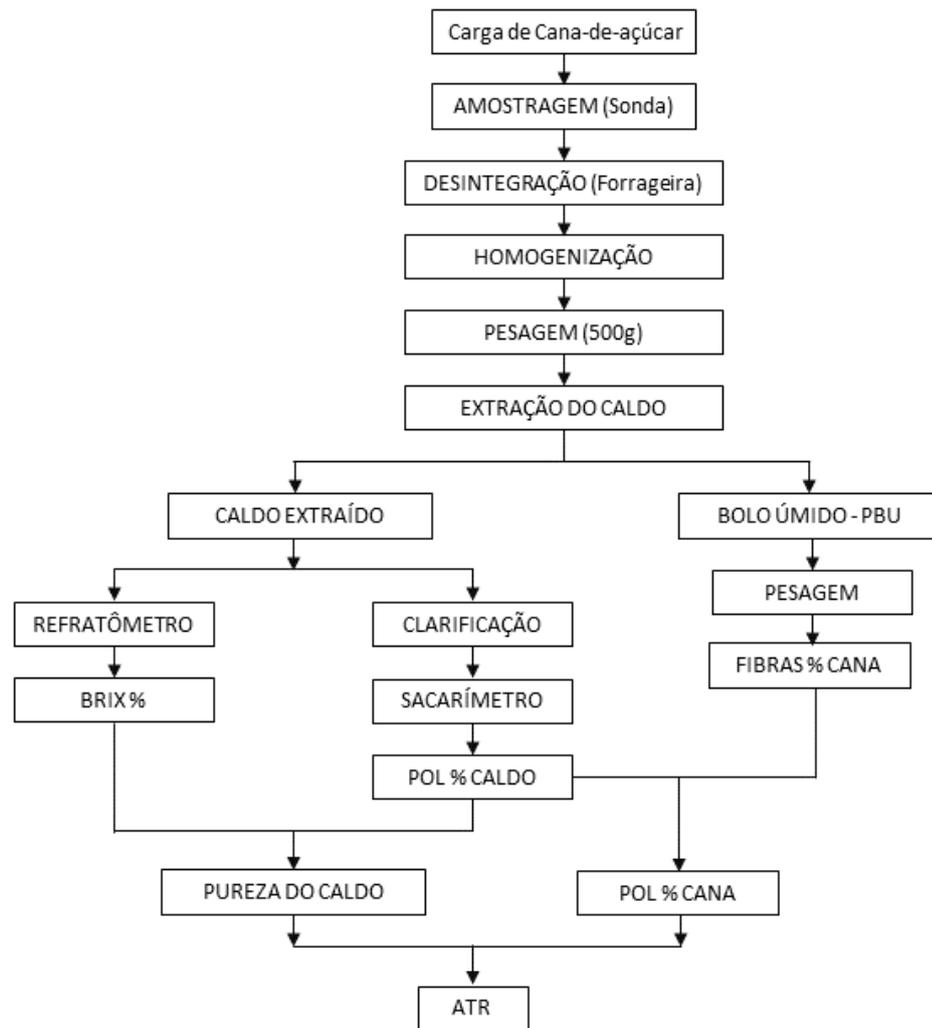


Figura 2. Fluxograma operacional da determinação do açúcar total recuperável (ATR). CONSECAN-PE, 2018.

O °Brix é o parâmetro mais utilizado na indústria e expressa a porcentagem de sólidos solúveis contidos em uma solução de sacarose, determinado por meio da refratometria. A Pureza é um parâmetro calculado e expressa o percentual de sacarose contida nos sólidos solúveis. A POL é o principal parâmetro da determinação da qualidade da cana-de-açúcar, correspondendo de 14 a 24% do total de açúcares da cana, e representa a porcentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares.

Já a Fibra é a parte insolúvel da cana, determinada a partir do bagaço úmido após a extração do caldo. Os Açúcares redutores (AR) é o termo dado para os açúcares (glicose e frutose), que apresentam a propriedade de reduzir o cobre do estado + 2 para o + 1 por meio da titulação. E por fim, o açúcar total recuperável (ATR) que representa a soma dos açúcares redutores totais recuperada da cana-de-açúcar e que são efetivamente, aproveitados no processo industrial para a produção de açúcar e álcool. (LAVANHOLI et al., 2008; CONAB, 2022).

Lira et al. (2017) avaliando o comportamento dos açúcares redutores (AR%) na variedade CTC4 no seu primeiro ciclo, quando aplicada as doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, obteve como resultado um comportamento quadrático, em que as doses crescentes elevaram o AR% da cana até a dose máxima de 105,25 kg ha⁻¹.

A incidência de impurezas minerais e vegetais também interferem na qualidade da matéria-prima e por conseguinte a redução dos parâmetros tecnológicos. O colmo, que é a parte de interesse industrial representa 81,2% da planta (MAGALHÃES, 2008). Desta forma a adoção de práticas ainda em campo para garantir que os colmos estejam na maturação ideal, recém cortados, limpo e com o mínimo de ocorrência de pragas como a broca e a podridão vermelha, garantem uma maior qualidade a matéria-prima.

Desta forma, os produtores buscam constantemente por novas tecnologias de manejo e controle na produção que garanta a qualidade da matéria-prima, assim como a redução das impurezas presentes na mesma.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da Área Experimental

O experimento foi conduzido, em condição de campo no período de 13 de dezembro de 2021 a 19 de outubro de 2022, na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Carpina (EECAC) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no município de Carpina – Pernambuco, localizada na latitude de 7°51'24,31" S, longitude de 35°14'16,97" W e altitude de 184 m. O clima predominante na área, de acordo com a classificação de Köppen (1948) é As' – tropical chuvoso com verão seco (JACOMINE et al., 1973) e precipitação média anual de 1167,95 mm.

O solo onde foi realizado o experimento é classificado como Argissolo Amarelo distrocoeso abrupto (ALVES; RIBEIRO, 1994). Para a caracterização química e física do solo, foram coletadas amostras nas profundidades de 0,0 – 0,20 m, 0,20 – 0,40 m e 0,40 – 0,60 m, e analisadas conforme a metodologia descrita por Teixeira et. al., (2017). Quanto à qualidade da água para a irrigação, foi avaliada por meio de análise físico-química. Os resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e física do solo e da água de irrigação da área experimental antes do início da aplicação dos tratamentos.

Características Químicas																	
Camada	pH	Cu	Fe	Mn	Zn	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	CTC	m	v	M.O.
M	H ₂ O	-----			mg.dm ⁻³ -----		-----					cmolc.dm ⁻³ -----			-----	%	-----
0-0,20	6,10	0,0	66,8	9,2	1,0	6,0	2,3	1,2	0,5	0,17	0,0	5,1	4,3	9,4	0,0	46,2	2,6
0,20-0,40	6,26	0,0	67,6	13,1	1,2	13,0	2,4	1,3	0,7	0,20	0,0	3,5	4,6	8,2	0,0	56,8	2,6
0,40-0,60	6,34	0,0	73,1	3,2	0,5	4,0	2,0	2,2	0,3	0,12	0,0	3,2	4,6	7,9	0,0	58,8	1,7
Características Físicas																	
Camada	Areia	Silte	Argila	Textura			Ds	Dp	PT	θ _{CC}	θ _{PMP}						
M	-----			-----			---	---	%	-----	-----						
	%						kg m ⁻³			m ³ .m ⁻³							
0-0,20	70,90	12,00	17,10	Franco Arenosa			1,36	2,63	48,17	0,150	0,100						
0,20-0,40	71,00	9,90	19,10	Franco Arenosa			1,31	2,56	48,79	0,180	0,120						
0,40-0,60	66,00	7,70	26,30	Franco Argilo Arenosa			1,42	2,74	48,32	0,189	0,093						
Características Químicas da Água de Irrigação																	
pH	CE	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Sulfatos	Alcalinidade	Cloretos	RAS	Classificação							
-	dSm ⁻¹	-----					mg.L ⁻¹ -----			(mmo.L ⁻¹) ^{0,5}	-						
6,50	0,227	14,00	16,03	12,64	60,00	24,82	140,00	96,11	2,71	C2S1							

SB: Soma de Bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; m: Saturação por alumínio; V: Saturação por bases; M.O: Matéria Orgânica; Ds: Densidade do Solo; Dp: Densidade de Partículas; θ_{CC} e θ_{PMP}: Respectivamente, Umidade Volumétrica do Solo na Capacidade de Campo e no Ponto de Murcha Permanente.

Para o experimento, foi utilizada a variedade RB 041443 liberada em julho de 2021 para comercialização, desenvolvida pelo Programa de melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar da Universidade Federal Rural de Pernambuco, o qual integra a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), em seu terceiro ciclo (2ª cana-soca).

4.2. Histórico da Área de Cultivo

O plantio da área ocorreu no ano de 2019 de forma manual, seguindo o preparo de solo de forma convencional, ou seja, subsolagem, gradagem e a abertura dos sulcos de plantio. Os rebolos foram fracionados de forma a conter de 3 a 4 gemas viáveis e a deposição no sulco foi realizada de forma “pé com ponta” respeitando uma densidade de plantio de 12 a 14 gemas por metro linear. Os tratos culturais adotados foram: a aplicação de agroquímicos para os tratamentos dos rebolos, a quebra do lombo (nivelamento) após os 70 dias do plantio, aplicação do pré e pós-emergentes para o controle das plantas daninhas e o monitoramento fitossanitário.

A adubação fosfatada foi fornecida a cultura de forma convencional no momento do plantio. Já o fornecimento dos demais nutrientes ocorreu de forma fracionada por meio da fertirrigação. As fontes nutricionais utilizadas foram: fosfato monoamônico purificado, nitrato de cálcio, sulfato de magnésio e cloreto de potássio. Já os micronutrientes, foram fornecidos por meio do produto comercial Biostim Complex aplicado via foliar.

A irrigação durante a condução da cultura na 1ª folha (cana planta) e 2ª folha (cana soca), se deu com a aplicação da água de irrigação de forma pulsada e contínua, com a área experimental dividida em blocos casualizados com 10 tratamentos distribuídos em esquema fatorial 2 x 5, sendo o primeiro fator a aplicação da irrigação (pulsada e contínua) e o segundo cinco lâminas de reposição da evapotranspiração (40, 60, 80, 100 e 120% da ETc), com quatro repetições. Tanto para o ciclo da cana planta quanto para a cana soca a adubação foi fornecida de forma igualitária para todas as parcelas por meio da fertirrigação de forma contínua com a lâmina de 100% da ETc, considerando as exigências nutricionais da cultura e o resultado da análise química do solo.

4.3. Delineamento Experimental - 3º Ciclo

O delineamento experimental da condução do experimento da 2ª cana-soca ocorreu em blocos casualizado em arranjo fatorial 2 x 5, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Os tratamentos foram constituídos por dois tipos de aplicação da água de irrigação, sendo por gotejamento subsuperficial pulsado (IP) e contínuo (IC), e cinco doses de nitrogênio (1) 80 kg ha⁻¹, (2) 120 kg ha⁻¹, (3) 160 kg ha⁻¹, (4) 240 kg ha⁻¹ e (5) 320 kg ha⁻¹ utilizando como fonte de nitrogênio a Ureia. Foram adotados 4 pulsos de irrigação com intervalos de 40 minutos entre cada pulso.

As parcelas experimentais tiveram as dimensões de 7 m de comprimento e 8 m de largura, compostas por quatro sulcos duplos combinados de 1,40 x 0,60 x 1,40 m. Os tubos gotejadores foram instalados entre as linhas de plantio. Na Figura 3, observa-se o esquema da distribuição das parcelas experimentais.

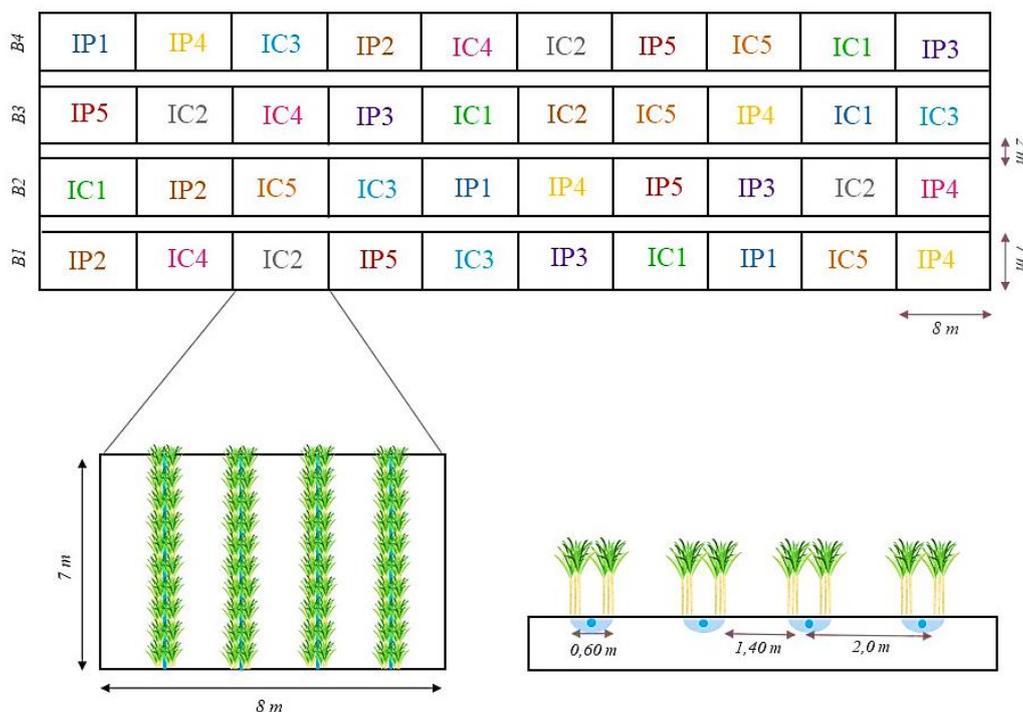


Figura 3. Croqui da área experimental. Do autor.

4.4. Caracterização do Sistema de Irrigação

O sistema de irrigação foi do tipo gotejamento subsuperficial com emissores do tipo autocompensante (PC) e anti sifão (AS) de vazão nominal de $1,0 \text{ L ha}^{-1}$, espaçados a 0,50 m. Os tubos gotejadores utilizados apresentaram diâmetro nominal de 16 mm espaçados a 2,0 m. Para o sistema de bombeamento, utilizou-se uma bomba centrífuga de 3,0 cv. A injeção dos fertilizantes ocorreu com a utilização de uma bomba dosadora de acionamento hidráulico, a MiniDos, injetando 10% da vazão do sistema. O controle das válvulas de irrigação ocorreu de forma manual.

Foi realizado um teste de uniformidade de vazão do sistema de irrigação. Onde coletou-se o volume de água dos gotejadores pertencentes a 3^a, 7^a e 12^a posições, dos dois tubos gotejadores centrais de cada parcela experimental. O volume coletado foi aferido com o auxílio de uma proveta em um tempo de 3 minutos, sendo a pressão de serviço monitorada por um manômetro de glicerina no final da linha. O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)

foi calculado segundo metodologia proposta por Keller e Karmelli (1974), cujo valor obtido foi de 98,61%.

4.5. Aplicação dos tratamentos

Com os resultados da análise de solo, foram calculadas as quantidades de fertilizantes a serem aplicados, tomando por base a curva de acúmulo e exportação estudada por Oliveira et al. (2011a) e o parcelamento realizado por Rhein et al. (2016). A fonte utilizada para aplicação do Nitrogênio (N) foi a Ureia nas quantidades de 178 kg ha⁻¹, 267 kg ha⁻¹, 356 kg ha⁻¹, 535 kg ha⁻¹ e 712 kg ha⁻¹, conforme cada dose. Já o do Potássio (K₂O) teve como fonte o Cloreto de Potássio branco, com dose de 168 kg ha⁻¹.

O Fósforo (P₂O₅) foi aplicado de forma convencional aos 58 Dias Após o Corte (DAC), tendo como fonte o Superfosfato Triplo com uma dose de 142,0 kg ha⁻¹. Já o fornecimento dos micronutrientes se deu em duas aplicações de 2,5 kg ha⁻¹ de forma foliar aos 121 e 137 DAC, tendo como fonte o produto comercial KCS Mix, o qual apresenta como garantia 11% de enxofre, 9% de magnésio, 0,5% de boro, 0,5% de cobre, 2,5% de ferro, 2% de manganês, 0,2% de molibdênio e 1,5% de zinco. Na Figura 4 pode-se observar a distribuição do parcelamento mensal das fertirrigações.

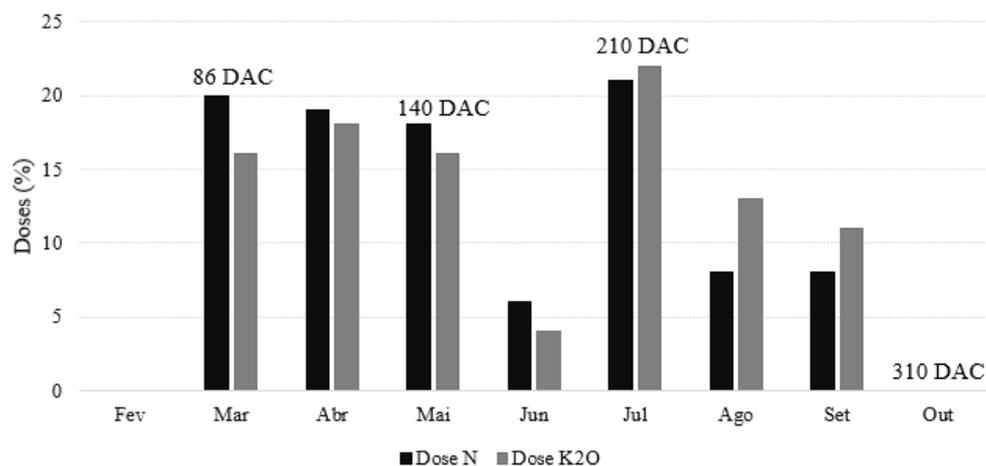


Figura 4. Parcelamento mensal da aplicação das doses de nitrogênio e potássio. Do autor.

O início da aplicação dos tratamentos ocorreu aos 70 DAC. O manejo da irrigação foi realizado via clima com base no balanço hídrico climatológico estimado pelo método do Tanque Classe A, que compunha a estação meteorológica instalada na própria EECAC. Os

demais dados climatológicos necessários como velocidade do vento, umidade relativa do ar e a precipitação foram também obtidos na estação meteorológica com o auxílio do anemômetro instalado a 2,0 m acima da superfície do solo termômetros e pluviômetro, respectivamente. Sendo assim, o cálculo da lâmina líquida a ser aplicada foi dado pela equação 1:

$$ETc = ((ECA * Kc * Kp) - P) * Kl \quad (\text{eq. 1})$$

Em que:

ETc é a evapotranspiração da cultura (mm/dia);

ECA é a evaporação do tanque Classe A (mm);

Kc é o coeficiente da cultura (adimensional);

Kp é o coeficiente do tanque Classe A;

P é a precipitação efetiva (mm);

Kl é o coeficiente de ajuste para a irrigação localizada.

Os valores do coeficiente de cultura para cada estágio de desenvolvimento da cana-de-açúcar utilizado para o cálculo podem ser observados na Tabela 2. O tempo de irrigação será determinado pela equação 2 descrita a seguir:

$$TI = \frac{LL * E_1 * E_2}{ef * q} \quad (\text{eq. 2})$$

Em que:

TI é o tempo de irrigação (horas);

LL é a lâmina líquida (mm);

E₁ é o espaçamento entre emissores (m);

E₂ é o espaçamento entre linhas (m);

ef é a eficiência do sistema de irrigação;

q é a vazão do emissor (l/h).

Tabela 2. Coeficiente de cultivo (Kc) para a cana-de-açúcar nos diferentes estágios de desenvolvimento da cultura. Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994).

Cobertura Vegetal (%)	Duração do Período (dias)	Coeficiente da Cultura (Kc)
0 a 25	0 - 30	0,40
	30 - 45	0,50
	45 - 60	0,60
25 a 50	60 - 80	0,75
	80 - 100	0,85
50 a 75	100 - 125	0,95
75 a 100	125 - 180	1,10
Máxima Demanda	180 - 270	1,20
	270 - 300	1,30
Maturação	300 - 330	1,00
	330 - 360	0,60

Durante o período da condução do experimento, foram monitorados os valores da precipitação (P), evapotranspiração de referência (ET_o), a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a lâmina bruta aplicada (LB), os quais podem ser observados na Figura 5. O total da precipitação efetiva para o ciclo em questão foi de 1.129 mm e de lâmina bruta aplicada, foi de 166 mm. Já para a necessidade de irrigação da cultura (ET_c) totalizou-se 1.039 mm.

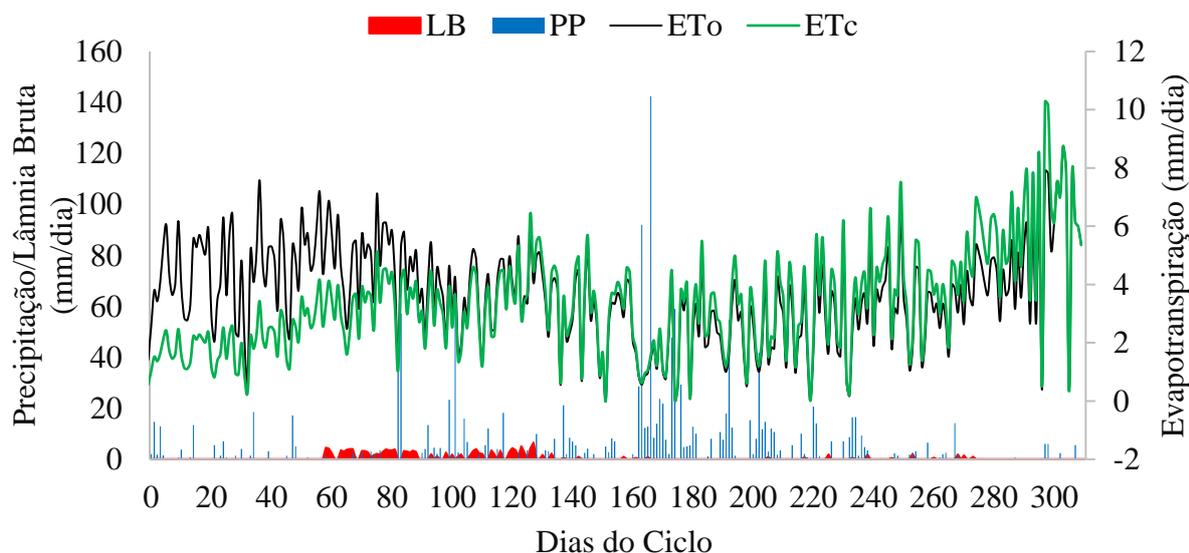


Figura 5. Valores de precipitação (PP), evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c), e lâmina bruta aplicada (LB) para a cultura da cana-de-açúcar. Carpina - PE, 2021/2022.

4.6. Monitoramento da Umidade do Solo

Visando o monitoramento do comportamento da umidade do solo próximo a zona radicular efetiva foi instalado, aos 126 DAC, um conjunto composto por três tensiômetros nos tratamentos que receberam as doses de 80, 160 e 320 kg/ha, representando as doses mínimas, média e máxima a 0,15 m de distância da base dos colmos, nas profundidades de 0,20 m, 0,40 m e 0,60 m. O preparo e a instalação dos tensiômetros seguiu a metodologia descrita por Marouelli (2008).

Para o controle das leituras de umidade com base no tensiômetro, foram coletadas amostras de solo adjacentes a sua instalação. As amostras eram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório, sendo determinada a umidade gravimétrica por meio da secagem na estufa de circulação forçada de ar a 105°C durante 24 horas.

4.7. Variáveis Analisadas

4.7.1. Produtividade

A irrigação foi suspensa aos 270 DAC para a maturação e o corte ocorreu aos 310 DAC. Para o ajuste da área útil, aos 60 DAC, foram analisadas as duas linhas duplas centrais de todas as parcelas, excluindo-se 1 m de cada extremidade para efeitos de bordadura. Contabilizou-se os valores em metros maiores que 0,50 m utilizando a metodologia de Stolf (1986), e o valor obtido por parcela foi subtraído do valor original das faixas centrais (20 metros lineares), chegando-se assim ao valor atual da área útil.

Para a obtenção da produtividade, pesou-se os colmos de toda a área útil de cada parcela, amarrando-se os feixes e pesando com o auxílio de uma balança com capacidade máxima de 1000 kg, acoplada a um tripé móvel. Com os valores obtidos da pesagem, foi estimada a produtividade, utilizando-se a equação 3. Em que, TCH é a produtividade em toneladas de cana ($Mg\ ha^{-1}$);

$$TCH = \frac{\text{Peso da área útil (Mg)}}{\text{Área útil (ha)}} \quad (\text{eq. 3})$$

4.7.2. Parâmetros Tecnológicos dos Colmos

Para as análises tecnológicas foram coletados dez colmos da área útil em cada parcela experimental e encaminhados ao Laboratório de Análises Industriais da Usina Petribu S/A, em Pernambuco, seguindo os procedimentos metodológicos recomendados pelo CONSECANA (2018). As variáveis analisadas foram o grau brix do caldo (°Brix), a porcentagem de massa de

sacarose aparente no caldo (POL), a pureza aparente do caldo, os açúcares redutores totais (ART), o teor de fibras (F), o teor de sacarose aparente em peso da cana, açúcares redutores da cana (AR) e o açúcar total recuperado do colmo (ATR).

Os colmos foram submetidos durante um minuto a uma pressão de 250 kg cm⁻² numa prensa hidráulica automática MA098, visando a extração do caldo. Utilizando-se um refratômetro digital com correção automática de temperatura (20 °C) foi realizada a determinação do °Brix do caldo, o qual representa o teor de sólidos solúveis totais em percentual. Também pelo caldo foi obtido a porcentagem de massa de sacarose aparente, utilizando um sacarímetro digital automático, após a clarificação a base de alumínio e calculado conforme a equação 4.

$$POL = (1,00621 * L_{AL} + 0,05117) * (0,2605 - 0,0009882 * B) \quad (\text{eq. 4})$$

Em que:

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

LAL é a leitura sacarimétrica obtida com a mistura clarificada à base de alumínio;

B é o °Brix.

A pureza aparente do caldo (P) e o teor de açúcares totais redutores do caldo (ART) foram determinados pelas equações 5 e 6.

$$P = \left(\frac{S}{B}\right) * 100 \quad (\text{eq. 5})$$

Em que:

P é a pureza do caldo (%);

S é o teor de sacarose aparente (%), em peso de caldo (POL do caldo);

B é o teor de sólidos solúveis (%), em peso de caldo (Brix do caldo).

$$ART = 3,641 - (0,0342 * Q) \quad (\text{eq. 6})$$

Em que:

ART é o teor de açúcares redutores totais (%);

Q é a pureza do caldo (%).

Já para a determinação do teor de fibras foi utilizada a equação 7. A partir do bolo úmido (PBU) oriundo da prensa, seco em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até a obtenção de peso seco constante, obtendo-se assim o peso do bolo seco (PBS).

$$F = \frac{(100 * PBS) - (PBU * B)}{5 * (100 - b)} \quad (\text{eq. 7})$$

Em que:

F é a fibra da cana (%);

PBS é o peso do bolo sego (g);

PBU é o peso do bolo úmido (g);

B é o Brix do caldo.

O teor de sacarose aparente em peso de cana foi calculado com base na equação 8. Para o cálculo dos açúcares redutores da cana (ARC) foi considerado a equação 9. Por fim, a quantidade de açúcar total recuperável (ATR), foi mensurada seguindo a equação 10.

$$PC = S * (1 - 0,01 * F) * (1,0313 - 0,00575 * F) \quad (\text{eq. 8})$$

Em que:

PC é o teor de sacarose aparente (%), em peso de cana (Pol da cana);

S é o Pol do caldo;

F é a fibra da cana.

$$AR = ART * (1 - 0,01 * F) * (1,0331 - 0,00575 * F) \quad (\text{eq. 9})$$

Em que:

AR são os açúcares redutores da cana (%);

ART é o teor de açúcar redutor total (%), em peso de cana (ART da cana);

F é a fibra da cana.

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

Em que:

ATR é o açúcar total recuperável (kg.t⁻¹);

1,05263 é o coeficiente de conversão da sacarose em açúcares redutores;

0,905 é o coeficiente de recuperação, para uma perda industrial de 9,5%;

PC é o teor de sacarose aparente (%), em peso de cana (Pol de cana);

ART é o teor de açúcares redutores totais (%), em peso de cana (ART da cana).

4.7.3. Eficiência do Uso da Água

A eficiência no uso da água (EUA) foi calculada pela razão entre a produtividade (TCH) e a lâmina total de irrigação aplicada somada a precipitação efetiva ao longo do ciclo conforme a equação 12 a seguir:

$$EUA = \frac{TCH}{I + P} \quad (\text{eq. 12})$$

Em que:

EUA é a eficiência no uso da água (kg m^{-3});

I é a lâmina de irrigação ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$);

P é a precipitação efetiva ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$);

TCH é o valor da tonelada de cana por hectare (kg ha^{-1}).

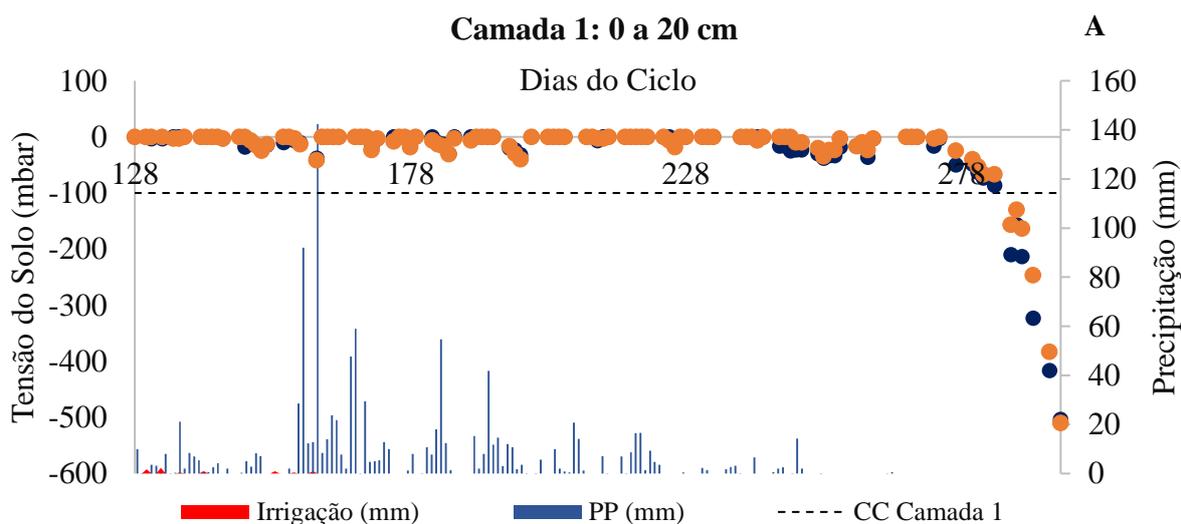
4.8. Análises Estatísticas

Para a análise dos dados foi utilizado o software de licença livre SISVAR (FERREIRA, 2011). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5 % de probabilidade. Quando os efeitos foram significativos, as doses de Nitrogênio foram comparadas por meio de análise de regressão, e os tipos de aplicação da irrigação foram analisados mediante teste de médias de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 6 pode-se observar os gráficos de comportamento da precipitação e valores de tensão da umidade do solo para as três camadas avaliadas. Nota-se que devido ao intenso período de chuva ocorrido no ciclo em questão, a umidade do solo manteve-se igual ou por vezes acima da capacidade de campo, não sendo necessário a aplicação de lâminas de irrigação.

De acordo com o levantamento agrometeorológico realizado pela CONAB (2022), os períodos de desenvolvimento predominantes para a cultura da cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, é dividido em duas fases fenológicas, desta forma sendo do período de outubro de 2021 a agosto de 2022 o desenvolvimento vegetativo da cultura e o período de setembro de 2022 a março de 2023 a época de acúmulo de sacarose e maturação. Desta forma, nota-se que, no momento de maior desenvolvimento vegetativo houve uma maior incidência de precipitação.



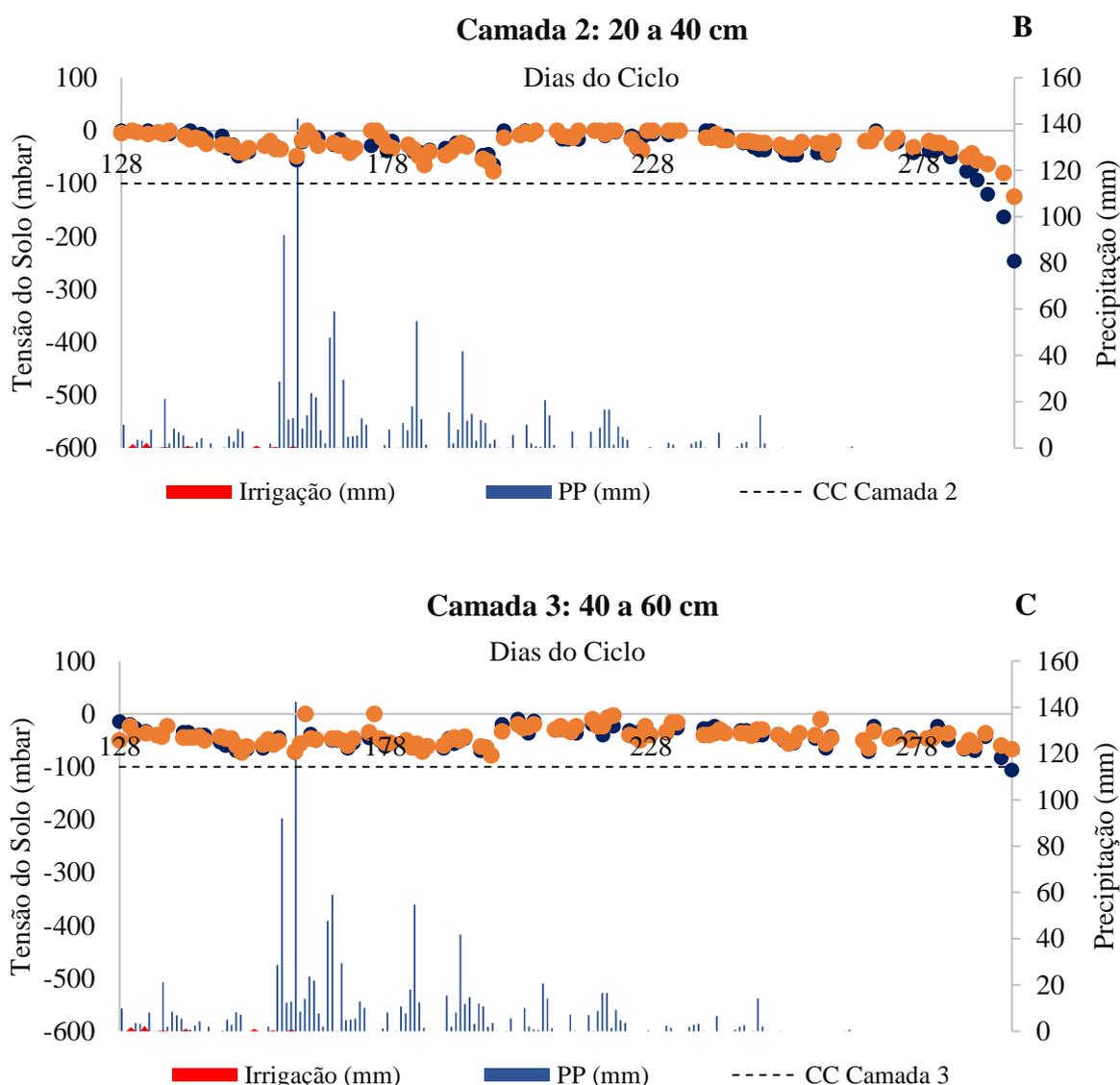


Figura 6. Comportamento das leituras dos tensiômetros para as camadas de solo de (a) 0 a 20 cm; (b) 20 a 40 cm; e (c) 40 a 60 cm.

Na Figura 7, pode-se observar o comportamento da umidade do solo obtida de forma gravimétrica, cujos resultados corroboram com os obtidos por meio da utilização dos tensiômetros. A manutenção da umidade está fortemente ligada ao acúmulo do palhizo oriundo dos dois cortes anteriores, uma vez que ocorreram sem a queima da cana-de-açúcar. Silva et al. (2022) afirmam que a manutenção do palhizo da cana-de-açúcar causam modificações no solo como o aumento e estabilização da umidade, aumento da fertilidade e controle da temperatura do solo, uma vez que inibem a incidência solar.

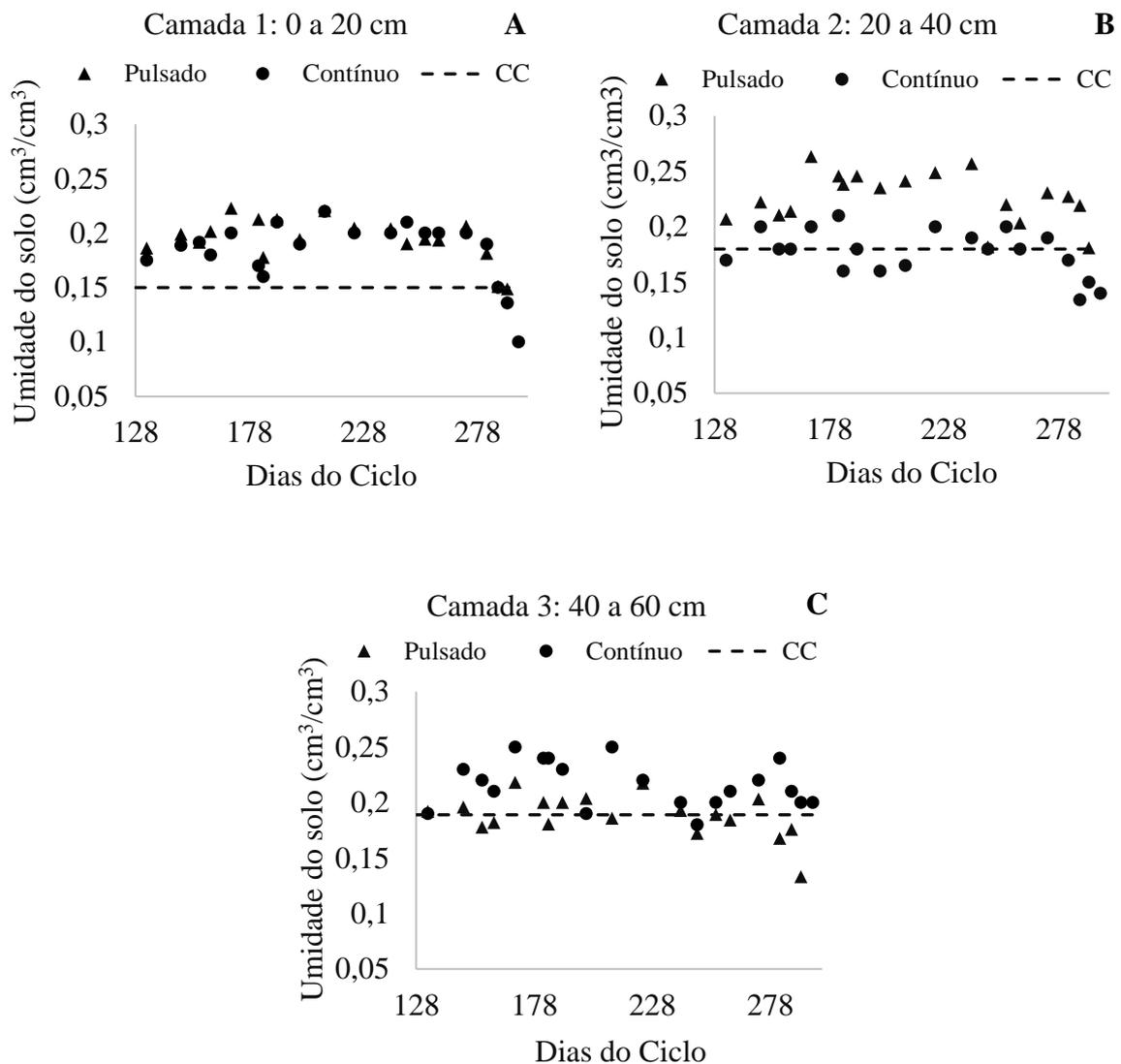


Figura 7. Leitura das umidades do solo ao longo do ciclo para o tratamento pulsado e contínuo. (a) 0 a 20 cm; (b) 20 a 40 cm; e (c) 40 a 60 cm.

Com relação a variável produtividade (TCH), a análise de variância indicou efeito significativo ($p < 0,01$) da interação entre os fatores doses de Nitrogênio e tipos de aplicação da irrigação. Para ambas as formas de aplicação da água da irrigação avaliadas, ver-se que as curvas de produtividade apresentaram um comportamento quadrático, ou seja, ocorreu o declínio de produtividade com o aumento das doses de nitrogênio, após o ponto máximo da curva (Figura 8).

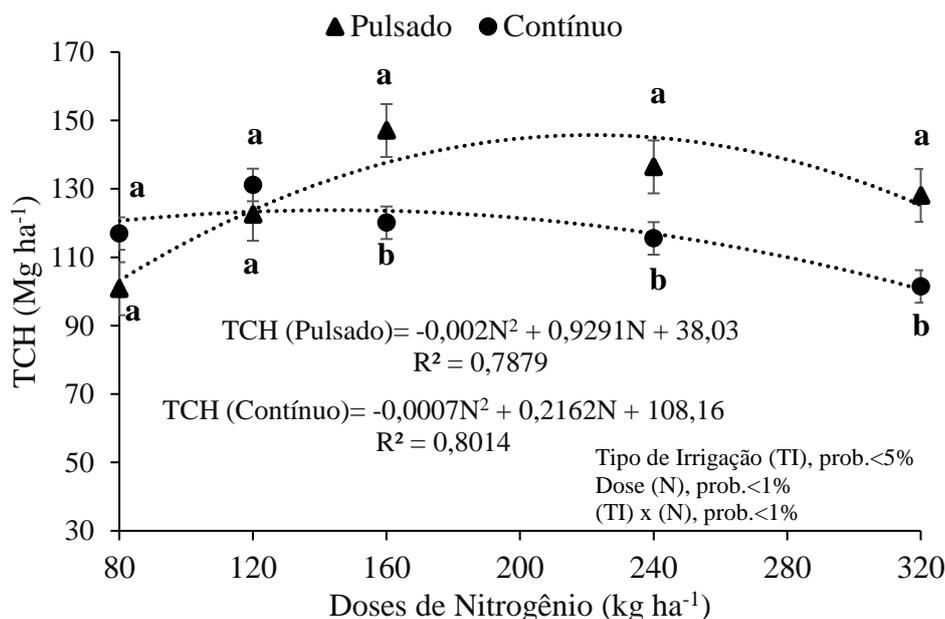


Figura 8. Produtividade da cultura da cana-de-açúcar (TCH) sobre o efeito das doses de nitrogênio e tipos de manejo da irrigação.

Quando a irrigação ocorreu de forma pulsada, a produtividade máxima obtida foi 145,93 Mg ha⁻¹, aplicando-se uma dose de nitrogênio de 232,27 kg ha⁻¹, o que representa um incremento de 46,57% em comparação com a dose de 80 kg ha⁻¹. Já para o tratamento contínuo, a produtividade máxima obtida foi de 124,85 Mg ha⁻¹ quando aplicado uma dose de nitrogênio de 154,42 kg ha⁻¹, o que comparando com a menor dose aplicada, apresentou incremento de apenas 4%. Costa et al. (2019) em estudo com doses de N na cultura da cana-de-açúcar, constatou o comportamento linear crescente até a dose de 120 kg de N ha⁻¹. Já Rhein et al. (2016) observou reduções na produtividade quando aplicados 200 kg de N ha⁻¹.

O efeito do nitrogênio nas plantas está diretamente relacionado ao fato deste ser o nutriente mais requerido pela cultura, no entanto, a resposta dessa adubação está associada aos níveis dos demais nutrientes necessários presentes no solo.

Analisando as doses de N dentro dos tipos de aplicação da irrigação, observa-se que a irrigação pulsada incrementou em 8,53, 21,80 e 23,55% nas doses de 160, 240 e 320 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, quando comparada com a irrigação aplicada de forma contínuo.

A produtividade da cana-de-açúcar é bastante influenciada com o uso da irrigação, desta forma, como a irrigação pulsada proporciona uma maior frequência de aplicação da água e, por consequência, uma manutenção da umidade no solo (CORREIA et al., 2014; ALMEIDA et al., 2015), ocorre a contribuição para melhores resultados em comparação com a forma contínuo. Menezes (2022), realizando estudos com a irrigação pulsada e contínuo com diferentes lâminas

de reposição da evapotranspiração da cultura, observou que o uso da irrigação pulsada na cultura da cana-de-açúcar, proporcionou um incremento de 9,2% na produtividade em comparação com a forma contínua.

Incremento na produtividade, quando utilizando a irrigação pulsada, também foi constatado por outros autores, como Abdelraouf et al. (2012) na cultura da batata, cuja produtividade aumentou proporcionalmente ao aumento do número de pulsos. Já Souza (2022), concluiu que a irrigação pulsada proporcionou maiores rendimentos nas variáveis de produção na cultura do feijão-caupi.

Segundo a estimativa da CONAB, para a safra de cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, previa-se uma produtividade média de 60,09 Mg ha⁻¹, utilizando uma dose média de nitrogênio em cobertura para a cana-soca de 100 kg ha⁻¹. Sendo assim, quando comparado os resultados obtidos neste trabalho com os valores convencionais, ver-se um incremento na produtividade de cerca de 54,16% para a aplicação da água de forma pulsada e 49,25% quando irrigado de forma contínua para a mesma dose de nitrogênio aplicada.

Na Tabela 3 é possível observar o resumo da análise de variância para a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. Nota-se que não houve efeito significativo para a interação entre os fatores, apenas efeito para os fatores isolados.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as qualidades tecnológicas da cana-de-açúcar (3º Ciclo).

FV	GL	Qualidade Tecnológica							
		Quadrado Médio							
		ATR	Brix	Pureza	Fibras	ART	AR	S	PC
Tipo de Apli. (M)	1	650,52**	68,38**	0,226 ^{ns}	1,09*	34,47**	0,07 ^{ns}	243,64**	11,19*
Dose de N (N)	4	3,41**	18,65**	473,05**	1,54**	16,76**	0,099*	105,24**	21,41**
M x N	4	13,70 ^{ns}	1,72 ^{ns}	34,81 ^{ns}	0,419 ^{ns}	0,768 ^{ns}	0,007 ^{ns}	10,76 ^{ns}	0,832 ^{ns}
Blocos	3	4,43 ^{ns}	2,81 ^{ns}	45,31 ^{ns}	0,207 ^{ns}	11,27 ^{ns}	0,051 ^{ns}	58,51 ^{ns}	0,589 ^{ns}
Resíduo	27	19,19	5,67	48,38	0,233	3,15	0,028	668,93	2,78
CV	%	3,17	12,17	8,33	3,77	10,74	19,11	7,13	10,46

ns: Não significativo; ** e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Verifica-se que o comportamento de todas as variáveis apresentadas ajustaram-se ao modelo matemático quadrático, o que destaca um efeito redutor no desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, na qualidade industrial da cana-de-açúcar quando há um possível excesso

de nitrogênio disponível. Este fato também foi observado por Rhein et al. (2016), quando estudando a aplicação de doses variadas de nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento, onde as variáveis °Brix, Pol do caldo, Pureza e ATR, foram alteradas com o incremento das doses de N apresentado reduções a partir da dose de 200 kg de N ha⁻¹.

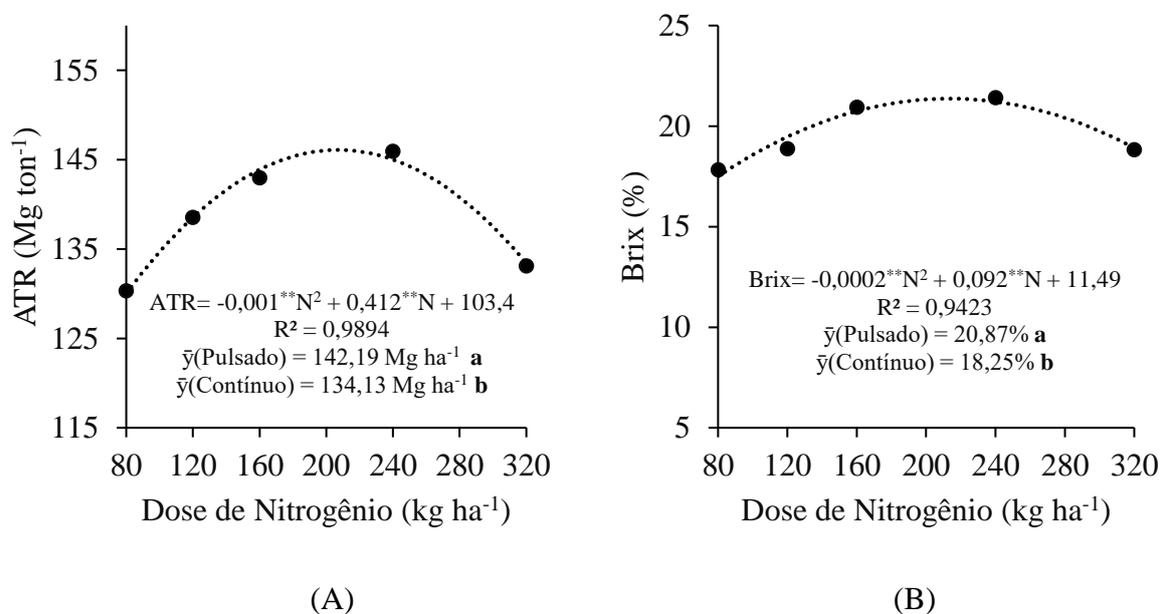


Figura 9. (A) Açúcar Total Recuperável (ATR); (B) Sólidos Solúveis Totais (Brix), respectivamente, sobre o efeito isolado do tipo de aplicação e doses de nitrogênio.

Na Figura 9A, é apresentado o rendimento de açúcares em termos de ATR, o qual para o ciclo expressou seu valor máximo de 145,83 Mg ton⁻¹ na dose de 206 kg de N ha⁻¹, o que representa um incremento de 12,2% quando comparado com a menor dose estudada (80 kg ha⁻¹), cujo ATR obtido foi de 129,96 Mg ton⁻¹. A partir deste valor, ver-se a redução dos valores de ATR, fato o qual foi observado por Costa et al. 2019 em que a partir da sua dose máxima obtida, que foi 83,16 kg de N ha⁻¹, houve uma redução de 3,25% no valor do ATR.

O ATR é a principal qualidade tecnológica considerada para a indústria e para os produtores tendo em vista que é em função dela que as unidades industriais remuneram seus fornecedores. Desta forma, o emprego de tecnologias que elevem os valores de ATR favorecem o desenvolvimento do setor. Atualmente em Pernambuco, são aceitáveis valores mínimos de ATR de 119,0 Mg ton⁻¹, para a remuneração. Além disso, é o valor do ATR que determina a quantidade de matéria prima que será convertida em açúcar cristal. Para o fator isolado tipo de aplicação da água, ser-se que a aplicação de forma pulsada, favoreceu o Aumento do ATR em 6% em comparação com a forma contínua.

O Brix (Figura 9B) máximo de 22,07% com a dose de 230 kg de N ha⁻¹. De acordo com a CONSECANA (2018) aos valores do limite técnico operacional para o teor de sólidos solúveis permitidos são na faixa de 8 a 27%. O declínio também constatado para essa variável está relacionado ao a quantidade elevada do nitrogênio aplicado favorecendo a manutenção do desenvolvimento vegetativo. A suspensão da irrigação 30 dias antes do corte, contribuíram positivamente para o processo de maturação da cana, e por consequência o acúmulo de sólidos solúveis até a dose de máxima para ambos as formas de aplicação de água.

Um dos fatores para a determinação da qualidade da matéria prima, e determinação do ponto de colheita em campo, é o grau Brix, cujo expressa a concentração dos sólidos solúveis, ou seja, a quantidade de sacarose, frutose, glicose e os não açúcares. Ramalho (2012) afirma que o valor do Brix é uma das variáveis que mais podem ser influenciados devido características genéticas herdadas da planta.

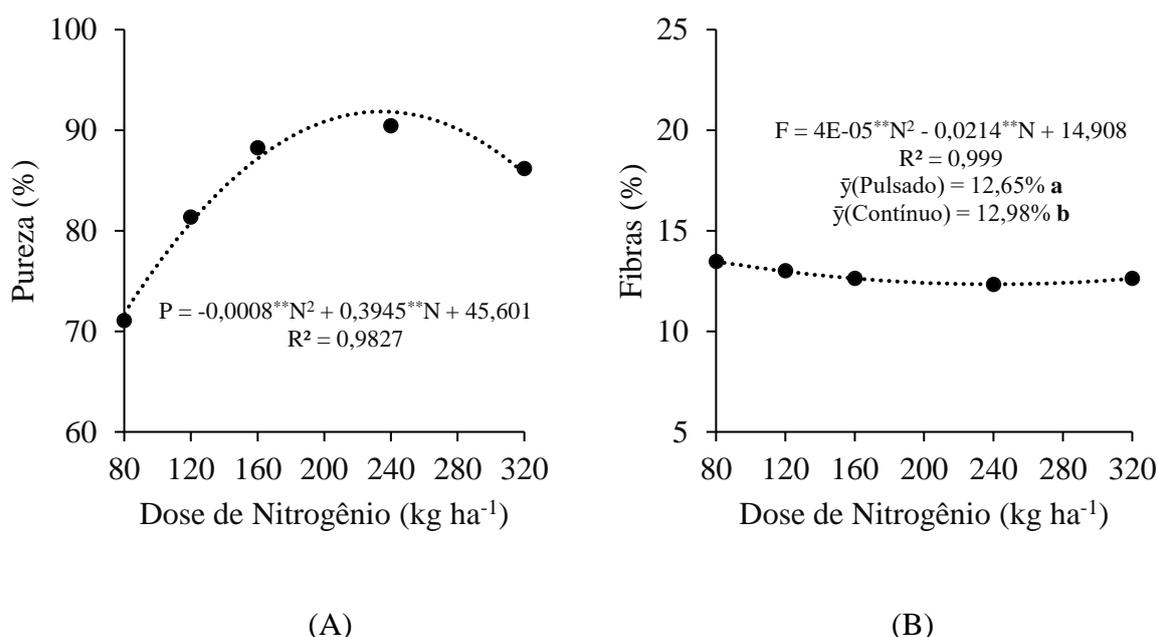


Figura 10. (A) Pureza da cana-de-açúcar sobre o efeito isolado das doses de nitrogênio; (B) Fibras da cana-de-açúcar sobre o efeito isolado do tipo de aplicação e doses de nitrogênio.

Para a qualidade Pureza (Figura 10A), ver-se que seu valor máximo foi obtido de 94,23% quando aplicado uma dose de 233 kg de N ha⁻¹, o que representa um incremento de pureza de 30,2% quando comparado a menor dose estudada. Quanto maior a pureza, melhor será a matéria-prima para a conversão em açúcar. Os valores recomendados são acima de 85% (CONSSECANA, 2018). Rhein et al. (2016), obteve incrementos nos valores da pureza da

cana quando aplicados doses até 100 kg de N ha⁻¹, e reduções expressivas ao aportar a dose máxima estudada de 200 kg de N ha⁻¹.

Apesar de apresentar um modelo de ajuste quadrático, os resultados das fibras apresentaram uma concavidade levemente positiva, o que neste caso, apresentará seu valor mínimo 6,3% de fibras quando aplicado a dose de 267,5kg de N ha⁻¹. Mendonça (2019) observou que o aumento do nível de nitrogênio no solo interfere negativamente no teor de fibras da cana. Quanto menor o percentual de fibras, maior será o volume de caldo extraído, ou seja, uma cana menos dura. No entanto, Prado et al. (2017) que um teor de fibras mais elevado contribui para a resistência da planta em campo à penetração de pragas no colmo e do rico ao tombamento.

Do ponto de vista tecnológico, os colmos são compostos água, sólidos solúveis, representado pelo Brix e os sólidos insolúveis representado pelas fibras. Sendo assim, o grau Brix é inversamente proporcional as fibras. As fibras são compostas por celulose e lignina, desta forma, sendo permitidos assim uma faixa de 10 a 18% de fibras na cana-de-açúcar.

Como as fibras também são utilizadas, como fonte de manutenção energética das caldeiras, um maior teor de fibras resultará em um maior poder calorífico. A faixa ideal de fibras para essa finalidade fica em tronco de 10,5 a 12,5% (OLIVEIRA et al., 2009; MENDONÇA 2019).

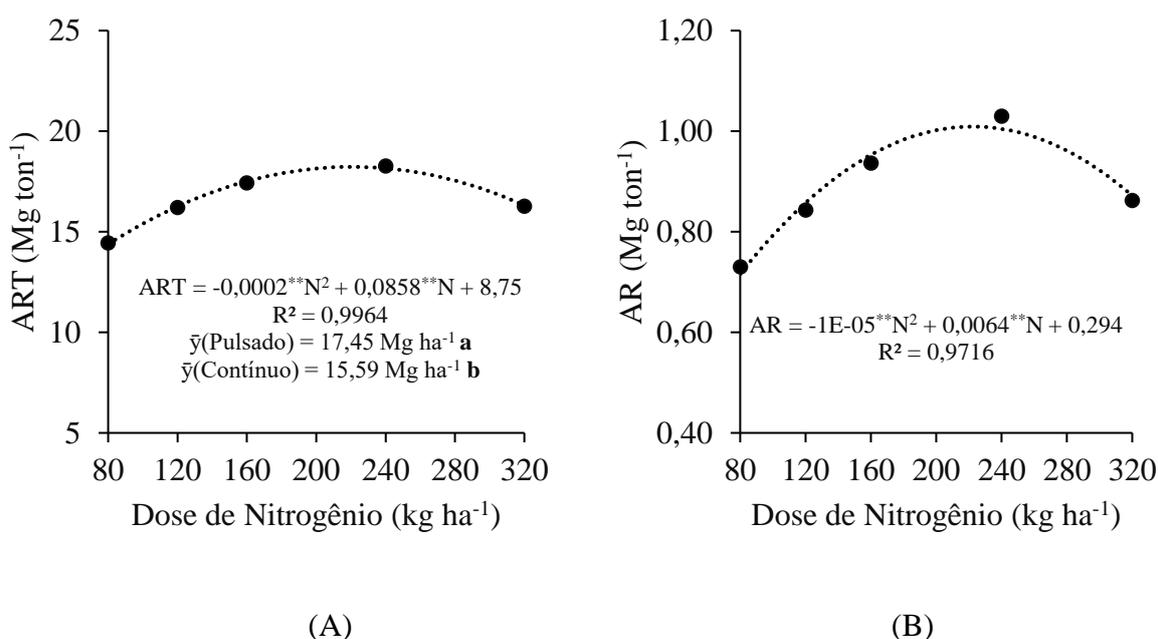


Figura 11. (A) Açúcar reduzido total sobre o efeito isolado do tipo de aplicação e doses de nitrogênio; (B) Açúcar redutor (AR), sobre o efeito isolado das doses de nitrogênio.

Analisando os açúcares reduzidos totais, como mostrado na Figura 11A, ver-se que quando aportado a dose máxima de 214,5 kg de N ha⁻¹, favoreceu um maior teor de ART, com um valor de 17,95 Mg ton⁻¹. Na variável isolada para a forma de manejo da irrigação, ver-se que o pulsado favoreceu o aumento de ART em 11,9% em comparação com o manejo contínuo.

O ART é o parâmetro que os produtores entregam na usina, ou seja, será a quantidade de açúcar que dará entrada no processo industrial, a qual a partir desse processo, sendo descontado as perdas, irá chegar no ATR o qual é o açúcar que foi recuperado ao final do processo industrial.

Na Figura 11B são expressos os resultados para a variável açúcar redutor (AR). Este valor, segundo a Consecana (2018) deve ser menor que 0,8 Mg ton⁻¹. O AR são os açúcares que contém um grupo um grupo orgânico de aldeído ou cetonas livres, o que lhes confere a capacidade de reduzir sais de cobre, prata e bromo em soluções alcalinas, formando assim um precipitado (SANTOS et al., 2020). Para o presente trabalho, a dose de 320 kg de N ha⁻¹, favoreceu o aumento da concentração dos açúcares redutores.

O Pol é o primeiro parâmetro de importância para a produtividade da cana-de-açúcar, no processo de recuperação do açúcar. Desta forma, quanto mais elevador os valores do pol da cana, maior será a quantidade de ATR no final do processo. O pol será o valor da massa de sacarose aparente contida em uma solução normal açucarada. O valor de Pol da cana (Figura 12A) máximo obtidos neste trabalho foi de 76,05% quando aplicados uma dose de N de 220,6 kg ha⁻¹. Quando analisado a forma de manejo, ver-se que a forma pulsada proporcionou um aumento de 7,3% no valor de Pol da cana. Considerando que o Pol da cana é obtido por meio de cálculos baseados nos valores das fibras, este resultado tende a ser inversamente proporcional ao aumento do teor de fibras.

Já na Figura 12B, observa-se o comportamento do pol do caldo, cujo seu valor de referência segundo a Consecana (2018) é acima de 14%, ver-se que com a dose máxima de 233 kg de N ha⁻¹, ocasionou um valor de pol do caldo de 18,24%, havendo reduções após esse valor.

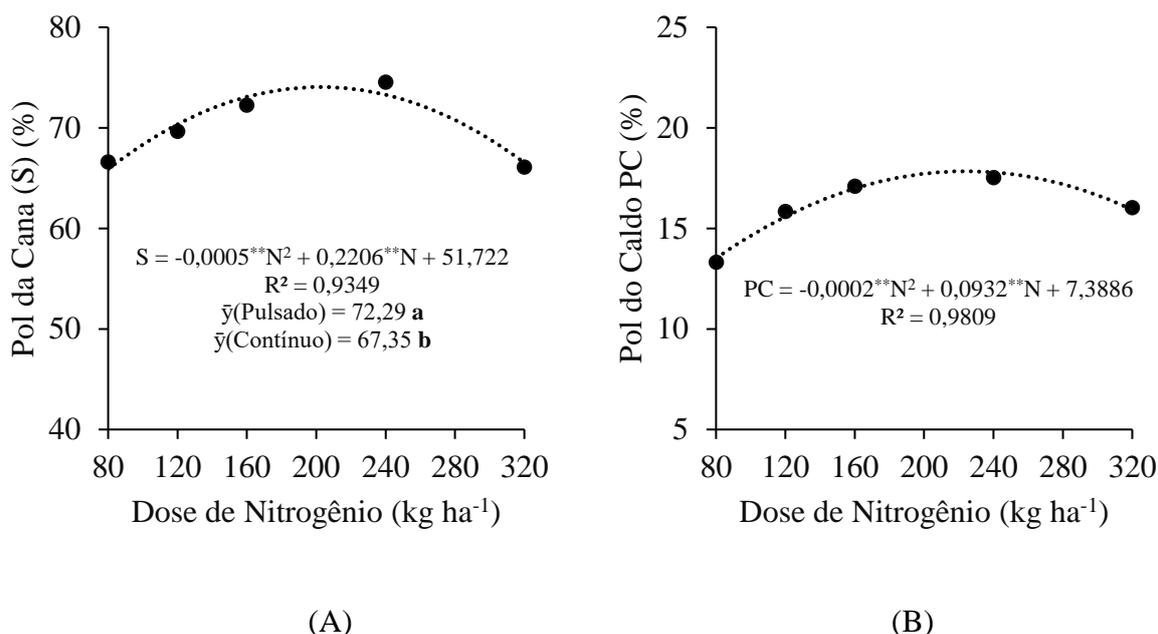


Figura 12. (A) Pol da cana, sobre o efeito do tipo de aplicação e doses de nitrogênio; (B) Pol do caldo sobre efeito das doses de nitrogênio.

As variáveis Pol da cana e do caldo são diretamente influenciadas pelo fornecimento de água e nitrogênio. A Pol da cana é um parâmetro que está relacionado ao ponto de maturação da cultura, pois representa a quantidade de sacarose presente. Desta forma, o declínio do percentual de sacarose em decorrência ao aumento das doses de nitrogênio está diretamente ligado a manutenção do estado vegetativo processo oposto ao de maturação, a qual pode ser induzida pela redução da adubação nitrogenada e/ou o déficit hídrico. Segundo Silva et al. (2009), a percentagem da Pol tende a diminuir com a aumento das doses de nitrogênio, e os colmos tenderão a armazenar menos açúcares, uma vez que estes serão metabolizados para a produção de tecidos vegetais.

Para a variável eficiência do uso da água (EUA) (Figura 13), o valor máximo de eficiência obtido para a forma de aplicação de água pulsada foi de 9,74 kg-cana m⁻³-água, quando aplicado uma dose de 181,75 kg de N ha⁻¹. Já para a forma contínua da aplicação da água de irrigação, aplicando-se uma dose de 134,16 kg de N ha⁻¹, obteve-se uma eficiência de 9,44 kg-cana m⁻³-água.

No período de condução do experimento forma fornecidos 166 mm como forma de irrigação suplementar e as lâminas utilizadas para a fertirrigação. A maior parte do ciclo da cultura houve precipitações totalizando para o período 1.129 mm efetivos, fator o qual interferiu nos resultados da EUA, uma vez que não pode-se controlar os intervalos entre as aplicações da

água de irrigação. Desta forma, os efeitos observados, para os valores obtidos de EUA no presente trabalho, estão diretamente associados a aplicadas das doses de N de forma pulsada.

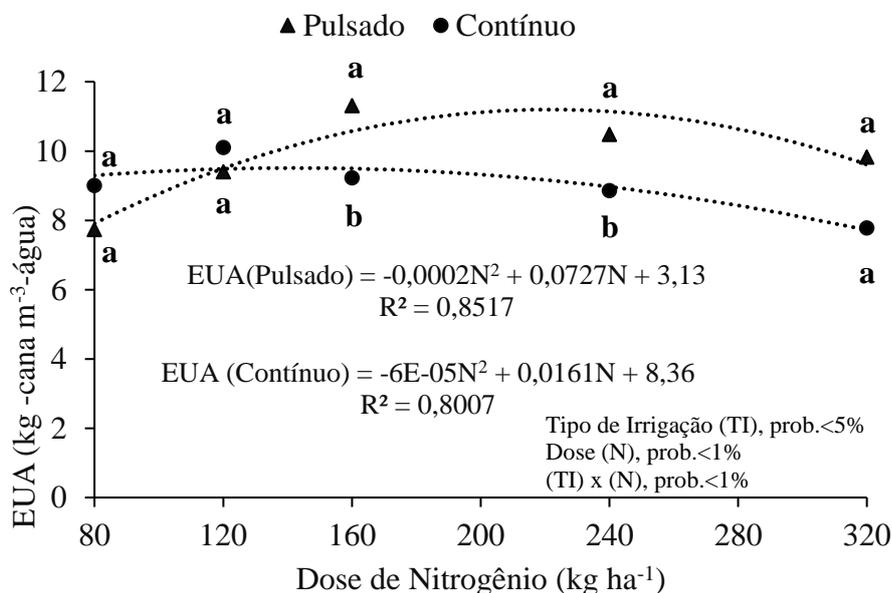


Figura 13. Eficiência do uso da água para a cultura da cana-de-açúcar sobre o efeito da interação entre tipo de aplicação e doses de nitrogênio.

A EUA é um indicador que considera a resposta produtiva da cultura em relação ao fornecimento de água no sistema. Dessa a utilização dos pulsos de irrigação, os quais favorecem a manutenção da umidade por mais tempo no perfil do solo, proporcionando um maior aproveitamento por parte da cultura.

Diversos autores comprovam a o aumento da eficiência do uso da água quando utilizada a irrigação por pulso, em que maiores números de pulsos, ou seja, quanto maior fracionamento da água da irrigação, favoreceu o aproveitamento por parte da cultura (BARBOZA JÚNIOR, 2019; ABDELRAOUF et al. 2012; ALMEIDA et al. 2015; ZAMORA et al. 2019).

Pesquisa sobre a EUA na cultura da cana-de-açúcar, demonstram valores próximos aos valores máximos obtidos neste trabalho, como o Silva et al. (2013), em que realizando estudos na 3^a cana soca na região costeira da Paraíba, obteve o valor de EUA de 8,3 kg m⁻³ utilizando a irrigação por gotejamento de forma contínua. Já Calgaro et al. (2014) avaliando a cana planta, obteve valor de EUA de 9,1 kg m⁻³.

Analisando as doses de N dentro dos tipos de aplicação da irrigação, observa-se que a irrigação pulsada incrementou o valor da EUA em 1,40 e 3,42% nas doses de 160 e 240 kg de N ha⁻¹, respectivamente, quando comparada com a irrigação aplicada de forma contínua.

6. CONCLUSÕES

- O uso do gotejamento subsuperficial pulsado favoreceu incrementos positivos nas variáveis ATR, Brix, ART e Pol da Cana;
- A dose que pode ser considerada para beneficiar os principais parâmetros da qualidade tecnológica (Brix, Pol da cana e Pureza), envolvidos no cálculo do ATR, é a de 232 kg de N ha⁻¹.
- A aplicação pulsada do nitrogênio proporcionou maior Eficiência do uso da água para as doses superiores a 180 kg de N ha⁻¹ havendo declínio após esta.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alguns pontos de vista deste estudo que podem nortear pesquisas futuras, principalmente sobre o efeito do manejo hídrico de forma pulsada, são: avaliar o desenvolvimento da cultura utilizando a técnica da irrigação pulsada em ambiente protegido ou até mesmo fracionar o ciclo em campo de modo a monitorar o período de maior déficit hídrico na região; redução da aplicação das doses de nitrogênio com variados intervalos e números de pulsos, de forma a avaliar a melhor sua absorção; monitorar os efeitos da aplicação do suprimento dos demais nutrientes de forma parcelada e também pulsada.

8. REFERÊNCIAS

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. *Journal of Basic and Applied Sciences, Australian, Amman*, v.6, n.3, p.807-816, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, ANA, 2017.

ALMEIDA, W. F.; LIMA, L. A.; PEREIRA, G. M. Gotejamento por pulsos e cobertura do solo na produtividade da alface-americana. *Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal – SP*, 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, Campina Grande - PB*, v. 22, n. 7, p. 476-481, 2018.

ALVES, A. J. O.; RIBEIRO, M. R. Classificação e aptidão Agrícola dos solos da Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina. *Cad. Ômega Universidade Federal Rural de Pernambuco. Ser. Agron. Recife*, n. 6, p. 35-55, 1994.

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, Brasília*, 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.

AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; BISPO, GIOVANELLI, L. B. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no Noroeste Paulista. *Revista Irriga, Botucatu*, v. 1, n. 1, p. 171-188, Edição Especial 30 anos PG Irriga, 2018.

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 Journal of Agricultural Engineering, Cairo*, v. 26, n. 2, p. 736 – 765, 2009.

BARBOSA JÚNIOR, M. R. Características produtivas da cultura do pimentão em resposta ao sistema de gotejamento pulsado. 2019. 50f. TCC (Bacharel em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca.

BARROS, A.C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande – PB*, v. 13, n.6, p 700-707, 2009.

BASTOS, A.; TEODORO, J.; TEIXEIRA, M. B.; SILVA, E.; COSTA, D.; BERNARDINO, M. Efeitos da adubação nitrogenada e potássica no crescimento da cultura da cana – de – açúcar segunda soca. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 40, n.3. p. 554-566. 2017.

- BORGES, A. L.; SILVA, D. J. Fertilizantes para fertirrigação. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap. 7. p. 253-264.
- CALGARO, M.; SIMOES, W. L.; BRAGA, M. B.; PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; SOUZA, M. A.; LIMA, J. A. Influência dos sistemas de irrigação na eficiência de uso da água da cana planta em solo argiloso. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 24., 2014, Brasília, DF. Anais[...]. Brasília, DF: ABID, 2014. p. 1-6.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: Novais, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. p.375-470.
- CASAGRANDE, A. A. Crescimento da cana-de-açúcar. Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 14, n. 5, p. 7-8, 1996.
- CASAGRANDE, S. A. Tópicos de Morfologia e Fisiologia da Cana-de-Açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.
- CASTRO, R. C. Fisiologia aplicada à cana-de-açúcar. STAB – Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. s/v, s/n, p. 81-90. Piracicaba – SP, 2016.
- COELHO, E. F.; BORGES, A. L. Aspectos básicos da fertirrigação. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F. Fertirrigação em fruteiras tropicais. 2. ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009. p. 9-19.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar, safra 2022/2023. Quarto levantamento, v. 7, n. 4, 62 p. 2022.
- CONSECANA, Conselho de Produtores de Cana-de-Açúcar de Pernambuco. 3ª ed. Recife - PE, 2018. 85 p.
- CORREIA, C. B. G.; AZEVEDO, H. M. DE; DANTAS NETO, J.; CARVALHO, C. M. DE; SILVA, L. L.; FEITOSA, S. DE O. Cana – de – açúcar: parâmetros tecnológicos em função de diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 26-37, 2014.
- COSTA, A. R. F. C.; ROLIM, M. M.; SIMÕES NETO, D. E.; 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. Revista Irriga, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 38-53, 2019.
- CUENCA, M. A. G.; NAZARIO, C. C. Caracterização agrossocioeconômica da atividade canavieira no Brasil, distribuição espacial na produção mundial entre 1961 e 2003: situação no Brasil entre 1990 e 2002. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracajú, 2005.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar. Revista Irriga, Botucatu, v. 7, n. 1, p. 29-34. 2002.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEIRÊDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A. DE; AZEVEDO, H. M. DE; AZEVEDO, C. A. V. de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e

adubação de cobertura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande – PB, v.10, p.283-288, 2006.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. Cana-de-açúcar. p. 243-251. Campinas - SP, 2010.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol. Tecnologia e perspectivas. 2ª edição. Viçosa - MG. 2011. p. 27-49.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33). Campina Grande - PB, 1994. 306p.

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.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nation. OECD AGRICULTURAL OUTLOOK 2019-2028. 2019. Disponível em <https://www.fao.org/3/CA4076EN/CA4076EN_Chapter5_Sugar.pdf> Acessado em 19 de outubro de 2021.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; DANTAS NETO, J. Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro paraibano. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande - PB, v. 13, n. 4, p. 419-428, 2009.

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

FRANÇA, B. H. C.; JASINSKI, M. Cultivo de cana-de-açúcar. Dossiê Técnico. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. 19 p. Disponível em: <<http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/Mjgw>>. Acessado em 05 de outubro de 2021.

FRIZZONE, J. A. Os métodos de irrigação. Departamento de Engenharia de Biosistemas - ESALQ/USP. Piracicaba, São Paulo, 2017.

GARCÍA-PRATS, A.; GUILLEM-PICÓ, S. Adaptation of pressurized irrigation networks to new strategies of irrigation management: Energy implications of low discharge and pulsed irrigation. Agricultural Water Management, v. 169, p. 52-60. 2016.

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 e Ambiental, Campina Grande – PB, v. 15, n. 3, p. 250-255. 2011.

GONÇALVES, F. M. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial, 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

HISSA, L. B. V. Modelagem espacial da produtividade e rentabilidade econômica do cultivo de cana-de-açúcar para o Brasil e para a Região MAP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 74p. 2011.

- HOFSETZ, K. SILVA, M. A. Brazilian sugarcane bagasse: Energy and non-energy consumption. *Biomass and Bioenergy*, v. 46, p. 564-573. 2012.
- INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, v.92, n.2-3, p.185-202, 2005.
- 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.
- JACOMINE, P. K. T.; CAVALVANTI, A. C.; BURGOS, N. PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife, Divisão de Pesquisa Pedológica. Boletim técnico, 26; SUDENE-DRN, 1973.
- JORIS, H. A. W. Nitrogênio na produção de cana-de-açúcar: aspectos agronômicos e ambientais. 2015. 134 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical: área de concentração em Gestão de Recursos Agroambientais). Instituto Agronômico de Campinas, Campina, 2015.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*, v. 17, p. 678-684, 1974.
- KÖPPEN, W. Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra. Publications In: *Climatology: Laboratory of Climatology*, 1948. New Gersey. 104p.
- LAVANHOLI, M. G. D. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria prima para a produção de açúcar e álcool. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Org.). *Cana-de-Açúcar*. 1 ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2008 p.697-722.
- LIRA, L. C.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; COSTA, C. T. S.; VIEIRA, G. S. CABRAL FILHO, F. R. Parâmetros tecnológicos da cana submetida a fertirrigação com diferentes fontes de nitrogênio. IV INOVAGRI, 2017.
- MACHADO, S. S. Tecnologia da fabricação do açúcar. Inhumas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. 56 p.2012.
- MAEDA, A. S.; BUZETTI, S.; BOLONHEZI, A. C. Adubação nitrogenada e potássica na qualidade e produtividade da cana-soca. *Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil – STAB*, Piracicaba, v. 27 n. 4, p. 40 – 45, 2009.
- MAGALHÃES, P. G. Qualidade da matéria-prima entregue nas usinas. Workshop sobre “Produção de etanol: qualidade de matéria-prima”. Projeto Programa de Pesquisa em Políticas Públicas. 2008.
- MENDONÇA, M. F. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob níveis de adubação nitrogenada e lâminas de irrigação / Marcos Ferreira de Mendonça. – Campina Grande, 2019.
- MENEZES, S. M. Cultivo de cana-de-açúcar sob lâminas de irrigação por gotejamento pulsado e contínuo. 2022. 148f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MENEZES, S. M.; SILVA, G. F.; SILVA, M. M.; MORAIS, J. E. F.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MENEZES, D.; ROLIM, M. M. Continuous and pulse fertigation on dry matter production and nutrient accumulation in coriander. *Revista DYNA*, Colômbia, 87(212), p. 18-25, 2020a.

MENEZES, S. M.; SILVA, G. F.; ZAMORA, V. R. O.; SILVA, M. M.; SILVA, A. C. R.; SILVA, E. F. F. Nutritional status of coriander under fertigation depths and pulse and continuous drip irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande - PB, v. 24, n. 6, p. 364-371, 2020b.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2006. p. 11-18.

NASCIMENTO, T.; AZEVEDO, C.A.V.; NETO, J.D; LIMA, V.L.A.; WANDERLEY, J.A.C. Velocidade da frente de umidade em neossolo quartzarênico sob irrigação intermitente por gotejamento. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 8, n.2, p. 41-48.2013.

NOGUEIRA, C.C.P.; COELHO, E.F.; LEÃO, M.C.S. Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n 3, p 315-320. Campina Grande-PB, 2000.

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.

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

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, J. F.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.579-588, 2011a.

OLIVEIRA, E. L.; ANDRADE, L. A.B.; FARIA, M.A.; EVANGELISTA, A. W.P.; MORAIS, A. R. Uso de vinhaça de alambique e nitrogênio em cana – de – açúcar irrigada e não irrigada. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.44, n.11, p.1398-1403, 2009.

OLIVEIRA, M. W.; FREIRE, F. M.; MACÊDO, G. A. R.; FERREIRA, J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 30-43, 2007.

OLIVEIRA, R. C.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; MEGGUER, C. A. Productivity of fertirrigated sugarcane in subsurface drip irrigation system. *African Journal of Agricultural*, v. 9, p. 993-1000. 2014.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A.; LAVORENTI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. *STAB*, v.17, p.39-41, 1999.

PRADO, E. A. F.; VITORINO, A. C. T.; MAUAD, M.; ENSINAS, S. C.; PAIM, L. R. Características tecnológicas da cana – de – açúcar sob aplicação de doses de vinhaça em Latossolo Vermelho distroférico. Revista de Ciências Agroveterinárias, v.16, n.4, p.386-395, 2017.

RAMALHO, M.A.P. et al. Genética na agropecuária. 5 ed. São Paulo: Globo/Lavras: Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, 2012. 566 p.

RHEIN, A. F. L.; PINCELLI, R. P.; ARANTES, M. T.; DELLABIGLIA, W. J.; KOLLN, O. T.; SILVA, M. A. Technological quality and yield of sugarcane grown under nitrogen doses via subsurface drip fertigation. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v 20, n. 3, p.209-214. Campina Grande PB, 2016.

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.

SALVIANO, A. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Acúmulo e exportação de macronutrientes pela cana de açúcar irrigada no semiárido brasileiro. Revista Científica Intelletto. v.2, n.2, p.16-27. 2017.

SANTOS, L. S. R.; ZANELOTTI, D. S.; PAVANI, N. M.; TAMASHIRO, J. R.; MACENA, D. A.; SILVA, L. H. P.; PAIVA, F. G.; ULIANA, M. R.; KINOSHITA, A. Determinação de açúcares redutores, açúcares totais e sacarose em vinhaças da cana-de-açúcar. v. 1; cap 13; p. 172 – 177, 2020.

SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M.; MOZAMBANI, A.E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E. Atualização em produção de cana-de-açúcar Piracicaba. 2006. p.19-36.

SILVA, F. S. G.; MIGOT, B. C.; SILVA, F. C. A importância do bioetanol dentro do contexto brasileiro, comparação de sua síntese a partir de cana-de-açúcar e milho e bioetanol de segunda geração. 8ª Jornada científica e tecnológica da Fatec de Botucatu. Botucatu, São Paulo, 2019.

SILVA, J. A. N.; CONRAD, V. A.; AMADORI, A. H.; SILVA, M. L. S. Efeitos de palhço sobre atributos físicos do solo na cultura da cana-de-açúcar. Revista Magsuk de Agronomia, 2ª ed, Ponta Porã/MG, 2022.

SILVA, J. P. N.; SILVA, M. R. N. Noções da Cultura da Cana de açúcar. Inhumas, 1ed., 105p, 2012.

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

SILVA, N.F.; CUNHA, F.N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, A. L.; VIDAL, M.V.; MORAIS, W. A. Reposição Hídrica e Adubação Nitrogenada na Cana-De-Açúcar via Gotejamento Subsuperficial: Cana-Planta e Cana-Soca. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza-CE v.11, n.6, p. 1862 – 1875, 2017.

SILVA, V. P. R.; SILVA, B.B.; ALBUQUERQUE, W.G.; BORGES, C.J.R.; SOUSA, I.F.; DANTAS NETO, J. Crop coefficient, water requirements, yield and water use efficiency of

sugarcane growth in Brazil. *Agricultural WaterManagement*, Amsterdam, v.128, p.102-109, 2013.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C.; ROCHA, A. T.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A. Níveis críticos de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar em Pernambuco. *Revista Ceres*, v. 58, p. 802–810, 2011.

SOARES, T. M.; COELHO, F. S.; OLIVEIRA, V. B.; PONTES, O.; PAVINATO, P. S. Dinâmica do nitrogênio do solo sob cultivo de fumo com diferentes manejos de fertilizantes no sul do Brasil. *Revista Geoderma Regional*, v. 21, 2020.

SOUZA, C. S. Produção de grãos verdes de feijão-caupi fertirrigado por gotejamento contínuo e pulsado. 2022. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 719 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017.

TESTEZLAF, R. *Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações*. 1. ed. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP 2017. 215p.

UNICA – União das Indústrias da Cana-de-açúcar. *Produção* (2021). Disponível em: <<https://observatoriodacana.com.br>>. Acessado em 25 de outubro de 2021.

UNICA. União da indústria de cana-de-açúcar. *Etanol: A revolução verde*. *Agroanalysis*, v. 42, n. 5, p. 42-48, 2022.

URIBE, R. A. M.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T.; SAAD, J. C. C. Estimativa do acúmulo de fitomassa da soqueira de cana – de – açúcar fertirrigada com doses de N-fertilizante utilizando modelo de simulação. *Irriga, Botucatu*, v. 1, n. 1, p. 126-139, 2016.

VIAN, C. E. F. *Cana-de-açúcar: qualidade de matéria-prima*. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2009. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_138_22122006154842.html> Acessado em: 23 de outubro de 2021.

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. 22-2. 2019.