



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE PROBABILIDADE
CLIMÁTICA EM ALAGOAS**

MARIA FERNANDA DA SILVA SANTOS

Rio Largo, AL

2025

MARIA FERNANDA DA SILVA SANTOS

**PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE PROBABILIDADE
CLIMÁTICA EM ALAGOAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Agronomia da
Universidade Federal de Alagoas, como
requisito para a Defesa do Mestrado

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra

Rio Largo, AL
2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

S237p Santos, Maria Fernanda da Silva.

Produtividade da cana-de-açúcar em função de probabilidade climática em Alagoas. /
Maria Fernanda da Silva Santos. – 2025.

58f.: il.

Orientador(a): Guilherme Bastos Lyra.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós -Graduação em Agronomia,
Área de concentração: Produção Vegetal, Campus de Engenharias e Ciências
Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia.

1. Cenários de irrigação. 2. Condições climáticas. 3. Balanço hídrico. 4. cana-de-
açúcar. I. Título.

CDU: 633.61:631.67

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARIA FERNANDA DA SILVA SANTOS

PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DE PROBABILIDADE CLIMÁTICA EM ALAGOAS

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Produção Vegetal), pela Universidade Federal
de Alagoas, apresentada em 21/03/2025.

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente
GUILHERME BASTOS LYRA
Data: 29/04/2025 09:19:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra
(Universidade Federal de Alagoas)



Documento assinado digitalmente
GUSTAVO BASTOS LYRA
Data: 23/04/2025 11:50:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador (a) interno (a): Prof. Dr. Gustavo Bastos Lyra
(Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro)



Documento assinado digitalmente
IVOMBERG DOURADO MAGALHAES
Data: 28/04/2025 17:37:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador (a) externo (a): Prof. Dr. Ivomberg Dourado Magalhães
(Universidade Federal de Alagoas)

*Dedico aos meus queridos avós, Maria e Pedro
(in memoriam), e Madalena e Petrúcio,
pelo carinho e apoio incondicional.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por Sua infinita bondade, por me guiar e fortalecer em cada passo desta caminhada. À Nossa Senhora das Graças, Santa Teresinha do Menino Jesus e São José, pelas intercessões e pela fé que sempre me sustentaram, especialmente nos momentos mais desafiadores.

Aos meus pais, e avós pelo apoio e orações constantes. Vocês são minha maior inspiração e o motivo para perseverar.

Ao meu orientador Guilherme Lyra, pela paciência, dedicação e pelos ensinamentos que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia, José Wanderson, Jessica Pimenta, Tiago Amaral, Francisco Bento, Marcos Feitosa, Laysa Mirelly, Marcelo Tertuliano, Débora Moura, Tiago Cirilo e Antônio Costa pelo aprendizado e companheirismo que enriqueceram essa jornada.

À Usina Santa Clotilde pelo fornecimento dos dados essenciais para a realização deste trabalho, cuja disponibilidade foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

As minhas amigas, Clarice Alexandre, Erika Paz, Luiza Chagas e Alinny Priscilla pelos momentos de confidências durante essa fase tão intensa.

Aos meus afilhados Luiz Antonio, Maria Flor e Maria Olívia, e ao meu primo Luiz Miguel, que me inspiram a ser alguém digno de admiração.

À Congregação das Irmãs de São José de Chambéry, por terem desempenhado um papel tão importante na minha formação humana e espiritual.

E a todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram na realização deste sonho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Nada é pequeno se feito com amor.”

(Santa Teresinha do Menino Jesus)

RESUMO

O Nordeste brasileiro possui uma característica climática de distribuição espaço-temporal irregular de chuvas. Além disso, na zona costeira dessa região, o fator que mais influencia a produtividade dos cultivos agrícolas é a mudança entre períodos de seca e períodos úmidos. A evapotranspiração da cana-de-açúcar é intensamente penalizada devido à sazonalidade das chuvas, já que, para serem alcançados rendimentos produtivos com retorno econômico, a cultura da cana necessita, em média de 1.500 a 2.500 mm de água, distribuídos de forma uniforme durante o ano. Nesse sentido, objetivou-se analisar a relação entre o déficit hídrico e a produtividade da cana de açúcar, comparando-a com condições de irrigação. Com isso, por meio das normais climatológicas dos últimos 35 anos (1988-2023), foi determinada a distribuição prevista dos elementos climáticos de precipitação e evapotranspiração de referência para os percentis de 10, 25, 50, 75, 80, 90 e 95% de probabilidade de ocorrência desses eventos. O balanço hídrico mensal foi calculado pelo método descrito por Thornthwaite-Mather (1955) considerando 12 cenários de plantio e colheita de cana planta aliado a seis cenários de irrigação para as safras de 2016 a 2023. Por meio do modelo de Doorenbos e Kassam (FAO 33) foi estimada a produtividade da cultura e foram determinadas as perdas de produtividade para as safras que ocorreram entre 2016 até 2023. Por fim, encontrou-se os melhores cenários de manejo para o cultivo da cana de açúcar. Os plantios realizados em março com corte em fevereiro, apresentaram os maiores déficits hídrico médios no cultivo de verão, enquanto as menores perdas ocorreram entre dezembro e novembro, com exceção do manejo por gotejamento 4,5 mm. No cultivo de inverno, os plantios realizados em maio, com corte em abril, destacaram-se por apresentarem as maiores perdas de produtividade média, enquanto as menores perdas foram registradas no plantio realizado em maio, com corte em abril.

Palavras-chave: Balanço hídrico; Condições climáticas; Cenários de irrigação.

ABSTRACT

The Brazilian Northeast is characterized by an irregular spatial and temporal distribution of rainfall. Additionally, in the coastal zone of this region, the factor that most influences the productivity of agricultural crops is the alternation between dry and wet periods. Sugarcane evapotranspiration is severely affected by the seasonality of rainfall, since, in order to achieve productive yields with economic returns, sugarcane requires, on average, between 1,500 and 2,500 mm of water, evenly distributed throughout the year. In this context, the objective was to analyze the relationship between water deficit and sugarcane productivity, comparing it with irrigated conditions. Using the climatological normals from the last 35 years (1988–2023), the expected distribution of the climatic elements of precipitation and reference evapotranspiration was determined for the 10th, 25th, 50th, 75th, 80th, 90th, and 95th percentiles of probability of occurrence. The monthly water balance was calculated using the method described by Thornthwaite-Mather (1955), considering 12 planting and harvesting scenarios for plant cane, combined with six irrigation scenarios for the 2016 to 2023 harvest seasons. Using the Doorenbos and Kassam model (FAO 33), crop productivity was estimated, and productivity losses were determined for the harvests that took place from 2016 to 2023. Finally, the best management scenarios for sugarcane cultivation were identified. Plantings carried out in March with harvesting in February showed the highest average water deficits during the summer cultivation, while the lowest losses occurred between December and November, with the exception of the 4.5 mm drip irrigation management. In winter cultivation, plantings in May with harvesting in April showed the highest average productivity losses, while the lowest losses were recorded for the planting also carried out in May with harvesting in April.

Keywords: Water balance; Climatic conditions; Irrigation scenarios.

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

ALT – Alteração do armazenamento da água do solo;

ARM – Armazenamento de água no sistema radicular da cultura;

CAD – Capacidade de armazenamento de água do solo;

CC – Capacidade de campo;

CO₂ – Dióxido de carbono;

CRA – Capacidade real de água no solo;

CTA – Capacidade total de água no solo;

Ds – Densidade do solo;

ea – pressão de vapor atual;

es – pressão de saturação de vapor;

ET₀ – Evapotranspiração de referência;

ET_c – Evapotranspiração da cultura;

ET_m – Evapotranspiração máxima;

ETP – Evapotranspiração potencial;

ET_r – Evapotranspiração real;

f – fator de disponibilidade de água no solo;

FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (Food and Agriculture Organization of the United Nations);

G – Fluxo de calor no solo;

IAF – Índice de Área Foliar;

ICMS – Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços;

K_c – Coeficiente da cultura;

K_{cb} – coeficiente basal da cultura;

K_l – coeficiente de evaporação do solo;

K_s – coeficiente da evaporação do solo;

K_y – Coeficiente de resposta da cultura ao déficit hídrico;

R_g – Irradiância solar global;

R_n – Saldo de radiação;

T – Temperatura média do ar;

U₂ – Velocidade do vento a 2 m de altura;

UR – Umidade relativa do ar;

Y_m – Produtividade máxima colhida;

Y_r – Produtividade real colhida;

Z – Profundidade efetiva do sistema radicular;

γ – Constante psicrométrica;

Δ – Declividade da curva de pressão de vapor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de coleta de dados do experimento, situado no município de Rio Largo, Alagoas.	23
Figura 2. Classificação dos Anos por Precipitação de acordo com a metodologia descrita por Nery et al (2002).	34
Figura 3. Precipitação efetiva e evapotranspiração da cultura (ET_c) para cultura da cana-de-açúcar na safra 2016/2017, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.	51
Figura 4. Precipitação efetiva e evapotranspiração da cultura (ET_c) para cultura da cana-de-açúcar na safra 2022/2023, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.	51
Figura 5. Déficit hídrico diário e acumulado para cultura da cana-de-açúcar na safra 2016/2017, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.	52
Figura 6. Déficit hídrico diário e acumulado para cultura da cana-de-açúcar na safra 2022/2023, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Períodos de manejo da cana-de-açúcar.	24
Tabela 2. Probabilidade de precipitação mensal e anual para a região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.....	32
Tabela 3. Probabilidade de evapotranspiração mensal e anual para a região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.....	32
Tabela 4. Classificação dos anos em função da probabilidade.	33
Tabela 5. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2016/2017...35	
Tabela 6. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2017/2018...36	
Tabela 7. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2018/2019...37	
Tabela 8. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2019/2020...39	
Tabela 9. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2020/2021...40	
Tabela 10. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2021/2022. 41	
Tabela 11. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2022/2023. 42	
Tabela 12. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2016/2017	44
Tabela 13. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2017/2018	45
Tabela 14. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2018/2019.	46
Tabela 15. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2019/2020.	47
Tabela 16. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2020/2021.	48
Tabela 17. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2021/2022.	49
Tabela 18. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2022/2023.	50
Tabela 19. Médias das perdas de produtividade das safras estudadas.....	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1 Cana-de-açúcar.....	18
2.1 Evapotranspiração	19
2.3 Balanço Hídrico.....	20
2.4 Déficit hídrico	21
2.5 Modelos de estimativa da produtividade.....	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Área de Estudo	23
4.2 Cenários estudados.....	24
4.3 Cálculos das probabilidades	26
4.4 Classificação dos anos secos e úmidos	26
4.5 Balanço hídrico diário	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Probabilidade climática dos eventos de precipitação	30
5.2 Probabilidade climática dos eventos de evapotranspiração	30
5.3 Classificação dos anos em função da probabilidade	33
5.4 Classificação dos secos e úmidos.....	33
5.5 Déficits acumulados em função da época de plantio	34
5.6 Perda de produtividade (%) por déficit hídrico.....	43
6. CONCLUSÕES	55
7. REFERÊNCIAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

O balanço hídrico específico para uma determinada cultura tem como objetivo contabilizar o armazenamento de água no solo, considerando a condição da vegetação, sua fase de crescimento e desenvolvimento (PEREIRA et al., 2007). Assim, estudar os processos que envolvem o uso da água é de suma importância, visto que no Brasil várias regiões passam por problemas sérios de escassez hídrica (LUZ, 2022).

Para assegurar a produtividade da cultura, independente dos eventos climáticos, e garantir o retorno econômico esperado pelo produtor, é indispensável o fornecimento de água, visto que, a depender da fase fenológica, o estresse hídrico pode impactar na produtividade agrícola (RAMESH, 2000; PIMENTEL, 2004; INMAN-BAMBER & SMITH, 2005). Os sistemas de irrigação fazem parte de um conjunto de técnicas que garantem a segurança na produção economicamente rentável de determinada cultura, além de garantir um manejo adequado dos recursos naturais disponíveis (BERNARDO et al., 2006). Nesse sentido, a reposição hídrica é indispensável quando as condições meteorológicas são desfavoráveis (BALANSIN et al., 2024).

As lavouras de cana-de-açúcar exigem condições climáticas favoráveis, os estudos de Doorembos & Kassam (1994) relatam que para alcançar rendimentos produtivos com retorno econômico, a cultura da cana-de-açúcar necessita, em média 1.500 a 2.500 mm de água, distribuídos de forma uniforme durante o ano. O período de crescimento vegetativo da cana-de-açúcar possui uma exigência hídrica maior para propiciar bom desenvolvimento; porém, antes da colheita, é exigido um período com certa restrição de atendimento hídrico para favorecer o enriquecimento em sacarose, precedendo a colheita (RODRIGUES, 2018).

Para essa cultura, o estudo climatológico das condições hídricas possui significativa relevância, pois seu cultivo se dá predominantemente sem irrigação complementar, estabelecendo uma dependência do regime pluviométrico, tornando indispensável conhecer o balanço hídrico para as regiões de cultivo (ALFONSI et al., 1987). No caso da região Nordeste, a precipitação se concentra de maio a julho, o que leva o crescimento vegetativo da cana-de-açúcar a ser afetado pelo déficit hídrico, à medida que a maturação pode ser também prejudicada pelo excesso de chuvas (RODRIGUES, 2018).

Estudos realizados por Gomes (2014) em Petrolina-PE e Teresina-PI demonstram que as produtividades dos colmos da cana-de-açúcar submetidas à reposição hídrica foram sempre superiores em comparação ao cultivo no regime de sequeiro. Nesse sentido, a reposição hídrica sem desperdício pode aumentar a produtividade; no entanto, ainda existem lacunas para as

especificidades de cada região, necessitando a validação de modelos preditivos para as condições locais.

No estado de Alagoas, a produção de açúcar e álcool contribui com aproximadamente 60% da receita proveniente do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) (RODRIGUES, et al., 2018). A previsão climática, especialmente o regime pluviométrico, para a região produtora de cana-de-açúcar, desde o início da safra 2023/2024, somada à melhora do mercado de açúcar e etanol, acrescida dos investimentos nas lavouras e da variação positiva do câmbio para exportação, vem gerando expectativas otimistas para os números de produção que serão alcançados no setor, segundo a CONAB (2023). Nesse sentido, para atender as expectativas do setor sucroalcooleiro, é viável a adoção de tecnologias que garantam o crescimento da cultura e impulsionem o aumento do seu desempenho produtivo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a redução da produtividade da cultura da cana-de-açúcar em função de probabilidade climática e da disponibilidade hídrica, considerando diferentes cenários de plantio, colheita e simulações de irrigação.

2.2 Objetivos Específicos

- 1) Simular o balanço hídrico da cana-de-açúcar;
- 2) Classificar os anos analisados quanto à probabilidade de ocorrência de precipitação e evapotranspiração, distinguindo-os entre secos e úmidos;
- 3) Identificar os períodos de manejo agrícola com maior e menor ocorrência de déficits hídricos;
- 4) Estimar as perdas de produtividade da cultura por meio do modelo proposto por Doorenbos e Kassam (1979), sob diferentes cenários de manejo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tem seu centro de origem na Polinésia e posteriormente foi levada por meio da ação humana para o sudeste da Ásia (DANIELS; ROACH, 1987) ela pertence à família Poaceae e é caracterizada por ser uma monocotiledônea (REDAE, et al. 2018). A planta cultivada (*Saccharum* spp.) é incomum entre as principais culturas por ser um híbrido interespecífico poliplóide, com genomas singularmente complexos, combinando alto teor de açúcar com robustez e resistência a pragas e doenças (ZHANG, et al. 2018).

No decorrer do ciclo vegetativo de uma cultura há dois momentos cruciais, o primeiro refere-se ao desenvolvimento da capacidade fotossintética para viabilizar o segundo, no qual ocorre a formação de reservas (EL SHARKAWY E COCK, 1987). De acordo com os estudos realizados por Cock et al. (2010), concomitante ao início do alongamento dos colmos, ocorre o acúmulo de sacarose sem prejudicar a capacidade da planta realizar a fotossíntese.

Em circunstâncias favoráveis para o seu desenvolvimento, a cana-de-açúcar é capaz de desenvolver um sistema radicular capaz de aprofundar-se no solo, viabilizando a exploração de água e nutrientes (SMITH; IMAN-BAMBER; THORBURN, 2005). Cerca de 85% das raízes estão localizadas na camada de 0 a 60 cm do solo, nos primeiros 20 cm se encontram 50% da biomassa radicular (BLACKBURN, 1984; VASCONCELOS, 1998). Além disso, o sistema radicular da cultura viabiliza a rebrota das soqueiras, atuando como reserva orgânica, energética e nutricional (CAMARGO, 1989; MALAVOLTA, 1994; TRIVELIN et al., 2002).

A rentabilidade econômica da cana-de-açúcar é dada pela produção de sacarose, Marchiori (2009) relata que graças ao metabolismo do tipo C₄, taxas fotossintéticas consideráveis são alcançadas pela cana-de-açúcar, elas ocorrem devido à ausência de fotorrespiração, ou seja, a ausência de gasto de CO₂ assimilado, somado a proximidade de zero do ponto de compensação de CO₂. Produzida no citoplasma, a sacarose é o principal carboidrato translocado pelo floema da cana-de-açúcar, após ser produzida nas folhas (fonte) é armazenada nos colmos (dreno) (RODRIGUES, et al. 2018).

Os principais produtos obtidos por meio da industrialização da cana-de-açúcar são: açúcar, álcool, bagaço de cana e vinhaça (RODRIGUES, et al. 2018). A produção de açúcar no Brasil se firmou nas décadas de 1530 e 1540, caracterizada por engenhos pequenos, movidos por força animal ou hidráulica (SCHWARTZ, 1988). O cultivo iniciou-se com a mão de obra

dos povos originários nativos do Novo Mundo, entretanto, houve transição para o trabalho escravista africano (BRAIBANTE, et al. 2012).

O Nordeste brasileiro é conhecido por ser um renomado produtor canavieiro, onde as áreas destinadas para essa atividade são os Tabuleiros Costeiros e a Zona da Mata (SILVA et al., 2015). Essa produção ocorre em todos os nove estados e destina-se, entre outras coisas, à exportação para países como Estados Unidos, Argélia, Canadá, Mauritânia, Venezuela, Geórgia, Indonésia, Reino Unido, Senegal e China (VIDAL, 2021).

2.1 Evapotranspiração

A evapotranspiração é um processo crucial na gestão dos recursos hídricos na produção agrícola. A compreensão de evapotranspiração tem uma história recente, datada pelo início do século XX, quando estudos científicos relacionados começaram a se consolidar. Porém, tais definições eram simplistas, tratando evaporação e transpiração como processos independentes, não levando em consideração fatores climáticos e de cobertura vegetal (MIRALLES, 2020).

De acordo com o documento 56 da FAO, a definição mais adequada para evapotranspiração, é relatada como a combinação de dois processos: evaporação da água da superfície do solo por evaporação com a água perdida pela cultura através da transpiração. O termo evapotranspiração potencial (ETP) é fortemente desencorajado pelo FAO 56 devido a ambiguidade nas definições. É tomado como referência quando se quer estimar a demanda evaporativa de uma cultura em condições não-padrão.

Nesse viés, a evapotranspiração de referência (ET_0) remete a taxa de evapotranspiração de uma superfície de referência, vegetada com grama entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo, e sem restrição hídrica, essas características específicas são abordadas por Pereira et al, 2007. Desse modo, a ET_0 expressa o poder evaporante da atmosfera em uma localidade específica, de acordo com a época do ano, desconsiderando as características da cultura e os fatores do solo. Segundo o documento FAO 56, o método de Penman-Monteith é recomendado com método exclusivo para determinar ET_0 .

A e da cultura (ET_c) é a evapotranspiração da cultura sob condições padrão. Diz respeito a quantidade de água que é utilizada por uma cultura do plantio/semeadura até a colheita. O método de Penman-Monteith é utilizado para se obter a ET_c a partir da ET_0 multiplicada pelo K_c (Coeficiente da Cultura). O K_c é um índice em função do IAF (Índice de Área Foliar) que varia conforme a cultura e suas fases fenológicas (PEREIRA, 2007).

O boletim 56 da FAO sugere dois métodos para estimativa do K_c , denominados de “único e “dual”. O método “dual” é indicado por Allen et al. 1998, para a estimativa de água do solo, em pesquisas científicas que estudam a umidade do solo e seus efeitos na ET_c e no manejo de sistemas de irrigação de alta frequência e baixa intensidade ou sistemas de movimentos laterais.

Na cultura da cana-de-açúcar a evapotranspiração é intensamente penalizada pela distribuição sazonal de precipitação, estudos realizados por Lyra et al. 2007, mostram que para cana planta em Alagoas a evapotranspiração da cultura acumulada durante todo o ciclo de cultivo em condições adequadas de água no solo é de aproximadamente 1.950 mm, porém quando os elementos meteorológicos são levados em consideração esse valor diminui em 40%, sendo cerca de 1.180 mm para o mesmo ciclo de cultivo.

2.3 Balanço Hídrico

O balanço hídrico é uma ferramenta vital para analisar a relação entre a água disponível e as demandas hídricas de um sistema, principalmente sistemas agrícolas. De acordo com Thornthwaite e Mather (1955), o balanço hídrico possibilita quantificar os fluxos de entrada e saída de água em um determinado sistema, levando em consideração variáveis como precipitação, evapotranspiração, capacidade de armazenamento de água do solo e o escoamento superficial. Nesse viés, essa metodologia é amplamente empregada na gestão sustentável dos recursos hídricos e para entender a dinâmica climática em diferentes períodos e regiões (SILVA. 2022; CORRÊA, 2023).

Na agricultura, o balanço hídrico é crucial para auxiliar na determinação não só do momento como também da quantidade de irrigação necessária para suprir a demanda das culturas economicamente rentáveis, ademais viabiliza a caracterização de períodos de déficit ou excesso hídrico, que impactam diretamente na produtividade das lavouras (ALLEN et al., 1998). Na perspectiva da gestão de bacias hidrográficas, o balanço hídrico permite identificar alterações no regime de vazão, prever eventos extremos e planejar práticas sustentáveis que minimizem impactos negativos (TRENTIN, 2023).

Nesse sentido, o balanço hídrico de cultivos é uma ferramenta que viabiliza o cálculo do armazenamento de água no solo considerando o tipo de vegetação, sua fase de desenvolvimento e crescimento (PEREIRA, et al., 2007). Diversos métodos podem ser empregados na sua determinação, em um estudo realizado no semi-árido de Pernambuco foram utilizados o método do tanque classe “A”, método lisimétrico e o método de Penman Montheith para determinar o balanço hídrico da cultura do repolho (CARVALHO, et al., 2020).

O estudo realizado por Magnoni e seus colaboradores (2021) utilizou sensoriamento remoto com o objetivo realizar a abordagem para tomada de decisão do momento de irrigar. Nesse trabalho os autores utilizaram imagens de satélite disponíveis para coletar dados diários de precipitação e evapotranspiração real, essa metodologia mostrou-se promissora no auxílio da tomada de decisão, especialmente para regiões com dados escassos.

2.4 Déficit hídrico

A água, assim como na maioria dos outros organismos, representa a maioria do volume celular dos vegetais, além disso, é também o recurso mais limitante. A disponibilidade hídrica insuficiente é reconhecida como déficit hídrico que ocasiona prejuízos no desenvolvimento dos vegetais, ocorre em ambientes agrícolas e é provocado por períodos sem precipitação. Os efeitos primários do déficit hídrico são redução do potencial hídrico, desidratação das células e resistência hidráulica gerando os efeitos secundários que são, entre outros, redução da expansão celular, das atividades celular e metabólicas; inibição da fotossíntese; abscisão foliar; produção de espécies reativas de oxigênio; morte celular (TAIZ & ZEIGER, 2017).

A cana-de-açúcar é particularmente sensível à disponibilidade hídrica, estudos realizados por Mohanraj (2021) na Índia relatam que a necessidade hídrica anual da cana-de-açúcar varia de 1.850 a 2.500 mm e que a produtividade da cultura é altamente prejudicada pela condição de limitação de água, especialmente em regiões tropicais do mundo. A fase inicial, na qual ocorre a brotação e perfilhamento, e a fase de alongamento dos colmos, são as mais sensíveis à escassez hídrica visto que afetam diretamente o acúmulo de sacarose e o estabelecimento da cultura (SILVA, et al., 2020).

Bernardo, Soares e Mantovani (2005) afirmam em seu estudo que a cana-de-açúcar requer entre 2 e 6 mm de água por dia, nas regiões de grande produção, que variam devido a variedade e o estágio de desenvolvimento do vegetal. Ao estudar o requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar no semiárido brasileiro, Silva et al. (2012), conclui que a evapotranspiração média foi de 4,7 mm dia⁻¹, totalizando 1.710 mm requeridos durante todo o ciclo da cultura. Nesse sentido, quando a demanda da cultura não é atendida, é feita a aplicação de água por meio da irrigação suplementar ou irrigação plena, que é pouco utilizada por ser mais dispendiosa (SOBRINHO, et al., 2019).

Nos casos em que não existe déficit hídrico, Pereira et al., (2007) destacam que a evapotranspiração se distingue da potencial, sendo designada como evapotranspiração da cultura (ET_c), para ser estimada, a ET_c depende de um coeficiente de ajuste, intitulado como coeficiente da cultura (K_c). Esses mesmos autores verificaram que em culturas anuais é

observado um acréscimo gradual dos valores de K_c até a fase de florescimento, que coincide com o período em que se tem uma maior área foliar, a partir do fim da frutificação e início da maturação ocorre um decréscimo devido a senescência das folhas.

2.5 Modelos de estimativa da produtividade

O potencial produtivo de um vegetal pode ser determinado por meio de elementos climáticos, tais como radiação solar, temperatura do ar, fotoperíodo e pela duração do ciclo de desenvolvimento da cultura, desse modo, o desempenho máximo de produtividade pode ser estimado com confiabilidade para condições climáticas diferentes, através de relações que indiquem a capacidade da planta em converter CO_2 e energia solar em matéria seca, ou seja, produção economicamente rentável (PEREIRA et al., 2002).

Estimar a produtividade agrícola das culturas é essencial no planejamento e gestão eficiente dos recursos. Para a cana-de-açúcar, uma das principais culturas do Brasil, modelos que são baseados em variáveis de clima e solo são capazes de prever a produção que poderá ser obtida (OLIVEIRA et al, 2021; AMARO, 2023).

Nesse sentido, modelos empíricos que usam variáveis baseadas em relações estatísticas, são úteis para prever produtividade em condições específicas, porém necessitam de calibração regular, diversos autores destacam a sua aplicabilidade com dados climáticos consistentes (CRUZ et al., 2011; ANDRADE et al., 2009; MINELLA, et al., 2014). Por outro lado, modelos mecanísticos como o DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) possuem mais flexibilidade, visto que são capazes de simular sob condições climáticas diversas (MATTOS, 2021). O estudo realizado por Amaro (2023) aborda o uso dos modelos híbridos, que propiciam uma maior confiabilidade das estimativas de produtividade, visto que são alimentados por dados proveniente de sensores remotos e estações meteorológicas.

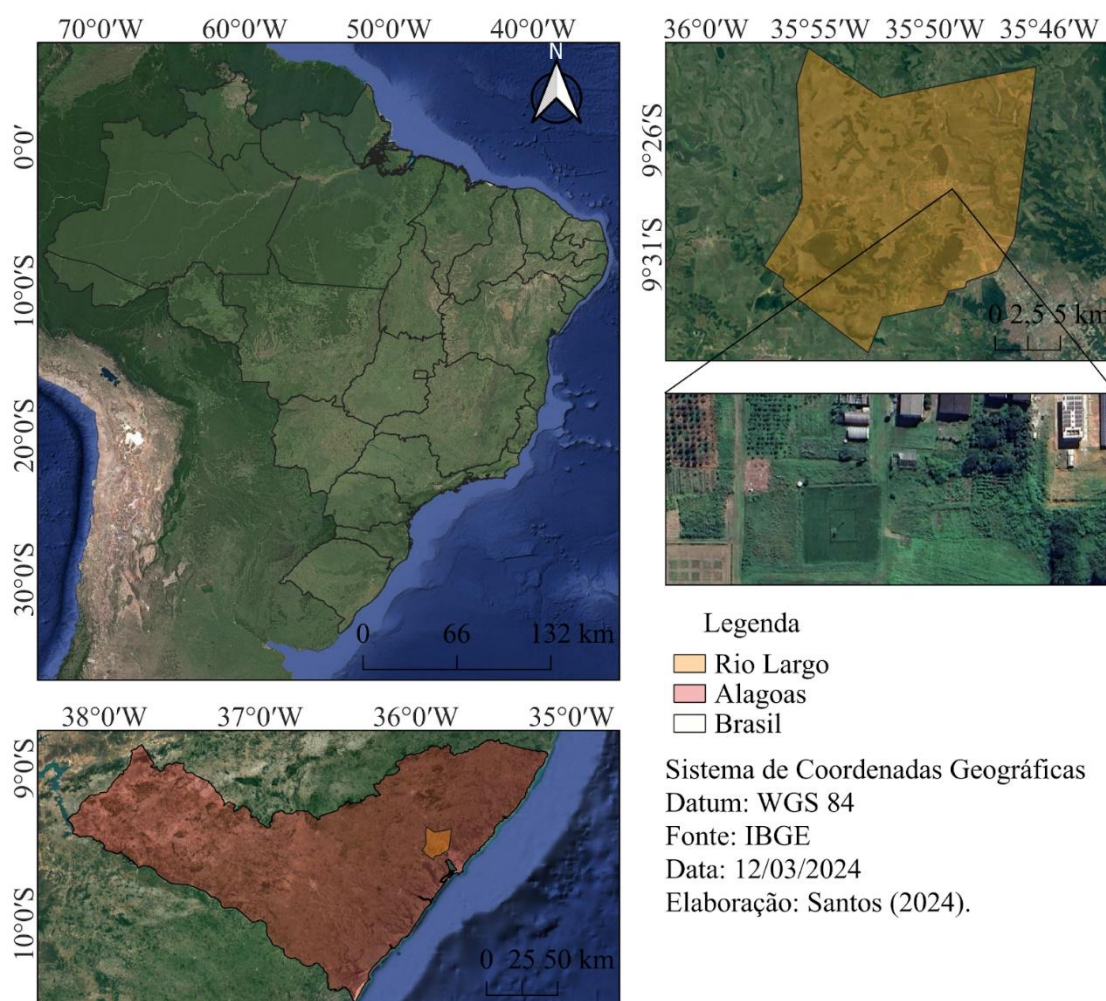
O modelo apresentado no documento FAO 33 é baseado no conceito de coeficiente de resposta da cultura ao déficit hídrico (K_y), que viabiliza a estimativa de perdas na produtividade em função da disponibilidade hídrica. Nesse sentido, Oliveira e seus colaboradores (2012) demonstra em seus estudos que o modelo abordado pelo FAO 33 apresenta resultados consistentes ao estimar a produtividade da cana-de-açúcar em macroescala nas principais regiões produtoras de Minas Gerais, se tornando uma ferramenta importante na otimização do planejamento da atividade canavieira.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

Os dados meteorológicos foram obtidos na Estação Agrometeorológica Automática do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em Rio Largo – AL, com as seguintes coordenadas geográficas 09°28'29,1" S e 35°49'43,6" O, 127 m de altitude. O clima da região, segundo a classificação de Thornthwaite e Mather (1955) é quente e úmido (B1), megatérmico (A'), com deficiência de água moderada no verão e (s) e grande excesso de água no inverno (w2).

Figura 1. Mapa de localização da área de coleta de dados do experimento, situado no município de Rio Largo, Alagoas.



Fonte: Autora, 2024.

4.2 Cenários estudados

Foram propostos seis manejos de irrigação para o cultivo da cana-de-açúcar (sequeiro, sistema de deslocamento linear com lâmina de 45 mm e turno de rega a cada 15 dias, e gotejamento com lâminas de 2, 3, 4 e 4,5 mm com turno de rega diário), combinados com doze ciclos de cultivo, conforme Tabela 1, gerando 72 cenários produtivos analisados durante as safras de 2016 a 2023.

Tabela 1. Períodos de manejo da cana-de-açúcar.

Cenário	Manejo de Irrigação	Plantio - Corte	Condição de Plantio	Meses
1	Sequeiro	Outubro - Outubro	Verão	13
2	Sequeiro	Novembro - Novembro		13
3	Sequeiro	Dezembro - Novembro		12
4	Sequeiro	Janeiro - Dezembro		12
5	Sequeiro	Fevereiro - Janeiro		12
6	Sequeiro	Março - Fevereiro		12
7	Sequeiro	Abril - Março	Contorno	12
8	Sequeiro	Maio - Abril		12
9	Sequeiro	Agosto - Novembro		16
10	Sequeiro	Setembro - Novembro		15
11	Sequeiro	Junho - Dezembro	Inverno	18
12	Sequeiro	Julho - Novembro		17
13	Linear	Outubro - Outubro	Verão	13
14	Linear	Novembro - Novembro		13
15	Linear	Dezembro - Novembro		12
16	Linear	Janeiro - Dezembro		12
17	Linear	Fevereiro - Janeiro		12
18	Linear	Março - Fevereiro		12
19	Linear	Abril - Março	Contorno	12
20	Linear	Maio - Abril		12
21	Linear	Agosto - Novembro		16
22	Linear	Setembro - Novembro		15
23	Linear	Junho - Dezembro	Inverno	18
24	Linear	Julho - Novembro		17
25	G2	Outubro - Outubro	Verão	13
26	G2	Novembro - Novembro		13
27	G2	Dezembro - Novembro		12
28	G2	Janeiro - Dezembro		12
29	G2	Fevereiro - Janeiro		12
30	G2	Março - Fevereiro		12

Continuação...

Cenário	Manejo de Irrigação	Plantio - Corte	Condição de Plantio	Meses
31	G2	Abril - Março	Contorno	12
32	G2	Maio - Abril		12
33	G2	Agosto - Novembro		16
34	G2	Setembro - Novembro		15
35	G2	Junho - Dezembro	Inverno	18
36	G2	Julho - Novembro		17
37	G3	Outubro - Outubro	Verão	13
38	G3	Novembro - Novembro		13
39	G3	Dezembro - Novembro		12
40	G3	Janeiro - Dezembro		12
41	G3	Fevereiro - Janeiro		12
42	G3	Março - Fevereiro		12
43	G3	Abril - Março	Contorno	12
44	G3	Maio - Abril		12
45	G3	Agosto - Novembro		16
46	G3	Setembro - Novembro		15
47	G3	Junho - Dezembro	Inverno	18
48	G3	Julho - Novembro		17
49	G4	Outubro - Outubro	Verão	13
50	G4	Novembro - Novembro		13
51	G4	Dezembro - Novembro		12
52	G4	Janeiro - Dezembro		12
53	G4	Fevereiro - Janeiro		12
54	G4	Março - Fevereiro		12
55	G4	Abril - Março	Contorno	12
56	G4	Maio - Abril		12
57	G4	Agosto - Novembro		16
58	G4	Setembro - Novembro		15
59	G4	Junho - Dezembro	Inverno	18
60	G4	Julho - Novembro		17
61	G4,5	Outubro - Outubro	Verão	13
62	G4,5	Novembro - Novembro		13
63	G4,5	Dezembro - Novembro		12
64	G4,5	Janeiro - Dezembro		12
65	G4,5	Fevereiro - Janeiro		12
66	G4,5	Março - Fevereiro		12
67	G4,5	Abril - Março	Contorno	12
68	G4,5	Maio - Abril		12
69	G4,5	Agosto - Novembro		16
70	G4,5	Setembro - Novembro		15

Continuação...

Cenário	Manejo de Irrigação	Plantio - Corte	Condição de Plantio	Meses
71	G4,5	Junho - Dezembro	Inverno	18
72	G4,5	Julho - Novembro		17

Nota: G2 – Gotejo de 2 mm diários; G3 – Gotejo de 3 mm diários; G4 – gotejo de 4 mm diários; G4,5 – gotejo de 4,5 mm diários.

Fonte: Autora, 2025.

4.3 Cálculos das probabilidades

O percentil (αP) corresponde ao valor da variável meteorológica contínua (X), associado à porcentagem da área sob a curva da função de distribuição (F) (LYRA et al., 2020). A probabilidade de 25% é comumente utilizada para dimensionar projetos de irrigação, e 50% representam um evento com ocorrência a cada dois anos. Com base nos dados meteorológicos dos últimos 35 anos, foi determinada a distribuição esperada de evapotranspiração de referência, para os percentis de 10, 25, 50, 75, 80, 90 e 95%, de acordo com a Equação 1:

$$\text{Prob}(X \leq \alpha P) = F(\alpha P) \quad (1)$$

em que, αP são os valores previstos de determinado elemento climático e p (%) representa a probabilidade.

4.4 Classificação dos anos secos e úmidos

Os dados anuais de precipitação total (mm) foram utilizados para classificar os anos de 2016 a 2023, de acordo com a metodologia proposta por Nery et al. (2002), em que:

- Ano muito seco: precipitação $< \mu - 1,5 \times \sigma$;
- Ano seco: $\mu - 1,5 \times \sigma \leq \text{precipitação} < \mu - 0,5 \times \sigma$;
- Ano normal: $\mu - 0,5 \times \sigma \leq \text{precipitação} \leq \mu + 0,5 \times \sigma$;
- Ano úmido: $\mu + 0,5 \times \sigma < \text{precipitação} \leq \mu + 1,5 \times \sigma$;
- Ano muito úmido: precipitação $> \mu + 1,5 \times \sigma$.

Em que: μ corresponde à média e σ ao desvio padrão.

4.5 Balanço hídrico diário

A precipitação foi medida por um pluviômetro automático (TB3, Hydrological Services PTY. LTD., Sydney, Austrália), instalado a 1,5 m acima da superfície do solo. A temperatura e a umidade relativa do ar foram mensuradas por meio de um termohigrômetro automático

(HMP45C, Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA), instalado a 2,0 m acima da superfície do solo. A irradiância solar global (R_g , $W\ m^{-2}$) foi obtida por um piranômetro (Eppley, modelo 848, B&W), com faixa espectral de 305 a 2800 nm. A velocidade do vento, a 2 m de altura, foi obtida por anemômetro automático. Todos os sensores estavam interligados a um sistema de aquisição de dados, que realizava medições a cada 10 segundos e armazenando médias a cada 10 minutos (Micrologger – 21 CR1000, Campbell Scientific, Logan, Utah).

A evapotranspiração de referência (ET_0) foi estimada pelo método de Penman-Monteith (Equação 1), parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998). Tal método é amplamente empregado em estudos agrometeorológicos e, para a sua aplicação, são requeridos dados de temperatura do ar (T), velocidade do vento a 2 m de altura (U_2), umidade relativa do ar (UR) e do saldo de radiação (R_n). Contudo, essas informações nem sempre estão disponíveis, sendo necessária a estimativa de uma ou mais variáveis, conforme metodologias sugeridas por Allen et al. (1998) (Equação 2).

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left(\gamma \frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (2)$$

Em que: Δ é a declividade da curva de pressão de vapor ($kPa^\circ C^{-1}$); R_n é a radiação líquida ($MJ\ m^{-2}dia^{-1}$); G é o fluxo calor no solo ($MJm^{-2}dia^{-1}$); γ é a constante psicrométrica ($kPa^\circ C^{-1}$); U_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a é a pressão de vapor atual (kPa); T é a temperatura média do ar ($^\circ C$). Os valores diários de R_n foram obtidos a partir de sua relação com a irradiação solar global diária medida na estação, considerando que R_n corresponde a 57,2% de R_g . O valor de G foi considerado igual a (zero) na escala diária (FERREIRA JÚNIOR, 2013).

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada por meio do produto da ET_0 pelo coeficiente da cultura K_c (Equação 5), calculado pelo método “dual” padrão do Boletim FAO-56 (Allen et al., 1998), o qual propõe a divisão do ciclo da cultura em quatro fases fenológicas: inicial, desenvolvimento, intermediária e final. Com o intuito de automatizar o processo, foi elaborado um script em linguagem Python para aplicar a interpolação linear entre os valores de K_c correspondentes às fases da cultura.

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (6)$$

O coeficiente K_s foi determinado de acordo com a Equação 7, proposta por Bernardo et al. (2006).

$$K_s = \frac{\ln(LAA+1,0)}{\ln(CTA+1,0)} \quad (7)$$

Para os cálculos do balanço hídrico, foram considerados os seguintes valores e unidades de medida: capacidade de campo (CC) de 35%, ponto de murcha permanente (PM) de 27%, densidade do solo (D_s) de $1,25 \text{ g cm}^{-3}$, profundidade efetiva do sistema radicular (Z) de 60 cm e fator de disponibilidade de água no solo (f), conforme com o Manual de Irrigação – 8ª edição (2006). Para fruteiras e forrageiras, o valor de f recomendado é 0,5. Desse modo, considerando que a cana-de-açúcar também é uma gramínea, assim como as forrageiras, adotou-se esse fator.

A capacidade de água disponível (CAD) foi determinada por meio da Equação (8).

$$CAD = \frac{CC}{PM} \times D_s \times Z \quad (8)$$

A capacidade total de água no solo (CTA) foi calculada por meio da Equação 9:

$$CTA = \left[\frac{(CC - PM)}{10} D_s \right] Z \quad (9)$$

A capacidade real de água do solo (CRA) foi obtida por meio da seguinte expressão (Equação 10):

$$CRA = f \times CTA \quad (10)$$

Para o cálculo de Evapotranspiração da Cultura (ET_c), existem inúmeras proposições. Neste trabalho, ela foi determinada de acordo com a Equação 11:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \times K_s \quad (11)$$

Com base nas informações obtidas por meio do balanço hídrico, e utilizando o modelo descrito por Doorenbos e Kassam (1979), com a adoção do valor de 0,66 como fator de resposta à água (K_y), a produtividade foi estimada por meio da Equação 12.

$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{E_{tr}}{E_{tm}}\right) \quad (12)$$

Em que: Y_r é a produtividade real colhida ($t\ ha^{-1}$); Y_m é a produtividade máxima colhida ($t\ ha^{-1}$); K_y é o coeficiente de resposta à água; E_{tr} é a evapotranspiração real (mm); e E_{tm} é a evapotranspiração máxima (mm).

A partir dos déficits hídricos obtidos pelo balanço hídrico, foram determinadas as perdas no rendimento produtivo relativas a cada condição de manejo. O cálculo das perdas de produtividade foi realizado por meio da comparação com as produtividades do cultivo em sequeiro. Desse modo, foi possível estimar a redução no rendimento da cultura em função da disponibilidade de água, considerando os diferentes períodos de cultivo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Probabilidade climática dos eventos de precipitação

A análise da probabilidade climática dos eventos de precipitação mensais e anuais em milímetros durante o período de estudo (Tabela 2), apresenta os padrões pluviométricos, nos quais os percentis indicam desde eventos mais raros e extremos (probabilidade de 10% de ocorrência) até os mais prováveis (50% de probabilidade), constituindo-se como uma ferramenta importante no planejamento agrícola. As tabelas que utilizam uma escala de cores representam os diferentes níveis de disponibilidade hídrica: os tons em vermelho indicam situação de escassez, enquanto os tons mais claros e em branco representam uma transição, e os tons em azul refletem valores sem déficit.

O cenário de 50% de probabilidade, que possui um tempo de retorno a cada dois anos, caracteriza-se como o cenário mais provável, no qual pode-se observar uma maior concentração de chuvas nos períodos de maio a agosto. O mês de julho pode ser considerado o pico da estação chuvosa, em um evento raro e seco (10%), pode ocorrer 208,6 mm de chuva, enquanto em um evento raro e úmido, a ocorrência pode ser de 662,9 mm de precipitação. Os meses de novembro e dezembro são os que apresentam os menos valores de precipitação, sendo então considerados os meses menos úmidos do ano, o que corrobora com o estudo de Carvalho e seus colaboradores (2013), no qual afirma que os meses de setembro a março são considerados a estação seca.

A precipitação anual acumulada varia de 1.619,9 mm (10% de probabilidade) a 2.822,1 mm (95% de probabilidade), com uma média provável de 2.020,3 mm (50% de probabilidade). Conforme a classificação de Thornthwaite e Mather (1955), o clima é quente e úmido (B1), megatérmico (A'), com deficiência de água moderada no verão (s) e grande excesso de água no inverno (w2). Desse modo, a variação da precipitação indicou que, para garantir o desenvolvimento das culturas, são necessárias estratégias de reposição hídrica, considerando que a evapotranspiração da cultura acumulada durante todo o ciclo de cultivo em condições adequadas de água no solo é de aproximadamente 1.950 mm, distribuídos ao longo do ciclo da cultura (LYRA, 2007).

5.2 Probabilidade climática dos eventos de evapotranspiração

O estudo da probabilidade climática dos eventos de evapotranspiração mensais e anuais em milímetros (Tabela 3) sob diferentes probabilidades de ocorrência indica que, durante o

período analisado (35 anos), há uma variabilidade desse processo em função das condições climáticas e ambientais da região, permitindo inferir tendências e embasar a tomada de decisão do uso eficiente de água.

Ao ser considerada a probabilidade de 10%, que representa um evento raro de alta evapotranspiração de 1.356,6 mm anual, esse cenário pode ocorrer em anos atípicos de estiagem severa, com temperaturas elevadas e baixa umidade. Nesses casos, sistemas de irrigação devem ser dimensionados para atender a necessidade hídrica da cultura. Assim, a probabilidade de 50%, que representa a média da distribuição dos eventos de evapotranspiração, pode ser considerada como um indicativo de condição típica da região dos Tabuleiros Costeiros, sendo um parâmetro que pode auxiliar na determinação de lâminas de irrigação.

Tabela 2. Probabilidade de precipitação mensal e anual para a região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

Percentil	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
10	22,4	11,3	41,8	70,6	121,3	180,1	208,6	125,8	24,3	7,5	3,0	1,0	1.413,5
25	37,2	33,9	63,3	145,4	173,8	232,0	252,6	161,6	49,7	25,0	12,0	14,2	1.619,9
50	72,0	82,1	118,4	222,1	244,6	347,2	312,0	205,0	69,4	46,2	32,1	24,3	2.020,3
75	120,6	117,1	198,6	345,0	404,2	462,5	403,5	261,8	141,9	86,0	50,6	45,9	2.351,2
80	130,4	142,6	214,9	359,8	424,2	489,6	413,8	281,0	177,0	103,6	55,1	61,7	2.453,0
90	167,3	177,3	263,5	429,4	490,4	604,4	499,1	311,7	195,7	193,6	92,4	98,3	2.639,5
95	231,6	221,6	292,2	447,4	657,1	644,8	662,9	340,2	240,8	204,8	113,1	112,6	2.822,1

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 3. Probabilidade de evapotranspiração mensal e anual para a região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

Percentil	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
10	129,0	116,3	116,0	92,0	84,8	76,2	76,6	88,7	103,0	124,7	131,9	136,5	1.356,6
25	136,8	123,8	128,7	106,2	89,7	81,4	84,7	94,0	110,4	129,3	136,2	145,2	1.419,3
50	146,6	130,9	137,6	114,9	98,9	85,6	88,3	99,8	116,3	140,8	145,8	151,0	1.468,6
75	152,5	142,1	146,2	119,5	103,5	92,7	93,7	109,4	123,9	145,7	154,1	159,5	1.493,5
80	153,2	142,7	146,3	121,6	103,8	93,7	94,8	112,0	126,0	147,7	154,6	161,1	1.517,3
90	159,1	144,8	150,8	131,4	110,6	96,9	98,2	116,3	127,9	152,3	158,8	166,0	1.565,4
95	160,2	144,9	156,3	133,4	115,0	102,9	100,8	118,7	129,3	155,2	165,6	171,1	1.576,2

Fonte: Autora, 2024.

5.3 Classificação dos anos em função da probabilidade

A probabilidade de eventos de 90% indica eventos de chuvas excepcionais que causam inundações a cada 10 anos, como os eventos observados nos anos 2000 e 2010. No ano 2000, o posto fluviométrico localizado na Fazenda Boa Fortuna em Rio Largo, Alagoas, registrou uma enchente que atingiu a cota de 10,5 m e uma vazão estimada em $1.092 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (REIS; SILVA JÚNIO; PEDROSA, 2000). De maneira semelhante, entre os dias 17 e 19 de junho de 2010, ocorreram cheias nas bacias do rio Mundaú, que perpassa a cidade de Rio Largo (OLVEIRA; SOUZA; FRAGOSO JÚNIOR, 2014). Nesse sentido, a partir da análise das probabilidades de precipitação, foi possível identificar os padrões climáticos e suas possíveis implicações no manejo dos anos estudados (Tabela 4).

Tabela 4. Classificação dos anos em função da probabilidade climática de precipitação.

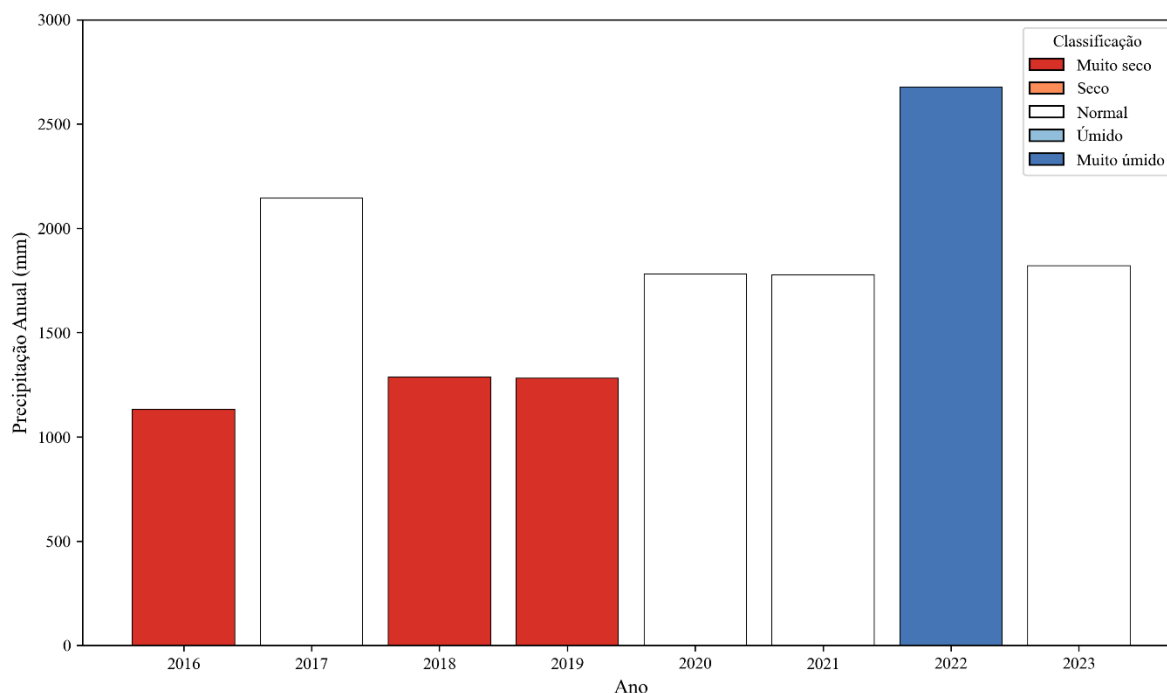
Ano	Precipitação	Classificação
2016	1130,05	10
2017	2144,27	75
2018	1286,02	10
2019	1280,92	10
2020	1780,32	50
2021	1776,79	50
2022	2677,18	95
2023	1820,92	50

Fonte: Autora, 2024.

5.4 Classificação dos secos e úmidos

A figura 2 evidencia a classificação dos anos de 2016 a 2023 com base na precipitação, de acordo com a metodologia descrita por Nery e seus colaboradores (2002). Os anos de 2016, 2018 e 2019 foram classificados como muitos secos, por apresentarem precipitações inferiores a 1300 mm. Os anos de 2017, 2020, 2021 e 2023 foram classificados como normais, com totais pluviométricos situados na faixa de 1.700 a 1.850 mm. O ano de 2022 foi classificado como muito úmido, registrando precipitação acima de 2.600 mm.

Figura 2. Classificação dos Anos por Precipitação de acordo com a metodologia descrita por Nery et al (2002).



Fonte: Autora, 2024.

5.5 Déficits acumulados em função da época de plantio

A observação dos déficits hídricos acumulados em função das épocas de plantio e colheita e das estratégias de manejo hídrico é fundamental para o planejamento agrícola. No manejo em que os plantios são realizados durante o verão da safra 2016/2017 (Tabela 5), as análises de média e desvio padrão indicam que, no manejo de sequeiro, a média foi de 693,20 mm +/- 148,3 mm, com o menor déficit foi de 484,08 mm e o maior déficit de 922,04 mm. No sistema linear, a média foi de 197,21 mm +/- 63,8 mm, com o menor déficit foi de 116,88 mm e o maior de 295,95 mm.

Tabela 5. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2016/2017.

Déficits em mm de plantios realizados no verão							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	684,52	198,77	308,47	172,52	72,64	38,59
Novembro	Novembro	628,84	155,81	213,32	101,17	43,49	26,71
Dezembro	Novembro	484,08	116,88	143,59	62,07	17,82	10,67
Janeiro	Dezembro	655,70	174,43	256,39	135,94	45,85	14,98
Fevereiro	Janeiro	784,05	241,39	349,78	206,33	92,63	48,42
Março	Fevereiro	922,04	295,95	441,05	269,64	135,47	80,13
Déficits em mm de plantios realizados em condições de contorno e inverno							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Abril	Março	1.050,58	347,77	540,49	341,29	180,07	113,99
Maio	Abril	1.121,17	401,60	600,27	397,61	222,41	143,18
Agosto	Novembro	1.019,36	330,26	487,02	297,92	152,86	94,34
Setembro	Novembro	907,92	265,05	396,10	232,55	104,14	50,81
Junho	Dezembro	1.275,50	451,24	673,54	419,28	218,16	135,21
Julho	Novembro	1.115,50	389,42	577,43	365,16	190,01	119,32

Fonte: Autora, 2024.

Para os sistemas de gotejo, com lâmina de 2 mm diários, a média foi de 285,43 mm +/- 104,9 mm. Na lâmina de 3 mm diários de gotejo, a média foi de 157,94 mm +/- 74,7 mm. Na lâmina de 4 mm, os valores médios foram de 67,98 mm +/- de 41,9 mm. Por sua vez, na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 36,58 mm +/- 25,6 mm, em que o menor valor de déficit foi de 10,67 mm e o maior valor 80,13 mm. Os maiores valores de déficit são encontrados no plantio realizado em março e colheita em fevereiro e os menores valores para o plantio realizado em dezembro com colheita em novembro.

No manejo com plantio de inverno, os valores obtidos indicam déficits hídricos mais elevados em comparação aos resultados dos manejos de verão. No sistema de sequeiro, a média foi de 1.081,67 mm +/- 122,7 mm, sendo o maior déficit de 1.275,50 mm e o menor, 907,92 mm. No manejo linear, a média foi de 364,23 mm +/- 64,6 mm. Para os sistemas de gotejo, na lâmina de 2 mm, a média foi de 545,81 mm +/- 96,1 mm. Na lâmina de 3 mm diários, a média foi de 342,30 mm +/- 68,6 mm. Na lâmina que distribui 4 mm, a média foi de 177,94 mm +/- 44,3 mm. Por fim, na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 109,48 mm +/- 33,4 mm, sendo o maior valor de déficit foi de 143,18 e o menor valor de 50,81 mm. Os maiores valores de déficit no sistema de manejo sem reposição hídrica, no sistema de deslocamento lateral e nas lâminas diárias de gotejo de 2 e 3 mm foram encontrados nos períodos de plantio realizados em junho com colheita em dezembro. Para o sistema de gotejo com lâminas de 4 e 4,5 mm diárias, os

maiores déficits foram registrados no período de plantio em maio e colheita em abril. Os menores valores de déficit foram obtidos durante o período de manejo com plantio realizado em setembro e colheita realizada em novembro. Esses resultados demonstram que o plantio de inverno possui déficits hídricos mais elevados enquanto o plantio de verão apresenta valores menores.

No manejo em que os plantios e colheitas são realizados durante o verão da safra 2017/2018 (Tabela 6), as análises de média e desvio padrão mostram que, no cultivo de sequeiro, a média foi de 476,50 mm +/- 51,1 mm, no qual o menor déficit foi de 398,21 mm (plantio em fevereiro e colheita em janeiro) e o maior déficit foi de 526,86 mm (plantio em novembro e colheita em novembro). Enquanto no sistema linear, a média foi de 132,79 mm +/- 17,3 mm, sendo o menor déficit de 110,53 mm (plantio em dezembro e colheita em novembro) e o maior de 155,04 mm (plantio em março e colheita em fevereiro).

Tabela 6. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2017/2018.

Déficits em mm de plantios realizados no verão							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	523,51	148,06	129,92	57,27	23,48	14,83
Novembro	Novembro	526,86	135,24	159,93	68,13	18,87	8,86
Dezembro	Novembro	464,94	110,53	149,60	61,88	16,40	7,51
Janeiro	Dezembro	504,57	131,55	186,09	85,98	23,09	8,64
Fevereiro	Janeiro	398,21	116,34	161,12	75,85	21,14	7,16
Março	Fevereiro	440,89	155,04	207,40	113,49	44,12	24,62
Déficits em mm de plantios realizados em condições de contorno e inverno							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Abril	Março	507,67	188,39	249,85	146,02	63,98	39,72
Maio	Abril	552,69	212,73	273,78	162,78	74,59	47,16
Agosto	Novembro	800,53	223,65	290,86	144,14	58,51	36,17
Setembro	Novembro	710,25	188,90	227,39	100,14	36,12	21,16
Junho	Dezembro	975,52	296,08	397,37	205,46	87,32	52,73
Julho	Novembro	862,97	247,41	335,88	173,48	78,47	49,13

Fonte: Autora, 2024.

Para os sistemas de gotejo, com lâmina de 2 mm diária, a média foi de 165,68 mm +/- 27,4 mm. Na lâmina de 3 mm diários de gotejo, a média foi de 77,10 mm +/- 20,5 mm. Na lâmina de 4 mm, os valores médios foram de 24,52 mm +/- 8,0 mm. Enquanto, na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 11,94 mm +/- 6,8 mm, sendo o menor valor de déficit foi de 7,16 mm (plantio em fevereiro e colheita em janeiro) e o maior valor de 24,62 mm (plantio em março e

colheita em fevereiro). Os maiores valores de déficit são encontrados no plantio realizado em março, com colheita em fevereiro.

Nos cultivos manejados durante o inverno e em condições de contorno, os valores obtidos indicam que, no sistema de sequeiro, a média foi de 734,94 mm +/- 181,1 mm, sendo o maior déficit de 975,52 mm (plantio em junho e colheita em dezembro) e o menor, de 507,67 mm (plantio em abril e colheita em março). No manejo linear, a média foi de 226,19 mm +/- 40,8 mm. Para os sistemas de gotejo, na lâmina de 2 mm, a média foi de 295,86 mm +/- 62,0 mm. Na lâmina de 3 mm diários, a média foi de 155,34 mm +/- 35,1 mm. Na lâmina que distribui 4 mm, a média foi de 66,50 mm +/- 18,1 mm. Por fim, na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 41,01 mm +/- 11,5 mm, sendo o maior valor de déficit foi de 52,73 mm (plantio junho e colheita em dezembro) e o menor, 21,16 mm (plantio em setembro e colheita em novembro).

No manejo em que os plantios e colheitas são realizados durante o verão da safra 2018/2019 (Tabela 7), as análises de média e desvio padrão mostram que no cultivo de sequeiro, a média foi de 541,41 mm +/- 56,6 mm, no qual o menor déficit foi de 474,54 mm (plantio em dezembro e corte em novembro) e o maior déficit foi de 635,91 mm (plantio em março e corte em fevereiro). No sistema linear, a média foi de 140,95 mm +/- 34,6 mm, em que o menor déficit foi de 102,35 mm (plantio em dezembro e corte em novembro) e o maior, de 195,89 mm (plantio em março e corte em fevereiro).

Tabela 7. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2018/2019.

Déficits em mm de plantios realizados no verão							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	507,70	119,76	112,56	52,29	19,23	9,27
Novembro	Novembro	517,55	121,33	153,83	62,15	16,76	7,40
Dezembro	Novembro	474,54	102,35	138,86	51,61	9,42	3,74
Janeiro	Dezembro	541,13	140,05	206,46	93,37	21,75	4,04
Fevereiro	Janeiro	571,60	166,30	232,10	123,73	47,71	24,77
Março	Fevereiro	635,91	195,89	270,25	149,75	64,13	34,75
Déficits em mm de plantios realizados em condições de contorno e inverno							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Abril	Março	731,65	217,12	311,30	172,40	75,13	40,99
Maio	Abril	786,15	231,24	338,11	189,62	83,56	45,05
Agosto	Novembro	835,92	185,77	243,63	93,95	29,39	14,92
Setembro	Novembro	739,19	152,05	182,27	77,45	24,30	12,14
Junho	Dezembro	1.109,69	270,70	429,84	209,49	70,61	34,87
Julho	Novembro	924,05	225,02	316,13	146,51	45,60	23,02

Fonte: Autora, 2024.

Para os sistemas de gotejo, com lâmina de 2 mm diárias, a média foi de 185,68 mm +/- 60,5 mm. Na lâmina de 3 mm diários de gotejo, a média de 88,82 mm +/- 40,9 mm. Na lâmina de 4 mm, os valores médios foram de 29,83 mm +/- 21,3 mm. Enquanto na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 13,99 mm +/- 12,8 mm, com o menor valor de déficit de 3,74 mm (plantio em dezembro e corte em novembro) e o maior valor de 34,75 mm (plantio em março e corte em fevereiro).

Nos cultivos manejados durante o inverno e em condições de contorno, os valores obtidos indicam que, no sistema de sequeiro, a média foi de 854,44 mm +/- 143,8 mm, sendo o maior déficit de 1.109,69 mm (plantio realizado em junho e corte em dezembro) e o menor de 731,65 mm (plantio realizado em abril e corte em março). No manejo linear, a média foi de 213,65 mm +/- 40,7 mm. Para os sistemas de gotejo, na lâmina de 2 mm diários, a média foi de 303,55 mm +/- 84,4 mm. Na lâmina com 3 mm diários, a média foi de 148,24 mm +/- 52,9 mm. Na lâmina que distribui 4 mm, a média foi de 54,77 mm +/- 25,1 mm. Na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 28,50 mm +/- 13,8 mm, com o maior valor de déficit de 45,05 mm (plantio realizado em maio e corte em abril) e o menor de 12,14 mm (plantio realizado em setembro e colheita em novembro).

Nos cultivos em que o seu manejo se dá durante o verão da safra 2019/2020 (Tabela 8), as análises de média e desvio padrão indicam que, no cultivo de sequeiro, a média foi de 547,02 mm +/- 125,2 mm, com o menor valor de déficit foi de 390,48 mm (plantio em dezembro e corte em novembro) e o maior de 710,65 mm (plantio em março e colheita em fevereiro). Já no sistema linear, a média foi de 145,24 mm +/- 52,5 mm com o menor déficit de 87,99 mm (plantio em dezembro e corte em novembro) e o maior de 223,47 mm (plantio em março e corte em fevereiro).

Tabela 8. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2019/2020.

Déficits em mm de plantios realizados no verão							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	576,93	157,31	187,49	90,87	34,78	20,90
Novembro	Novembro	528,72	122,66	133,86	51,56	14,76	8,17
Dezembro	Novembro	390,48	87,99	99,01	41,09	11,94	6,02
Janeiro	Dezembro	424,29	97,25	146,82	57,80	14,45	4,85
Fevereiro	Janeiro	65,07	182,77	293,60	155,79	55,17	23,21
Março	Fevereiro	710,65	223,47	356,40	206,57	93,02	46,53
Déficits em mm de plantios realizados em condições de contorno e inverno							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Abril	Março	789,66	272,88	415,45	256,43	128,46	74,38
Maio	Abril	851,02	318,61	459,88	293,56	154,89	95,48
Agosto	Novembro	877,26	258,24	378,43	215,60	93,66	52,02
Setembro	Novembro	776,24	201,62	292,19	145,65	50,75	28,83
Junho	Dezembro	1.139,12	360,27	529,82	310,50	147,83	88,63
Julho	Novembro	965,60	306,95	450,13	267,96	130,21	79,91

Fonte: Autora, 2024.

Para os sistemas de gotejo, com lâmina de 2 mm diárias, a média foi de 202,86 mm +/- 100,7 mm. Na lâmina de 3 mm diários de gotejo, a média foi de 100,61 mm +/- de 66,6 mm. Na lâmina de 4 mm, os valores médios foram de 37,35 mm +/- 31,9 mm. Na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 18,28 mm +/- 15,9 mm, com o maior valor foi de 46,53 mm (plantio em março e corte em fevereiro) e o menor valor de 4,85 mm (plantio em janeiro e corte em dezembro).

Nos cultivos manejados durante o inverno e em condições de contorno, os valores obtidos indicam que, no sistema de sequeiro, a média foi de 899,82 mm +/- 135,6 mm, sendo o maior déficit de 1.139,12 (plantio em junho e corte em dezembro) e o menor de 776,24 mm (plantio em setembro e colheita em novembro). No manejo linear, a média de 286,43 mm +/- 54,9 mm. Para os sistemas de gotejo, na lâmina de 2 mm diárias, a média foi de 420,98 mm +/- 80,8 mm. Na lâmina com 3 mm diários, a média foi de 248,28 mm +/- 60,0 mm. Na lâmina que distribui 4 mm, a média foi de 117,63 mm +/- 39,0 mm. Na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 69,87 mm +/- 25,0 mm, com o maior déficit foi de 95,48 mm (plantio em maio e corte em abril) e o menor déficit de 28,83 mm (plantio em setembro e colheita em novembro).

Nos cultivos em que o seu manejo se dá durante o verão da safra 2020/2021 (Tabela 9), as análises de média e desvio padrão indicam que, no cultivo de sequeiro, a média foi de 497,65 mm +/- 76,0 mm com o menor valor de déficit foi de 388,71 mm (plantio em dezembro e corte em novembro) e o maior de 621,53 mm (plantio em março e corte em fevereiro). Já no sistema

linear, a média foi de 122,85 mm +/- 29,7 mm, com o menor déficit foi de 84,39 mm (plantio em dezembro e corte em novembro) e o maior de 174,74 mm (plantio em março e colheita em fevereiro).

Tabela 9. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2020/2021.

Déficits em mm de plantios realizados no verão							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	507,46	118,91	164,97	65,50	22,52	13,45
Novembro	Novembro	485,50	115,12	127,45	52,85	15,06	8,80
Dezembro	Novembro	388,71	84,39	94,26	33,20	11,21	6,21
Janeiro	Dezembro	465,07	112,71	172,98	76,09	21,60	9,17
Fevereiro	Janeiro	517,60	131,24	215,77	101,53	31,73	14,38
Março	Fevereiro	621,53	174,74	270,70	143,87	52,92	24,16

Déficits em mm de plantios realizados em condições de contorno e inverno							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Abril	Março	729,14	208,03	330,75	181,93	75,13	34,32
Maio	Abril	792,62	229,26	380,81	211,69	91,64	43,30
Agosto	Novembro	809,96	193,37	314,52	134,80	45,08	23,22
Setembro	Novembro	716,17	165,41	235,06	101,64	29,34	15,21
Junho	Dezembro	1.021,50	280,11	449,03	232,89	84,66	37,94
Julho	Novembro	894,18	235,57	382,83	193,17	61,54	27,99

Fonte: Autora, 2024.

Para os sistemas de gotejo, com lâmina de 2 mm diárias, a média foi de 174,36 mm +/- 62,8 mm. Na lâmina de 3 mm diárias de gotejo, a média foi de 78,84 mm +/- 39,2 mm. Na lâmina de 4 mm, os valores médios foram de 25,84 mm +/- 15,0 mm. Na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 12,69 mm, +/- 6,4 mm, sendo o maior valor de 24,16 mm (plantio em março e colheita em fevereiro) e o menor de 6,21 mm (plantio em dezembro e corte em novembro).

Nos cultivos manejados durante o inverno e em condições de contorno, os valores obtidos indicam que, no sistema de sequeiro, a média apresentou o valor de 827,26 mm +/- 114,6 mm, sendo o maior valor de déficit de 1.021,50 mm (plantio em junho e corte em dezembro) e o menor de 716,17 mm (plantio em setembro e corte em novembro). No manejo linear, a média foi de 218,62 mm +/- 39,4 mm. Para os sistemas de gotejo, na lâmina de 2 mm diárias, a média foi de 348,83 mm +/- 73,0 mm. Na lâmina com 3 mm diários, a média foi de 176,02 mm +/- 49,1 mm. Na lâmina que distribui 4 mm, a média foi de 64,57 mm +/- de 24,0. Na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 30,33 mm +/- 10,3 mm, com o maior valor de déficit de 43,30 mm (plantio em maio e corte em abril) e o menor de 15,21 mm (plantio em setembro e corte em novembro).

No manejo em que os plantios e colheitas são realizados durante o verão da safra 2021/2022 (Tabela 10), as análises de média e desvio padrão indicam que, no cultivo de sequeiro, a média foi de 355,29 mm +/- 128,2 mm, com o menor déficit foi de 210,14 mm (plantio em janeiro e corte em dezembro) e o maior de 541,51 mm (plantio em março e corte em fevereiro). Já no sistema linear, a média foi de 105,05 mm +/- 33,7 mm, com o menor déficit foi de 66,69 mm (plantio em dezembro e corte em novembro) e o maior déficit de 152,46 mm (plantio em março e corte em fevereiro).

Tabela 10. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2021/2022.

Déficits em mm de plantios realizados no verão							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	415,01	127,75	136,40	77,48	40,85	27,88
Novembro	Novembro	315,65	109,86	114,81	63,05	32,44	22,70
Dezembro	Novembro	226,30	66,69	75,10	33,00	10,64	5,71
Janeiro	Dezembro	210,14	67,37	58,97	21,51	4,58	0,93
Fevereiro	Janeiro	423,13	106,15	160,26	79,13	24,93	11,52
Março	Fevereiro	541,51	152,46	216,88	119,25	44,43	25,00

Déficits em mm de plantios realizados em condições de contorno e inverno							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Abril	Março	614,05	198,53	263,64	152,63	63,96	38,12
Maio	Abril	666,33	236,72	303,39	179,27	82,64	51,74
Agosto	Novembro	608,87	195,61	238,82	132,48	61,14	37,14
Setembro	Novembro	515,00	153,93	180,00	90,42	44,62	29,82
Junho	Dezembro	754,76	260,27	333,84	190,63	88,78	58,76
Julho	Novembro	680,90	229,09	297,43	164,10	84,08	55,78

Fonte: Autora, 2024.

Para os sistemas de gotejo, com lâmina de 2 mm diárias, a média foi de 127,07 mm +/- 57,9 mm. Na lâmina de 3 mm diários de gotejo, a média foi de 65,57 mm +/- 35,3 mm. Na lâmina de 4 mm, os valores médios foram de 26,31 mm +/- 16,1 mm. Já na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 15,62 mm +/- 11,1 mm, com o menor valor de déficit de 0,93 mm (plantio em janeiro e corte em dezembro) e o maior valor de 27,88 mm (plantio em outubro e corte em outubro).

Nos cultivos manejados durante o inverno e condições de contorno, os valores obtidos indicam que, no sistema de sequeiro, a média foi de 639,98 mm +/- 81,0 mm, com o menor valor de déficit foi de 515,00 mm (plantio em setembro e corte em novembro), corroborando com o déficit de 651 mm encontrado por Abreu e seus colaboradores (2013) em seus estudos realizados em 2005. O maior valor de déficit obtido foi de 754,76 mm (plantio em junho e corte

em dezembro). No manejo linear, a média foi de 212,36 mm +/- 37,6 mm. Para os sistemas de gotejo, na lâmina de 2 mm, a média foi de 269,52 mm +/- 54,9 mm. Na lâmina com 3 mm diários, a média foi de 151,59 mm +/- 36,2 mm. Na lâmina que distribui 4 mm, a média foi de 70,87 mm +/- 17,1 mm. Na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 45,23 mm +/- 11,7 mm, com o maior valor de déficit foi de 58,76 mm (plantio em junho e corte em dezembro) e o menor de 29,82 mm (plantio em setembro e corte em novembro).

No manejo em que os plantios e colheitas são realizados durante o verão da safra 2022/2023 (Tabela 11), as análises de média e desvio padrão mostram que, no cultivo de sequeiro, a média foi de 296,85 mm +/- 27,5 mm, com o menor déficit foi de 255,44 mm (plantio em fevereiro e corte em janeiro) e o maior déficit de 338,24 mm (plantio em novembro e corte em novembro). Já no sistema linear, a média foi de 81,64 mm +/- 6,4 mm, com o menor déficit foi de 72,13 mm (plantio em dezembro e corte em novembro) e o maior de 91,20 mm (plantio em março e corte em fevereiro).

Tabela 11. Déficits acumulados durante as épocas de plantio e colheita da safra 2022/2023.

Déficits em mm de plantios realizados no verão							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	312,71	84,84	94,28	37,86	10,90	6,15
Novembro	Novembro	338,24	82,84	85,90	32,56	7,13	3,64
Dezembro	Novembro	294,90	72,13	69,58	22,26	5,31	2,69
Janeiro	Dezembro	291,95	79,81	82,71	25,29	3,68	0,46
Fevereiro	Janeiro	255,44	79,02	74,66	28,37	6,16	1,54
Março	Fevereiro	287,85	91,20	94,41	39,60	10,09	2,84
Déficits em mm de plantios realizados em condições de contorno e inverno							
Plantio	Corte	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
				2	3	4	4,5
Abril	Março	376,38	102,96	128,69	57,77	17,08	6,75
Maio	Abril	432,68	116,98	156,33	72,58	23,47	9,77
Agosto	Novembro	500,34	142,64	149,31	66,44	19,31	9,95
Setembro	Novembro	459,59	122,62	135,06	56,42	14,23	7,20
Junho	Dezembro	644,70	151,13	198,77	81,73	22,45	11,24
Julho	Novembro	555,80	141,05	162,32	70,73	21,69	10,97

Fonte: Autora, 2024.

Para os sistemas de gotejo, com lâmina de 2 mm diárias, a média foi de 83,59 mm +/- 10,1 mm. Na lâmina de 3 mm diários de gotejo, a média foi de 30,99 mm +/- 6,9 mm. Na lâmina de 4 mm, os valores médios foram de 7,21 mm +/- 2,8 mm. Enquanto na lâmina de 4,5 mm, a média é de 2,89 mm +/- 1,9 mm, com o menor valor de déficit encontrado de 0,46 mm

(plantio em janeiro e corte em dezembro) e o maior valor de 6,15 mm (plantio em outubro e corte em outubro).

Nos cultivos manejados durante o inverno e em condições de contorno, os valores obtidos indicam que, no sistema de sequeiro, a média foi de 494,91 mm $\pm$ 95,2 mm, sendo o maior déficit de 644,70 mm (plantio em junho e corte em dezembro) e o menor déficit de 376,38 mm (plantio em abril e corte em março). No manejo linear, a média foi de 129,56 mm $\pm$ 18,3 mm. Para os sistemas de gotejo, na lâmina de 2 mm, a média foi de 155,08 mm $\pm$ 24,9 mm. Na lâmina de 3 mm diários, a média foi de 67,61 mm $\pm$ 9,6 mm. Na lâmina de 4 mm, a média foi de 19,71 mm $\pm$ 3,5 mm. Na lâmina de 4,5 mm, a média foi de 9,31 mm $\pm$ 1,9 mm, com o maior valor de déficit 11,24 mm (plantio em junho e corte em dezembro) e o menor de 6,75 mm (plantio em abril e corte em março).

5.6 Perda de produtividade (%) por déficit hídrico

A análise dos impactos causados pela restrição hídrica na cultura da cana-de-açúcar permite identificar os momentos mais sensíveis à disponibilidade de água. No sistema de sequeiro, nos manejos realizados durante o verão, o período de março a fevereiro da safra 2016/2017 (Tabela 12) apresentou a maior perda de produtividade, chegando a 83,99%. Observou-se também que, na mesma condição de manejo, ou seja, sequeiro, nos plantios realizados durante o inverno e condições de contorno, especialmente no plantio de maio e corte em abril e no plantio em abril com corte em março, os prejuízos foram exorbitantes, inviabilizando o cultivo.

Tabela 12. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2016/2017

Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - verão								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	13	45,42%	8,58%	14,46%	7,31%	2,87%	1,49%
Novembro	Novembro	13	40,90%	6,70%	9,57%	4,19%	1,73%	1,05%
Dezembro	Novembro	12	32,01%	5,50%	6,90%	2,80%	0,78%	0,46%
Janeiro	Dezembro	12	46,04%	7,84%	12,27%	5,93%	1,88%	0,60%
Fevereiro	Janeiro	12	62,12%	11,14%	17,61%	9,27%	3,84%	1,95%
Março	Fevereiro	12	83,99%	13,82%	23,22%	12,34%	5,62%	3,20%
Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - contorno e inverno								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Abril	Março	12	107,55%	16,19%	29,58%	15,81%	7,42%	4,49%
Maio	Abril	12	121,94%	18,95%	33,58%	18,71%	9,20%	5,62%
Agosto	Novembro	16	60,61%	11,67%	18,96%	10,33%	4,89%	2,93%
Setembro	Novembro	15	56,49%	9,90%	16,10%	8,51%	3,53%	1,67%
Junho	Dezembro	18	65,63%	13,60%	22,86%	12,44%	5,89%	3,52%
Julho	Novembro	17	63,44%	13,12%	21,75%	12,14%	5,76%	3,49%

Fonte: Autora, 2024.

No sistema de deslocamento linear, as perdas de produtividade devido à disponibilidade hídrica foram drasticamente reduzidas. Nos cultivos realizados durante o verão a maior perda foi de 13,82% (plantio realizado em março e corte em fevereiro). Nos sistemas de gotejo, a lâmina que distribui 2 mm diários propiciou a maior perda (23,22% no plantio realizado em março e corte em fevereiro). Na lâmina de 3 mm diários de gotejo, a maior perda foi de 12,34% (plantio realizado em março e corte em fevereiro). Nesse viés, as lâminas de 4 e 4,5 mm de gotejo as maiores perdas de produtividade, sendo de 5,62 e 3,20% respectivamente, no plantio realizado em março e corte em fevereiro.

Nos cultivos realizados durante o inverno e em condições de contorno, o sistema linear apresentou o maior déficit de 18,95% (plantio realizado em maio e corte em abril). Nos sistemas irrigados por gotejo, nas lâminas de 2, 3, 4 e 4,5 mm, as maiores perdas foram de 33,58%, 18,17%, 9,20% e 5,62%, respectivamente, no cultivo em que o plantio é realizado em maio e o corte em abril.

Na safra 2017/2018 (Tabela 13), os impactos causados pelo déficit hídrico indicam uma perda de 34,83% no cultivo de sequeiro para o plantio realizado em janeiro e corte em dezembro das plantas cultivadas durante o verão. Para as plantas cultivadas durante o inverno e em condições de contorno, o maior valor de déficit foi encontrado no plantio realizado em

junho e corte em dezembro, com uma perda de 44,09%. No sistema de deslocamento linear, as perdas de produtividade no verão foram de 7,52% (plantio realizado em março e corte em fevereiro) e de 10,26% (plantio realizado em maio e corte em abril) para as condições de contorno e inverno.

Tabela 13. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2017/2018

Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - verão								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	13	31,01%	6,40%	5,54%	2,32%	0,93%	0,58%
Novembro	Novembro	13	31,79%	5,85%	7,05%	2,81%	0,75%	0,35%
Dezembro	Novembro	12	30,46%	5,22%	7,29%	2,82%	0,72%	0,33%
Janeiro	Dezembro	12	34,83%	6,35%	9,40%	4,01%	1,03%	0,38%
Fevereiro	Janeiro	12	24,39%	5,53%	7,94%	3,50%	0,93%	0,31%
Março	Fevereiro	12	27,83%	7,52%	10,51%	5,33%	1,96%	1,08%
Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - contorno e inverno								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Abril	Março	12	32,87%	9,07%	12,66%	6,80%	2,80%	1,71%
Maio	Abril	12	36,70%	10,26%	13,89%	7,55%	3,24%	2,01%
Agosto	Novembro	16	42,16%	7,82%	10,58%	4,82%	1,87%	1,14%
Setembro	Novembro	15	38,90%	7,01%	8,64%	3,52%	1,22%	0,71%
Junho	Dezembro	18	44,09%	8,85%	12,51%	5,88%	2,36%	1,41%
Julho	Novembro	17	43,30%	8,19%	11,70%	5,52%	2,38%	1,47%

Fonte: Autora, 2024.

Nesse sentido, as lâminas de 2, 3, 4 e 4,5 mm nos plantios de verão apresentaram os maiores valores de perdas de 10,51%, 5,33%, 1,96% e 1,08% respectivamente, todos correspondendo ao plantio realizado em março com corte em fevereiro. Para o período de inverno e condições de contorno, os maiores valores de perda obtidos foram 13,89%, 7,55%, 3,24% e 2,01% respectivamente, todos correspondendo ao plantio realizado em maio com corte em abril.

Na safra 2018/2019 (Tabela 14), as perdas de produtividade relacionadas ao déficit hídrico indicam que, no cultivo de sequeiro, para as plantas cultivadas durante o verão, a maior perda encontrada foi de 47,71% (plantio realizado em março e corte em fevereiro). Enquanto no cultivo de inverno e condições de contorno, o maior valor obtido foi de 65,29% (plantio realizado em maio e corte em abril). No sistema de deslocamento linear, os maiores valores obtidos foram de 9,48% durante o verão (plantio realizado em março e corte em fevereiro) e

de 10,86% durante o inverno e em condições de contorno (plantio realizado em maio e corte em abril).

Tabela 14. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2018/2019.

Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - verão								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	13	30,20%	5,14%	4,81%	2,14%	0,77%	0,37%
Novembro	Novembro	13	31,14%	5,23%	6,78%	2,57%	0,67%	0,29%
Dezembro	Novembro	12	31,41%	4,80%	6,71%	2,33%	0,41%	0,16%
Janeiro	Dezembro	12	38,02%	6,70%	10,42%	4,30%	0,95%	0,17%
Fevereiro	Janeiro	12	41,52%	8,10%	11,95%	5,83%	2,12%	1,08%
Março	Fevereiro	12	47,71%	9,48%	13,91%	6,99%	2,81%	1,49%
Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - contorno e inverno								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Abril	Março	12	59,42%	10,39%	16,11%	7,97%	3,23%	1,72%
Maio	Abril	12	65,26%	10,86%	17,33%	8,62%	3,52%	1,85%
Agosto	Novembro	16	45,87%	6,39%	8,67%	3,07%	0,93%	0,47%
Setembro	Novembro	15	24,78%	5,10%	6,11%	2,71%	0,83%	0,41%
Junho	Dezembro	18	54,86%	7,91%	13,62%	5,95%	1,88%	0,91%
Julho	Novembro	17	48,90%	7,37%	10,89%	4,60%	1,36%	0,68%

Fonte: Autora, 2024.

Para os cultivos irrigados por gotejo nas lâminas de 2, 3, 4 e 4,5 mm, durante o verão, os maiores valores de perdas de produtividade em razão da disponibilidade hídrica foram de 9,48%, 13,91%, 6,99%, 2,81% e 1,49%, respectivamente, correspondendo ao plantio realizado em março e corte em fevereiro. Para o cultivo realizado durante o inverno e em condições de contorno, os maiores valores obtidos foram 10,86%, 17,33%, 8,62%, 3,52% e 1,85% para as lâminas de 2, 3, 4 e 4,5 mm, respectivamente, correspondendo ao plantio realizado em maio e corte em abril.

Durante a safra 2019/2020 (Tabela 15), as perdas de produtividade em razão da disponibilidade hídrica indicam que cultivos manejados sem irrigação, ou seja, em sequeiro, durante o verão, obtiveram perdas de até 56,52% para o plantio realizado em março e corte em fevereiro, e durante o inverno e em condições de contorno, de até 74,05% no plantio realizado em maio e corte em abril. Nesse sentido, no manejo irrigado por sistema de deslocamento linear, a maior perda apresentou o valor de 10,80% no plantio realizado em março e corte em fevereiro, e nas condições de contorno e inverno, de 15,64% no plantio realizado em maio e corte em abril.

Tabela 15. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2019/2020.

Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - verão								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	13	34,76%	6,67%	8,12%	3,68%	1,36%	0,81%
Novembro	Novembro	13	31,19%	5,17%	5,69%	2,07%	0,58%	0,32%
Dezembro	Novembro	12	23,25%	4,03%	4,57%	1,82%	0,52%	0,26%
Janeiro	Dezembro	12	26,40%	4,52%	7,09%	2,61%	0,63%	0,21%
Fevereiro	Janeiro	12	50,32%	8,81%	15,54%	7,35%	2,41%	0,99%
Março	Fevereiro	12	56,52%	10,80%	19,29%	9,85%	4,07%	1,97%
Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - contorno e inverno								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Abril	Março	12	66,47%	13,32%	22,93%	12,35%	5,61%	3,12%
Maio	Abril	12	74,05%	15,64%	25,53%	14,12%	6,71%	3,96%
Agosto	Novembro	16	47,39%	8,96%	14,11%	7,30%	2,97%	1,61%
Setembro	Novembro	15	43,63%	7,37%	11,30%	5,15%	1,70%	0,95%
Junho	Dezembro	18	55,56%	10,76%	17,28%	9,05%	3,99%	2,33%
Julho	Novembro	17	50,38%	10,18%	16,22%	8,70%	3,93%	2,36%

Fonte: Autora, 2024.

Para os cultivos que são irrigados por gotejo nas lâminas de 2, 3, 4 e 4,5 mm, no verão, as perdas de produtividade foram de 10,80%, 19,29%, 9,85%, 4,07% e 1,97% respectivamente, correspondendo ao período de plantio realizado em março com corte em fevereiro. Durante o inverno e condições de contorno, o plantio realizado em maio com corte em abril apresentou os maiores valores de déficit de 25,53%, 14,12%, 6,71% e 3,96% para as lâminas de 2, 3, 4 e 4,5 mm, respectivamente.

No período que compreende a safra 2020/2021 (Tabela 16), as perdas de produtividade no cultivo de sequeiro durante o verão alcançaram o seu maior índice de 45,81%, correspondente ao plantio realizado em março com corte em fevereiro. Para o cultivo de sequeiro durante o inverno e condições de contorno, o maior valor de perda obtido foi de 65,84%, correspondente ao plantio realizado em maio e corte em abril. No sistema de deslocamento linear, durante o verão, o maior valor de perda apresentou o valor de 8,32% também correspondente ao período de plantio em março e corte em fevereiro. Já para o cultivo de inverno e em condições de contorno, o maior valor de perda foi de 10,68%, que correspondente ao plantio realizado em maio e corte em abril.

Tabela 16. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2020/2021.

Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - verão								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	13	29,82%	5,06%	7,26%	2,69%	0,90%	0,53%
Novembro	Novembro	13	28,17%	4,92%	5,49%	2,16%	0,60%	0,35%
Dezembro	Novembro	12	23,59%	3,92%	4,41%	1,48%	0,49%	0,27%
Janeiro	Dezembro	12	28,31%	5,05%	8,12%	3,32%	0,91%	0,38%
Fevereiro	Janeiro	12	34,97%	6,18%	10,88%	4,67%	1,39%	0,62%
Março	Fevereiro	12	45,81%	8,32%	13,94%	6,68%	2,30%	1,03%
Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - contorno e inverno								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Abril	Março	12	58,26%	9,81%	17,27%	8,41%	3,21%	1,42%
Mai	Abril	12	65,64%	10,68%	20,11%	9,73%	3,86%	1,76%
Agosto	Novembro	16	43,06%	6,65%	11,62%	4,48%	1,43%	0,73%
Setembro	Novembro	15	39,58%	6,07%	9,00%	3,59%	0,99%	0,51%
Junho	Dezembro	18	47,21%	8,24%	14,40%	6,70%	2,27%	1,00%
Julho	Novembro	17	45,62%	7,70%	13,61%	6,17%	1,84%	0,82%

Fonte: Autora, 2024.

Para os cultivos irrigados por gotejo nas lâminas de 2, 3, 4 e 4,5 mm, durante o verão, os maiores valores de perdas de produtividade relacionadas à disponibilidade hídrica foram de 13,94%, 6,68%, 2,30% e 1,03% respectivamente, correspondendo ao plantio realizado em março com corte em fevereiro. Já para os cultivos manejados durante o inverno e em condições de contorno, os maiores valores de perdas obtidos para os sistemas irrigados por gotejo foram de 10,68%, 20,11%, 9,73%, 3,86% e 1,76%, correspondendo ao plantio realizado em maio e corte em abril.

Durante a safra 2021/2022 (Tabela 17), as perdas de produtividade relacionadas à disponibilidade hídrica durante o verão, no cultivo de sequeiro, chegaram a até 36,01% (plantio em março e corte em fevereiro). Já para o cultivo de inverno e em condições de contorno, o maior índice de perda obtido no cultivo de sequeiro foi de 47,52% (plantio realizado em maio e corte em abril). No sistema de deslocamento linear o maior valor obtido de perda de produtividade durante o verão foi de 7,08%, correspondente ao período de plantio realizado em março e corte em fevereiro. Para o cultivo de inverno e em condições de contorno, o maior valor foi de 11,18% (plantio realizado em maio e corte em abril).

Tabela 17. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2021/2022.

Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - verão								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	13	24,14%	5,81%	6,25%	3,40%	1,74%	1,18%
Novembro	Novembro	13	17,37%	5,09%	5,34%	2,82%	1,42%	0,98%
Dezembro	Novembro	12	13,27%	3,38%	3,84%	1,63%	0,52%	0,28%
Janeiro	Dezembro	12	12,19%	3,43%	2,99%	1,06%	0,22%	0,05%
Fevereiro	Janeiro	12	26,22%	4,96%	7,81%	3,62%	1,09%	0,50%
Março	Fevereiro	12	36,01%	7,08%	10,61%	5,40%	1,90%	1,06%
Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - contorno e inverno								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Abril	Março	12	42,61%	9,30%	13,02%	6,91%	2,71%	1,59%
Maio	Abril	12	47,52%	11,18%	15,12%	8,10%	3,48%	2,13%
Agosto	Novembro	16	30,09%	7,21%	9,05%	4,70%	2,08%	1,25%
Setembro	Novembro	15	26,33%	6,02%	7,16%	3,40%	1,63%	1,08%
Junho	Dezembro	18	31,74%	8,13%	10,84%	5,75%	2,55%	1,66%
Julho	Novembro	17	32,16%	7,98%	10,79%	5,51%	2,70%	1,77%

Fonte: Autora, 2024.

Nos cultivos irrigados por gotejo, nas lâminas de 2, 3, 4 e 4,5 mm diários, durante o verão, os maiores valores de déficit obtidos foram de 10,61% 5,40% 1,90% e 1,06%, respectivamente, correspondendo ao período de plantio em março e corte em fevereiro. Já para os cultivos de inverno e em condições de contorno, os maiores valores foram de 11,18% 15,12%, 8,10%, 3,48% e 2,13%, respectivamente correspondendo ao período de plantio realizado em maio e corte em abril.

Ao analisar as perdas de produtividade da safra 2022/2023 (Tabela 18), observa-se que, durante o ciclo de verão, no cultivo de sequeiro, a maior perda obtida foi de 20,04%, correspondente ao período com plantio realizado em novembro e corte em novembro. Já para o cultivo de inverno e em condições de contorno, verificou-se que a maior perda no cultivo de sequeiro foi de 29,08%, referente ao plantio realizado em maio e corte em abril. No sistema de deslocamento linear, nota-se que a maior perda durante o verão foi de 4,79%, observada no ciclo com plantio realizado em março e corte em fevereiro. Para o cultivo de inverno e condições de contorno, a maior perda foi de 5,81%, correspondente ao período com plantio realizado em maio e corte em abril.

Tabela 18. Perda de produtividade em porcentagem relacionada ao déficit hídrico nos manejos de verão, inverno e condições de contorno para a safra 2022/2023.

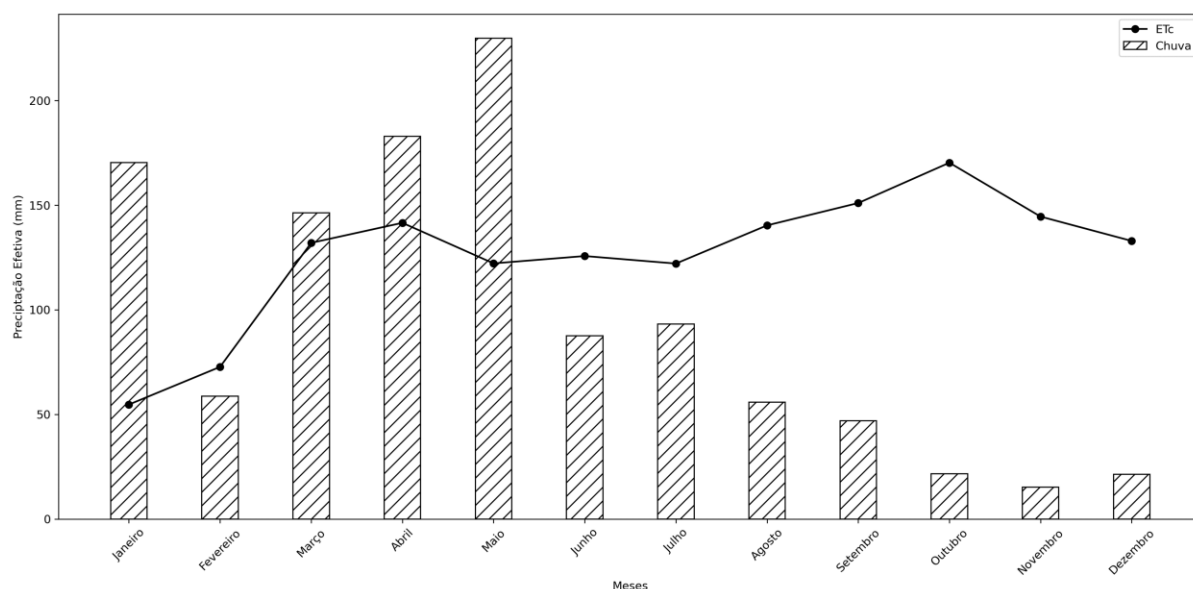
Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - verão								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	13	17,89%	3,99%	4,46%	1,72%	0,48%	0,27%
Novembro	Novembro	13	20,04%	3,92%	4,07%	1,48%	0,32%	0,16%
Dezembro	Novembro	12	19,01%	3,75%	3,61%	1,11%	0,26%	0,13%
Janeiro	Dezembro	12	18,84%	4,19%	4,36%	1,27%	0,18%	0,02%
Fevereiro	Janeiro	12	15,73%	4,12%	3,88%	1,42%	0,30%	0,08%
Março	Fevereiro	12	18,26%	4,79%	4,97%	1,99%	0,49%	0,14%
Perda de produtividade (%) por déficit hídrico - contorno e inverno								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Abril	Março	12	24,97%	5,24%	6,70%	2,83%	0,81%	0,32%
Maio	Abril	12	29,08%	5,81%	8,02%	3,48%	1,08%	0,45%
Agosto	Novembro	16	24,67%	5,44%	5,71%	2,41%	0,68%	0,35%
Setembro	Novembro	15	24,17%	4,98%	5,53%	2,19%	0,54%	0,27%
Junho	Dezembro	18	27,84%	4,82%	6,50%	2,51%	0,67%	0,33%
Julho	Novembro	17	26,30%	5,03%	5,86%	2,42%	0,72%	0,36%

Fonte: Autora, 2024.

Nos cultivos irrigados por gotejamento, com de lâminas de 2, 3, 4 mm diários, observou-se que, durante o cultivo de verão, os maiores valores de perda de produtividade foram de 4,79%, 4,97% 1,99% e 0,49%, respectivamente, correspondendo ao plantio realizado em março e corte em fevereiro. No entanto, para a lâmina de 4,5 mm diários, o maior valor obtido foi de 0,27%, referente ao período com plantio em outubro e corte em outubro. Já nos cultivos conduzidos durante o inverno e em condições de contorno, os maiores índices de perda foram de 8,02%, 3,48%, 1,08% e 0,45%, também correspondentes ao plantio realizado em maio e corte em abril.

Devido às características contrastantes de disponibilidade hídrica, foram selecionadas as safras 2016/2017 (ano muito seco) e 2022/2023 (ano úmido). Nesse sentindo, durante a safra 2016/2017, registrou-se a ocorrência do fenômeno El Niño, o qual influenciou diretamente nos valores elevados de déficit hídrico e de perdas de produtividade relacionadas à demanda hídrica da cultura. Nesse período, observou-se menor precipitação e maior demanda evaporativa (Figura 3), resultando em estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar (BRASIL, 2016).

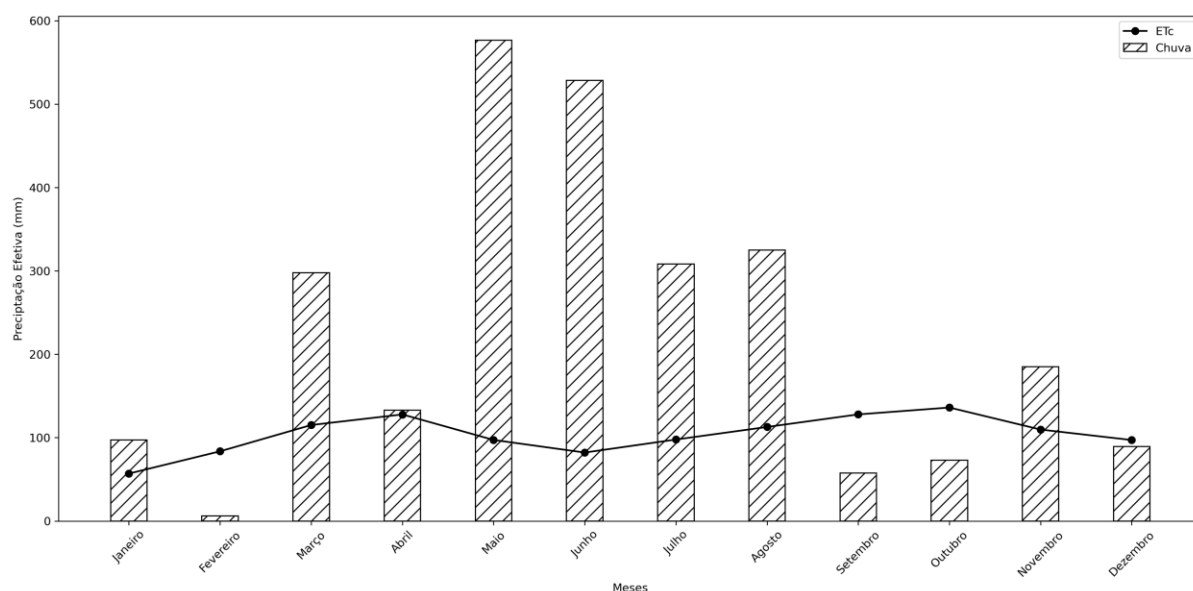
Figura 3. Precipitação efetiva e evapotranspiração da cultura (ET_c) para cultura da cana-de-açúcar na safra 2016/2017, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.



Fonte: Autora, 2024.

Em contrapartida, a safra 2022/2023 (Figura 4) foi marcada pela incidência do fenômeno La Niña, cujos efeitos resultaram em um regime hídrico mais favorável, proporcionando maior disponibilidade de água ao longo de todo o ciclo da cultura (BRASIL, 2023). Nesse viés, foram favorecidas as funções fisiológicas e ecológicas da planta, incluindo o alongamento das células meristemáticas e a sustentação dos tecidos ou órgãos por meio da turgência das células adultas (TAIZ & ZEIGER, 2017).

Figura 4. Precipitação efetiva e evapotranspiração da cultura (ET_c) para cultura da cana-de-açúcar na safra 2022/2023, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

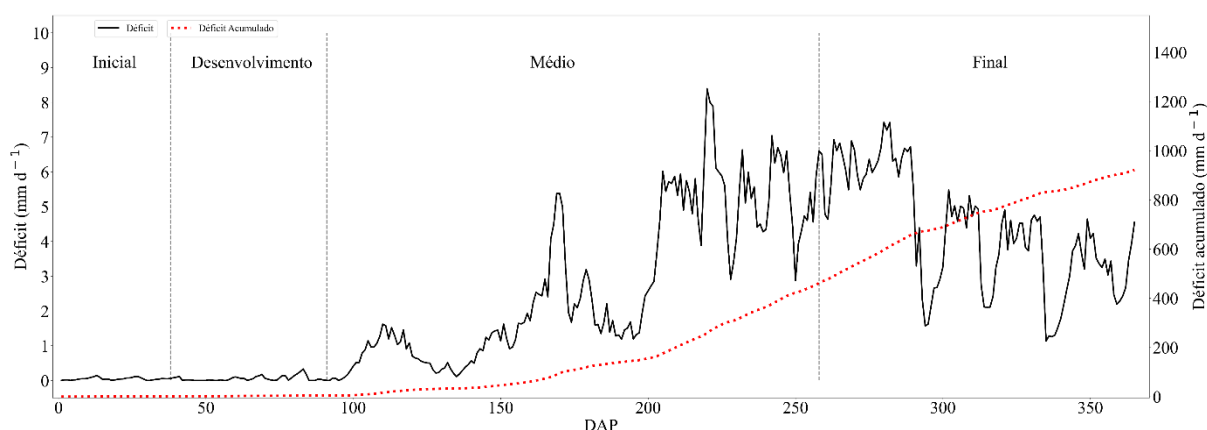


Fonte: Autora, 2024.

A variação da disponibilidade de água ao longo do ciclo da cultura é apresentada nas figuras 5 e 6, para as safras 2016/2017 e 2022/2023, respectivamente, de acordo com as fases do coeficiente da cultura (K_c). Durante a fase inicial, o valor do K_c é menor, desse modo, a demanda hídrica da cultura é reduzida quando comparada com as demais fases. No K_c de desenvolvimento e no médio, à medida que a cultura cresce, sua demanda hídrica aumenta, o que resulta em déficits quando a cultura não é suprida por precipitação ou irrigação. Na fase final, o K_c diminui, reduzindo a demanda hídrica.

A Figura 4 apresenta o déficit hídrico diário e acumulado, dividido ao longo das fases do K_c , conforme o método FAO 56 para a cultura da cana-de-açúcar. Nesse sentido, observou-se que o déficit diário oscila em função da demanda hídrica e atmosférica.

Figura 5. Déficit hídrico diário e acumulado para cultura da cana-de-açúcar na safra 2016/2017, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

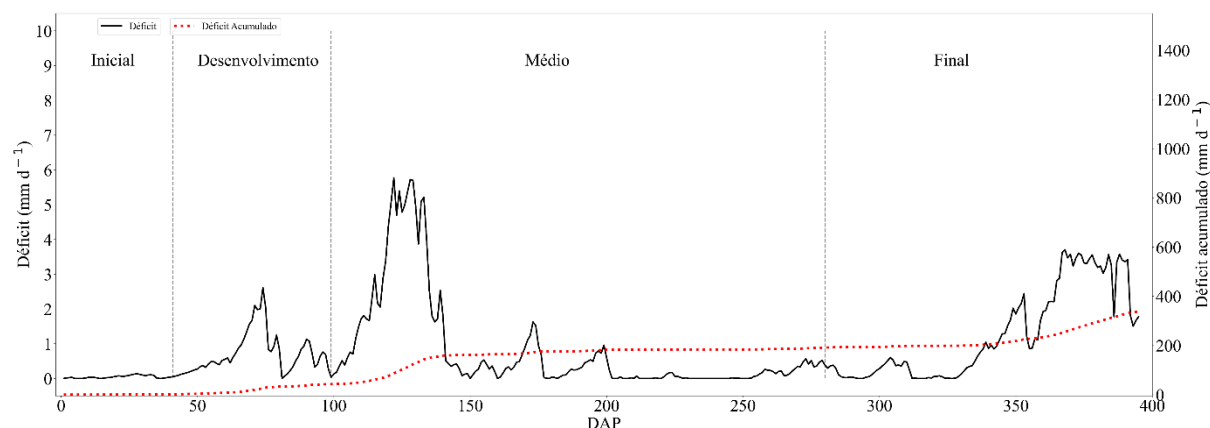


Fonte: Autora, 2024.

Na safra 2016/2017 notou-se que o período que corresponde à fase de crescimento intermediário (K_c médio) apresentou índices elevados de déficit acumulado (169,43 mm). Isso ocorre devido ao crescimento vegetativo exigir maior demanda por água, em razão do aumento da área foliar da taxa de transpiração. Nesse viés, quando não é realizada a reposição hídrica, a planta pode enfrentar restrições no alongamento dos colmos, o que impacta diretamente no acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, na produtividade final. Nesse sentido, em seus estudos, Silva e seus colaboradores (2012) afirmam que o momento em que ocorre a reposição hídrica sujeita-se não só à fase de crescimento, como também às condições meteorológicas.

Apesar de, na fase final do coeficiente da cultura, a cultura entrar em fase de maturação e ocorrer atividade vegetativa reduzida, foram observados índices diários elevados de déficit hídrico, que podem comprometer a produtividade e qualidade final da cultura.

Figura 6. Déficit hídrico diário e acumulado para cultura da cana-de-açúcar na safra 2022/2023, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.



Fonte: Autora, 2024.

Na safra 2022/2023, os níveis de déficits hídricos durante a fase inicial de desenvolvimento podem não causar impactos significativos na produtividade final da cultura. Ademais, déficits moderados nesse período podem estimular o crescimento radicular mais profundo, o que favorece a absorção de água e nutrientes. Quando o déficit ocorre no início da fase do K_c médio, déficits leves podem ser tolerados sem grandes prejuízos para o acúmulo de biomassa e potencial produtivo da cultura.

Dependendo da infraestrutura da empresa e das médias de perdas observadas, observou-se variação destas em função do período de cultivo e do sistema de manejo adotado, evidenciando a importância de um planejamento estratégico para maximizar o rendimento da cultura (tabela 19):

Tabela 19. Médias das perdas de produtividade das safras estudadas.

Média da perda de produtividade (%) por déficit hídrico - verão								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Outubro	Outubro	13	30,46%	5,95%	7,27%	3,32%	1,29%	0,75%
Novembro	Novembro	13	28,66%	5,27%	6,28%	2,59%	0,87%	0,50%
Dezembro	Novembro	12	24,71%	4,37%	5,33%	2,00%	0,53%	0,27%
Janeiro	Dezembro	12	29,23%	5,44%	7,81%	3,21%	0,83%	0,26%
Fevereiro	Janeiro	12	36,47%	6,98%	10,80%	5,09%	1,73%	0,79%
Março	Fevereiro	12	45,16%	8,83%	13,78%	6,94%	2,74%	1,42%

Média da perda de produtividade (%) por déficit hídrico - contorno e inverno								
Manejo		Meses	Sequeiro	Linear	Gotejo (mm)			
Plantio	Corte				2	3	4	4,5
Abril	Março	12	56,02%	10,48%	16,90%	8,73%	3,68%	2,05%
Maio	Abril	12	62,88%	11,91%	19,08%	10,04%	4,44%	2,54%
Agosto	Novembro	16	41,98%	7,73%	11,24%	5,30%	2,12%	1,21%
Setembro	Novembro	15	36,27%	6,63%	9,12%	4,15%	1,49%	0,80%
Junho	Dezembro	18	46,70%	8,90%	14,00%	6,90%	2,80%	1,59%
Julho	Novembro	17	44,30%	8,51%	12,97%	6,44%	2,67%	1,56%

Fonte: Autora, 2024.

Ao analisar as médias, notou-se que os plantios e cortes realizados no verão, de modo geral, apresentaram perdas menores em comparação aos cortes realizados no inverno e em condições de contorno, o que pode estar associado a melhores condições climáticas para o desenvolvimento da cultura. Dessa forma, a definição da melhor estratégia deve considerar o calendário de plantio e corte e a capacidade de operacional da empresa. Esse planejamento pode resultar em maior eficiência e aumento da rentabilidade econômica.

6. CONCLUSÕES

O estudo dos déficits hídricos médios ao longo das safras de 2016 até 2023 permitiu determinar as épocas de plantio e corte associadas aos maiores e menores impactos na produtividade da cana-de-açúcar, considerando diferentes regimes de reposição hídrica. No cultivo de verão, os plantios realizados em março, com corte em fevereiro, evidenciaram os maiores valores médios de déficit hídrico. Por sua vez, as menores perdas foram verificadas entre dezembro e novembro, com exceção do manejo por gotejamento de 4,5 mm, em que o menor déficit foi registrado no plantio iniciado em janeiro, com corte em dezembro.

No cultivo de inverno, os plantios realizados em maio, com corte em abril, destacaram-se por apresentarem as maiores perdas de produtividade média ao longo das safras analisadas. Nessa perspectiva, as menores perdas foram registradas no plantio realizado em setembro, com corte em novembro, destacando-se a importância de estratégias de manejo hídrico sobre a cultura.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. L.; SILVA, M. A.; TEODORO, I.; HOLANDA, L. A.; SAMPAIO NETO, G. D. **Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas**. *Bragantia*, Campinas, v. 72, n. 3, p. 262-270, 2013. DOI: [10.1590/brag.2013.028](https://doi.org/10.1590/brag.2013.028).
- ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, U. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.42-55.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO.1998. 300p. (FAO. Irrigation end Drainage Paper, 56).
- AMARO, Rafaella Pironato. Estimativa de produtividade da cana-de-açúcar a partir de imagens do satélite Sentinel-2A e o algoritmo de aprendizagem de máquina Random Forest. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-02102023-163947/pt-br.php>. Acesso em: 08 jan. 2025.
- ANDRADE, C. L. T.; AMARAL, T. A.; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; HEINEMANN, A. B.; GARCIA E GARCIA, A.; TOJO-SOLER, C. M.; SILVA, D. F.; HICKMANN, C.; SANTANA, C. B.; MOURA, B. F.; CASTRO, L. A. **Modelagem do crescimento de culturas: aplicações à cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 65 p. (Documentos/Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 91).
- BALANSIN, A.; OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.; BOTTEGA, E. L. **Recomendação da necessidade de supervisão para a cultura da soja utilizando intervalos de balanço hídrico observados e ferramentas de simulação**. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, pág. 16 a 01 de 2024. DOI: 10.34117/bjdv10n6-023.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8 ed., Viçosa: Ed. UFV, 2006.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005
- BLACKBURN, F. **Sugarcane**. London: Longman House, 1984. 414 p.
- BRAIBANTE, M.E.F. A Cana-de-Açúcar no Brasil sob um olhar químico e histórico: uma abordagem interdisciplinar. *Química Nova na Escola*, v. 35, n. 1, p. 3-10, 2013.
- CAMARGO, P.B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes ureia (¹⁵N) e aquamônia (¹⁵N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar**. 1989. 104 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

- CAPUTO, M.M.; BEAUCLAIR, E. G. F.; SILVA, M. A.; PIEDADE, S.M.S. **Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação**. Bragantia, Campinas v. 67, n.1, p. 15-23, 2008.
- CARVALHO, A. L.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; PORFIRIO, A. C. S. **Ocorrência de períodos secos na região de Rio Largo, Alagoas**. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 173-180, 2013.
- CARVALHO, J. F.; JESUS, C. G.; ALMEIDA, G. L. P.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, Ê. F. F. **Utilização de diferentes métodos para determinação do balanço hídrico da cultura do repolho no semiárido de Pernambuco**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 24, n. 3, p. e003, 2020. DOI: 10.34188/bjaerv3n4-003.
- COCK, J.H.; ALVAREZ, D.M.; ESTRADA, M. RASTA. **Rapid soil and terrain assessment; guía práctica para la caracterización del suelo y del terreno**. Versión 2. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical; Corporación Biotec; La Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- CONAB. Companhia Nacional De Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. V.11 – safra 2023/2024, nº3 – Terceiro Levantamento, novembro 2023.
- CORRÊA, W.; CARVALHO, M. W. L.; MENDES, T. J. **Atualização da classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado do Maranhão**. Revista Brasileira De Climatologia, v. 32, p. 517–543, 2023. <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16727>
- CRUZ, Pedro Gomes da; SANTOS, Patrícia Menezes; PEZZOPANE, José Ricardo Macedo; OLIVEIRA, Patrícia Perondi Anchão; ARAÚJO, Leandro Coelho de. **Modelos empíricos para estimar o acúmulo de matéria seca de capim-marandu com variáveis agrometeorológicas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 7, pág. 675-681, jul. 2011.
- DANIELS, J.; ROACH, B.T. Taxonomy and evolution. In: HEINZ, D. J. (Ed.) **Sugarcane improvement through breeding**, Amsterdam: Elsevier, v.11, p.7-48, 1987 (chapter 2).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB. 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- EL SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H. Response of cassava to water stress. **Plant and Soil**, The Hague, v.100, p.345-360,1987
- GOMES, A.W.A.; SAAD, J.C.C.; BARROS, A.C. **Simulação da produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) na região nordeste do Brasil, utilizando o modelo DSSAT**. Irriga, Botucatu, v. 19, n. 1, p. 160-173, janeiro-março, 2014. DOI:<http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2014v19n1p160>
- INMAN-BAMBER, N.G., SMITH, D.M. **Water relations in sugarcane and response to water defi cits**. Field Crops Research, v.92, p.185-202, 2005.
- LUZ, G. G.; GALVINCIO, J. D. **Balanço hídrico superficial da bacia hidrográfica do riacho Milagres-PE, utilizando o SUPer**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 02, pág. 1094-1107, 2022.

LYRA, G.B; PEREIRA, A.R.; SEDIYAMA, G.C.; MAIA, S.M.F. **Evapotranspiração da Cultura da Cana-de-açúcar na Região de Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas: Coeficiente da Cultura “Dual” Padrão Boletim FAO-56**. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil STAB, v. 25, n. 5, 2007.

MALAVOLTA, E. **Fertilizing for high yield sugarcane: nutrient and fertilizer management in sugarcane**. Basel: I.P.I., 1994. 104 p. (Bulletin, 14).

MARCHIORI, P.E.R **Variação da fotossíntese no dossel de variedades de cana-de-açúcar**. 2009. 70 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2009.

MATTOS, Eduardo de Castro; TOMÉ, Thaís Catarina Henriques; MENILLO, Rafael Braghieri; MARIN, Fábio Ricardo. Simulação de condições climáticas futuras sobre o efeito da irrigação na produtividade da cana-de-açúcar no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura** , v. 96, n. 2, pág. 446-470, 2021. DOI: 10.37856/bja.v96i2.4250.

MINELLA, A. Martins; ALVALÁ, RCS; TOMASELLA, J. **Modelos de produtividade agrícola aplicados à agricultura de sequeiro: limitações e vantagens para avaliação de colapso de safras**. Agropecuária Científica no Semiárido (ACSA), v. 4, pág. 41-48, out./dez. 2014.

MIRALLES, D.G.; BRUTSAERT, W.; DOLMAN, A.J.; GASH, J.H. **On the use of the term ‘Evapotranspiration’**. Water Resources Research, 2020.

MOHANRAJ, K.; HEMAPRABHA, S.; VASANTHA, S. **Biomass yield, dry matter partitioning and physiology of commercial and Erianthus introgressed sugarcane clones under contrasting water regimes**. Agricultural Water Management, v.255, p. 1-8, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107035>

NERY, J. T.; MARTINS, M. de L. O. F.; SANT'ANA, J. L. N. **Variabilidade da precipitação no Brasil Meridional**. Acta Scientiarum, Maringá, v. 24, n. 6, p.1687-1995, 2002.

OLIVEIRA, D. L. SOUZA, V. C. B.; FRAGOSO JÚNIOR, C. R. **Análise hidrológica da cheia excepcional ocorrida em junho de 2010 nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio em Alagoas e Pernambuco**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 3, p. 279-293, jul./set. 2014.

OLIVEIRA, L. P. M.; SANTOS SILVA, F. D.; COSTA, R. L.; ROCHA JÚNIOR, R. L.; GOMES, H. B.; PEREIRA, M. P. S.; MONTEIRO, L. A.; SILVA, V. P. R. **Impacto das mudanças climáticas na produtividade da cana-de-açúcar em Maceió**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, p. 969-980, 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbmet/a/wCpyPYG7fBZXgqmHM8n9tJH/>>. Acesso em: 08 jan. 2025.

OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, R. S. ; RIBEIRO, A.; ZOLNIER, S.; BARBOSA, M. H. P. **Estimativa da produtividade da cana-de-açúcar para as principais regiões produtoras de Minas Gerais usando-se o método ZAE1**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 5, p. 549-557, 2012.

- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária, 478 p., 2002.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Meteorologia Agrícola**. Piracicaba: ESALQ, 2007.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Meteorologia Agrícola**. Piracicaba: ESALQ, 2007.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, p. 191, 2004.
- RAMESH, P. **Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane**. Journal of Agronomy and Crop Science, v.185, p.83-89, 2000.
- REDAE, M. H.; AMBAYE, T. G. **In Vitro propagation of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) variety C86-165 through apical meristem**. Biocatalysis and agricultural biotechnology, v. 14, p. 228-234, 2018.
- REIS, L.G.M; SILVA JÚNIOR, O.B.; PEDROSA, V.A. **Análise da cheia de agosto de 2000 no Rio Mundaú em Alagoas**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 5., 2000, Natal. Anais do Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Porto Alegre: ABRH, 2000. p. 729-740.
- SCHWARTZ, S.B. **Segredos internos: engenhos e escravos na sociedade colonial**. Trad. L. T. Motta. São Paulo: Companhia das Letras, 1988.
- SILVA, A. B. da. **Resposta da cana-de-açúcar irrigada sob diferentes níveis de adubação**. Dissertação Mestrado. Campina Grande: UFCG, p. 61, 2002.
- SILVA, A. D. G.; SANTOS, A. L. B.; SANTOS, J. M.; LUCENA, R. L. **Balanço hídrico climatológico e classificação climática do estado do Rio Grande do Norte**. Revista Brasileira De Climatologia, v. 30, p. 798–816, 2022.
<https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.15240>
- SILVA, T. G. F. et al. **Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 1, pág. 64-71, 2012.
- SILVA, V. de P.R. da; et al. **Medições e modelagem da pegada hídrica da cana-de-açúcar cultivada no Estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, p. 521-526, 2015.
- SMITH, J.P.; INMAN-BAMBER, N.G.; THORBURN, P.J. **Growth and function of the sugarcane root system**. Fiel Crops Research, Amsterdam, v.92, p.169-1832, 2005.
- SOBRINHO, O. P. L.; SILVA, G. S.; PEREIRA, Á. I. S.; SOUSA, A. B.; CASTRO JÚNIOR, W. L.; SANTOS, L. N. S. **A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e o manejo da irrigação**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá, v. 12, n. 4, p. 1605-1625, 2019. DOI: 10.17765/2176-9168.2019v12n4p1605-1625.
- TAIZ, L; ZEIGER, E; MOLLER, I. M; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TRENTIN, R.; LAURENT, F.; ROBAINA, L. E. S. **Vazão e Balanço Hídrico Relacionado a Mudanças no Uso da Terra em uma Bacia Hidrográfica de Médio Porte no Bioma Pampa do Brasil**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2023, 16(2), pp.873-893. DOI:10.26848/rbgf.v16.2.p873-893.

TRIVELIN, P.C.O; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W., GAVA, G.J.C.; SARRIÉS, G.A. **Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, p.637-646, 2002.

VASCONCELOS, A.C.M. **Comportamentos de clones IAC e variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) nas condições edafoclimáticas da região do Vale do Paranapanema**. 1998. 108 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1998.

VIDAL, M.F. **Açúcar: cenário mundial e situação de produção no Brasil e no nordeste brasileiro**. Caderno Setorial ETENE. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n. 162, 2021.

VILLA, B. de; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D.; TONETTO, F.; TOKURA, L. K.; MOURA, M. B. de; SILVA, C. M. da; GONÇALVES, A. F.; CERVEIRA, M. P.; SLIM, J. E.; SANTOS, M. S. dos; BELLÉ, M. G.; JIMENEZ, D. H. **Balanço hídrico climatológico: uma revisão**. *Research, Society and Development, [S. l.]*, v. 11, n. 6, p. e50211626669, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.26669. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26669>. Acesso em: 6 jan. 2025.

ZHANG, J.; ZHANG, X.; TANG, H.; ZHANG, Q.; HUA, X.; MA, X. et al. **Allele-defined genome of the autopolyploid sugarcane *Saccharum spontaneum* L.** *Nature genetics*, v. 50, n. 11, p. 1565-1573, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. **Panorama geral das condições meteorológicas e os principais eventos extremos significativos ocorridos no Brasil em 2016**. Brasília, DF: INMET, 2016. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 10 abr. 2025.

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. *Fenômeno La Niña chega ao fim após três anos de duração*. Brasília, DF: INMET, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/fen%C3%B4meno-la-ni%C3%B1a-chega-ao-fim-ap%C3%B3s-tr%C3%AAs-anos-de-dura%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 10 abr. 2025.