



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
DOUTORADO EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL)



VERA LÚCIA DUBEUX TORRES

**RENDIMENTOS AGROINDUSTRIAIS DE DIFERENTES PERFIS DE CANA,
SOB AS CONDIÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS DA ZONA DA MATA
ALAGOANA**

Rio Largo, AL

2023

VERA LÚCIA DUBEUX TORRES

**RENDIMENTOS AGROINDUSTRIAIS DE DIFERENTES PERFIS DE CANA,
SOB AS CONDIÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS DA ZONA DA MATA
ALAGOANA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do *Campus* de Engenharia e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Iêdo Teodoro – UFAL

Rio Largo, AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

T693r Torres, Vera Lúcia Dubeaux
Rendimentos agroindustriais de diferentes perfis de cana, sob condições agrometeorológicas da zona da mata alagoana / Vera Lúcia Dubeaux Torres – 2023.
85 f.; il.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2024.

Orientação: Dr. Iêdo Teodoro

Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar. 2. Agrometeorologia. 3. Déficit hídrico. I. Título.

CDU: 633.61

TERMO DE APROVAÇÃO
VERA LÚCIA DUBEUX TORRES
(Matrícula 2019105889)

**RENDIMENTOS AGROINDUSTRIAIS DE DIFERENTES PERFIS DE CANA,
SOB AS CONDIÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS DA ZONA DA MATA
ALAGOANA**

Tese apresentada e avaliada pela banca examinadora em 22 de setembro de 2023, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) do Campus de Engenharia e Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.

 Documento assinado digitalmente
IEDO TEODORO
Data: 04/12/2023 22:37:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Iêdo Teodoro
Presidente – Orientador

 Documento assinado digitalmente
GUILHERME BASTOS LYRA
Data: 08/01/2024 11:59:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra
Membro Interno

 Documento assinado digitalmente
PAULO PEDRO DA SILVA
Data: 30/12/2023 07:10:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Pedro da Silva
Membro Externo

 Documento assinado digitalmente
CARLOS ASSIS DINIZ
Data: 12/12/2023 09:07:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos Assis Diniz
Membro Externo

AGRADECIMENTO

Primeiramente, a Deus, por me guiar em todos os momentos, me concedendo força, sabedoria e discernimento;

Ao reitor da Universidade Federal de Alagoas, Prof. Dr. Josealdo Tonholo, ao Diretor do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias Prof. Dr. Gaus Silvestre de Andrade Lima e ao Prof^o. Dr. Alessandro Almeida, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) pela oportunidade de realização do citado Curso de Doutorado;

Aos meu orientador Prof^o Dr. Iêdo Teodoro, pela dedicação e disponibilidade, amizade, respeito, confiança, incentivos e paciência durante toda a minha formação doutoral;

Aos membros da Banca Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra, Prof. Dr. Carlos Diniz; Prof. Dr. Paulo Pedro da Silva, pelos ensinamentos, dedicação e confiança;

Ao estimado coordenador do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar – PMGCA da Rede Interuniversitária de Pesquisa para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético – RIDESA/CECA/UFAL Professor Dr. Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa pela atenção, pelos ensinamentos e por viabilizar a instalação e condução do experimento de campo;

Ao estimado vice-coordenador do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar – PMGCA da Rede Interuniversitária de Pesquisa para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético – RIDESA/CECA/UFAL Professor Dr. Marcelo de Menezes Cruz, pelos ensinamentos e atenção;

Ao estimado Prof^o. Dr. João Messias dos Santos pela condução de pesquisas no PMGCA/UFAL pela atenção e pelos ensinamentos na formação doutoral;

A atenciosa Professora Dr^a Edjane Gonçalves de Freitas, Prof^o. Dr. Paulo Pedro da Silva, Prof^o. Dr. Carlos Assis Deniz e ao Prof^o. Dr. Lailton Soares pelos ensinamentos e incentivo durante o processo de formação doutoral;

Aos colegas e pesquisadores do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar - PMGCA/ Ridesa/Ceca/Ufal pelos ensinamentos, motivação e grande parceria que viabilizaram a realização dessa pesquisa: Antônio Jorge de Araújo Viveiros, Antônio José Rosário de Sousa, Antônio Maria Cardoso Rocha (*in memoriam*), Bruno Fernando C. do Nascimento, Carlos Alberto Guedes Ribeiro, Carlos Assis Diniz, Francisco Sampaio Filho, Adeilson Mascarenhas de Oliveira Silva, Antônio Carlos Alves de Amorim, Edimundo Leobino da Silva, Gilmar

Odilon da Silva, José Roberto Pedrosa Santiago, José Venício Correa da Silva, George Tenório Machado, Eduardo Jorge G. de Almeida, Edileuza Cupertino da Silva, Petrônio Walquírio de Barros, Eliene Lima dos Santos e Maura Cristina da Silva;

Aos estimados estagiários do Programa de Melhoramento Genético da cana-de-açúcar – PMGCA/CECA/UFAL (Beatriz Gomes, Pablo Henrique, Iêdo Teodoro Filho, Beatriz) e em especial a Agrônoma Amanda Rodrigues, pela dedicação, empenho e solidariedade recebida ao longo dos anos de convívio durante as coletas e análises de materiais do experimento para consolidação da tese;

Especial agradecimento ao Sr. Cícero Gomes, José Ramos da Silva e toda a equipe de apoio do PMGCA que no agradável sol e na bem vinda chuva (recursos naturais de base no ambiente dos campos de cana-de-açúcar) ajudaram na realização dos trabalhos do experimento;

Através do Prof. Gilson Moura Filho, (Laboratório de Solos do CECA/UFAL e professor do PPGA), pela análise química e física do solo do experimento, da Prof^a. D^a Vilma Marques (Laboratório de Fisiologia Vegetal e professora do PPGA), pela utilização de equipamentos para análise, e do Prof^o. Dr. Ricardo... (Laboratório ... – LIA), pelos dados agrometeorológicos fornecidos para a realização do balanço hídrico, transmito meus agradecimentos aos demais professores da Pós-graduação PPGA do CECA/UFAL pelo esforço, dedicação e perseverança dos citados profissionais;

Através do colega de doutorado Dr. Constantino... agradeço aos demais doutorandos que dividiram comigo os bons momentos de solidariedade que marcaram a nossa salutar convivência ao longo da nossa formação;

Através do Técnico/Secretário Gustavo Luiz Nepomuceno Lage agradeço a todos os funcionários administrativos do PPGA pela atenção e pronto atendimento sempre recebido pela citada equipe de trabalho;

A Usina Santa Clotilde e Usina Santo Antônio pela pesagem das parcelas do experimento e análises laboratoriais das amostras de cana-de-açúcar recolhidas;

SUMÁRIO

	Pg.
RESUMO	1
ABSTRACT	2
INTRODUÇÃO	3

OBJETIVOS

Geral	5
Específicos	5

CAPÍTULO I

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 A Cana-de-açúcar no Brasil e em Alagoas	6
1.2 Aspectos gerais da cana-de-açúcar	9
1.3 Características botânicas da cana-de-açúcar	10
1.4 Demandas agroclimáticas da cana-de-açúcar	12
1.4.1 Radiação solar	12
1.4.2 Temperatura	13
1.5.3 Precipitação pluvial	14
1.4.4 Evapotranspiração	14
1.4.5 Balanço hídrico	16
1.5 Sistemas de cultivo da cana-de-açúcar	18
1.5.1 Plantio	18
1.5.2 Cultivares	21
1.6 Produtividade agroindustrial	22
1.6.1 Produtividade agrícola	22
1.6.2 Qualidade industrial da cana-de-açúcar	25
1.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

CAPÍTULO II

2. PRODUTIVIDADE AGROINDUSTRIAL DE GENÓTIPOS DE CANA EM QUATRO CICLOS DE PRODUÇÃO NO ESTADO DE ALAGOAS, BRASIL

RESUMO	39
ABSTRACT	40
2.1 INTRODUÇÃO	41
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	
2.2.1 Delineamento estatístico e tratamentos	44
2.2.2 Preparo do solo e plantio	44
2.2.3 Variáveis agrometeorológicas	45
2.2.4 Produtividade agrícola	46

2.2.5 Qualidade da matéria prima (colmos de cana)	46
2.2.6 Produtividade de ATR e FIBRA	46
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
2.3.1 Variáveis meteorológicas	48
2.3.2 Produtividade agrícola	50
2.3.3 Açúcares totais recuperáveis (ATR)	54
2.3.4 Rendimento de açúcares totais recuperáveis	57
2.3.5 Teores de fibra	58
2.3.6 Rendimento de fibra	60
2.4. CONCLUSÕES	61
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
CAPÍTULO III	
3. BALANÇO HÍDRICO DA CULTURA E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR, EM QUATRO CICLOS DE PRODUÇÃO NA ZONA DA MATA ALAGOANA	
RESUMO	65
ABSTRACT	66
3.1 INTRODUÇÃO	67
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	
2.2.1 Características da área experimental	70
3.2.2 Delineamento estatístico e tratamentos	70
3.2.3 Preparo do solo e plantio	71
3.2.4 Variáveis agrometeorológicas e balanço hídrico da cultura	72
3.2.5 Produtividade agrícola e da água	72
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	
3.3.1 Balanço hídrico da cultura	74
3.3.2 Produtividade agrícola	76
3.3.3 Produtividade agrícola da água	79
3.4. CONCLUSÕES	81
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
APÊNDICE	84

LISTA DE FIGURAS

	Pg.
CAPÍTULO I	
Figura 1.1 Censo varietal da cana-de-açúcar, com área de cultivo e proporção das principais variedades no Brasil, safra 2022/2023.	23
CAPÍTULO II	
Figura 2.1 - Médias decendiais de: precipitação pluvial (chuva), evapotranspiração de referência (ET_0) e precipitação pluvial média (chuva média), nos quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana.	50
Figura 2.2 - Produtividade agrícola, em $t\ ha^{-1}$, de seis genótipos de cana em quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana	53
Figura 2.3 - Produtividade agrícola média de quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), de genótipos de cana, no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana	54
Figura 2.4 - Açúcares totais recuperáveis (ATR,) de seis genótipos de cana, em quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana.	56
Figura 2.5 - Rendimento de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR), em Toneladas de ATR por Hectare (TATRH) de seis genótipos de cana, em quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana	58
Figura 2.6 - Percentual de Fibra, de seis genótipos de cana, em quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana	59
Figura 2.7 - Rendimento de Fibra, em Toneladas de Fibra por Hectare (TFH) de seis genótipos de cana, em quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana	61
CAPÍTULO III	
Figura 3.1 – Balanço hídrico da cultura da cana-de-açúcar, na zona da Mata alagoana, no período de 21016 a 2021	75
Figura 3.2 - Produtividade agrícola média de quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), de genótipos de cana, no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana	77
Figura 3.3 Produtividade agrícola média de quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), de genótipos de cana, no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana	78

Figura 3.4 Produtividade da água (cana-planta, 1^a, 2^a e 3^a socas), de genótipos de cana, no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana

79

APÊNDICE I

85

LISTA DE TABELAS

	Pg.
CAPÍTULO I	
Tabela 1.1. Fases fenológicas ou de desenvolvimento, tempo médio de duração das fases e coeficiente de cultura (Kc) da cultura da cana-de-açúcar	13
Tabela 1.2. Resumo do Censo varietal da cana-de-açúcar em Alagoas, em áreas próprias - safra 2022/2023.	23
Tabela 1.3. Relação da diluição e fator de diluição (f), em balões de 100 mL, para o cálculo do AR pelo método de Lane e Eynon (1923)	31
CAPÍTULO II	
Tabela 2.1. Análise de Variância da Produtividade Agrícola, em Tonelada de Cana por Hectare – TCH	51
Tabela 2.2. Análise de Variância Açúcares Totais Recuperáveis – ATR	55

RENDIMENTOS AGROINDUSTRIAIS DE DIFERENTES PERFIS DE CANA, SOB AS CONDIÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS DA ZONA DA MATA ALAGOANA

RESUMO – As duas primeiras décadas do século 21 foram marcadas pelo aumento da demanda energética mundial e pelos problemas ambientais oriundos do aquecimento global devido ao aumento do efeito estufa que, para a maioria dos pesquisadores, tem como causa principal o uso de combustíveis fósseis. Isso provocou uma busca por outras fontes de energias renováveis e ambientalmente sustentáveis para substituir esses combustíveis. E, para esse propósito, a energia da biomassa da cana-de-açúcar é indubitavelmente, econômica e ambientalmente, uma das alternativas mais viáveis. Portanto, neste trabalho, o objetivo foi avaliar os rendimentos agroindustriais de genótipos de cana RB, com diferentes perfis agrônômicos e correlacioná-los com as características hídricas da região da Zona da Mata alagoana. Para isso, foram utilizados os dados de um experimento com seis genótipos de cana, agrupados em três perfis: I - cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541); II - cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e; III - cana-energia (RB11999 e RB13403). O período experimental foi de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na região de Rio Largo, Alagoas. A precipitação pluvial média, por ciclo de cultivo, foi 1.667,0 mm e a evapotranspiração 1.619,0 mm, mas devido a irregularidade das chuvas, ocorreram deficiências de água no solo que causaram estresses hídricos e redução de produtividade. Nos quatro ciclos de colheitas avaliados, as produtividades de colmo, médias dos genótipos, foram: RB13403 (103,6 t ha⁻¹), RB0459 (95,2 t ha⁻¹), RB11999 (90,8 t ha⁻¹), RB0442 (88,3 t ha⁻¹), RB92579 (73,5 t ha⁻¹) e RB951541 (72,4 t ha⁻¹). A produtividade agrícola e de fibra dos genótipos de cana-energia, de modo geral, são maiores do que a dos genótipos de cana tolerantes à seca que, por sua vez, são maiores do que a dos genótipos de cana-de-açúcar convencionais. Por isso, os genótipos RB0449 e RB0442 são mais recomendados para cultivos, em regime de sequeiro, voltados para produção de açúcar, e os genótipos de cana-energia, RB13403 e RB11999, para a produção de etanol de segunda geração e energia elétrica a partir do bagaço dos colmos. As cultivares RB92579 e RB951541 são mais apropriadas para os cultivos irrigados e ambientes de produção com menores restrições hídricas. E, na Zona da Mata alagoana, a cultura da cana-de-açúcar, em quatro ciclo de colheita ou quatro safras, passa por o estresse hídrico médio de 638,7 mm, com produtividade agrícola média de 87,3 t ha⁻¹ e produtividade da água de 9,0 toneladas para cada 100 mm de precipitação pluvial efetiva ou de evapotranspiração real da cultura.

Palavas chave: Fibra; ATR; chuva; evapotranspiração; déficit hídrico.

AGROINDUSTRIAL YIELD FROM DIFFERENT CANE PROFILES, UNDER THE AGROMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF THE ALAGOANA FOREST ZONE

ABSTRACT – The first two decades of the 21st century were marked by an increase in global energy demand and environmental problems arising from global warming due to the increase in the greenhouse effect, which, for the most of the researchers, has as its main cause the use of the fossil fuels. This sparked a search for other renewable and environmentally sustainable energy sources to replace these fuels. And, for this purpose, energy from sugarcane biomass is undoubtedly, economically and environmentally, one of the most viable alternatives. Therefore, in this work, the objective was to evaluate the agro-industrial yields of RB sugarcane genotypes, with different agronomic profiles and correlate them with the water characteristics of the Zona da Mata region of Alagoas. For this, data from an experiment with six sugarcane genotypes were used, grouped into three profiles: I - traditional sugarcane (RB92579 and RB951541); II - drought-tolerant sugarcane (RB0442 and RB0459) and; III - sugarcane-energy (RB11999 and RB13403). The experimental period was from November of 2016 to February of 2021, in the Rio Largo region, Alagoas. The average rainfall, per cultivation cycle, was 1,667.0 mm and evapotranspiration 1,619.0 mm, but due to the irregularity of rainfall, there were water deficiencies in the soil that caused water stress and reduced the productivity. In the four harvest cycles evaluated, the stalk yields, of the genotypes, were: RB13403 (103.6 t ha⁻¹), RB0459 (95.2 t ha⁻¹), RB11999 (90.8 t ha⁻¹), RB0442 (88.3 t ha⁻¹), RB92579 (73.5 t ha⁻¹) and RB951541 (72.4 t ha⁻¹). The agricultural and fiber productivity of energy cane genotypes, in general, are higher than that of drought-tolerant sugarcane genotypes, which, in turn, are higher than that of conventional sugarcane genotypes. Therefore, the RB0449 and RB0442 genotypes are more recommended for rainfed crops, aimed at sugar production, and the energy cane genotypes, RB13403 and RB11999, for the production of second generation ethanol and electrical energy from the stalk bagasse. The cultivars RB92579 and RB951541 are more suitable for irrigated crops and production environments with less water restrictions. And, in the Zona da Mata of Alagoas, sugarcane cultivation, in four harvest cycles or four harvests, experiences an average water stress of 638.7 mm, with an average agricultural productivity of 87.3 t ha⁻¹ and water productivity of 9.0 tons for every 100 mm of effective rainfall or real evapotranspiration of the crop.

Keywords: Fiber; TRS; rain; evapotranspiration; water deficit.

INTRODUÇÃO

As duas primeiras décadas do século 21 foram marcadas pelo aumento da demanda energética mundial e pelos problemas ambientais oriundos do aquecimento global devido ao aumento do efeito estufa que, para a maioria dos pesquisadores, tem como causa principal o uso de combustíveis fósseis. Isso provocou uma busca por outras fontes de energias renováveis e ambientalmente sustentáveis para substituir esses combustíveis (TOMAS et al 2014). Portanto, para esse propósito, a energia da biomassa da cana-de-açúcar é indubitavelmente, econômica e ambientalmente, uma das alternativas mais viáveis. E isso, gerou uma demanda por cultivares de cana com características direcionadas para um novo mix de produção, com sacarose para produção de açúcar e etanol e fibra (biomassa) para produção de bioeletricidade e etanol de segunda geração, ambas aliadas à tolerância à seca e resistências a pragas e doenças.

Nesse contexto, ressurgiram as pesquisas para a produção de cana-energia, a ser desenvolvida com foco na combinação de teores de açúcar, fibra e água. Para Tew e Cobill (2008), a cana-energia pode ser de dois tipos: o primeiro, a cana-energia tipo I, composta por 70% de água, 17% de fibra e 13% de açúcar; a segunda, a cana-energia tipo II, que possui 65% água, 30% de fibra e 5% de açúcar. De acordo com Barbosa et al. (2020), a cana-energia tipo I pode ter acréscimo de até 40% no teor de FIBRA em relação à cana-de-açúcar tradicional, e pequena redução ou manutenção do teor de açúcar além de apresentar elevada taxa de multiplicação (de duas a três vezes maior do que a cana-de-açúcar convencional); maior eficiência no uso da água e nutrientes; possibilidade de cultivo em áreas marginais e menor impacto ambiental, com a colheita da cana integral e quando é possível não queimar.

No Brasil, os investimentos no agronegócio canavieiro são bastante antigos, remonta ao período conhecido como “Ciclo da cana-de-açúcar” e, nas últimas décadas as tecnologias, principalmente as de desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar, permitiu a formação de um complexo sucroenergético com distintas peculiaridades e modos de produção em diversos ambientes de cultivo. Para Dubeux-Torres et al. (2003) as peculiaridades dos aspectos sociais, econômicos e agroindustriais sempre foram associadas, em particular, ao uso adequado da energia, da água e do solo. De modo que a reestruturação para a diversificação da agroindústria sucroenergética exige atualmente uma boa estratégia de gestão dos recursos naturais para dar sustentabilidade ao desenvolvimento da atividade canavieira que depende da economia de mercado.

Conforme Ignacy Sachs (2007) a economia de mercado exige da sociedade e do mercado um desenvolvimento participativo e negociado, com base no desenvolvimento sustentável, em relação aos aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Na safra agrícola brasileira de cana-de-açúcar 2022/23 foram colhidas 610,1 milhões de toneladas de cana (crescimento de 5,4% em relação à safra passada) em uma área de 8,29 milhões de hectares com uma produtividade média de 73,6 t ha⁻¹ e produziu 27,3 bilhões de litros de etanol e mais 37,1 milhões de toneladas de açúcar, aumento de 3,6 e 6,0%, respectivamente. Em Alagoas, nessa mesma safra, foram colhidas 20,8 milhões de toneladas de cana em uma área de 304,3 mil hectares, com produtividade média de 68 t ha⁻¹, (14,5% superior à obtida na safra anterior), produziu 439,1 milhões de litros de etanol e 1,7 milhões de toneladas de açúcar. (CONAB, 2023).

A produtividade da cana-de-açúcar em Alagoas, assim como na região Nordeste do Brasil, apesar do alto nível tecnológico utilizado, ainda é baixa e o principal motivo é a irregularidade da chuva no decorrer dos anos agrícola que, normalmente, provoca deficiências hídricas. Uma das soluções para mitigar os efeitos dessas deficiências é o uso da irrigação que pode aumentar em até mais de 60% a produtividade de colmos dos canaviais. Mas essa tecnologia é onerosa e, quando acontece secas severas, falta água para irrigar a maior parte das áreas cultivadas com cana-de-açúcar, tanto em Alagoas, como no restante do Nordeste brasileiro e em toda área canavieira do Brasil (TEODORO, 2017). Por isso, outra opção é a busca por variedades adaptadas a ambientes restritivos, com ocorrências de déficits hídricos (secas) e com infestações de pragas e doenças que comprometem a qualidade da cana-de-açúcar e a quantidade produzida por unidade de área. Por outro lado, há também uma busca por outros perfis de cana-de-açúcar, como a cana-energia, para atender às demandas de biomassa para geração de eletricidade e etanol de segunda geração.

Portanto, para encontrar uma solução para os problemas exposto, foi feito um experimento de campo e os resultados estão apresentados neste trabalho, organizados da seguinte forma:

- ✓ Objetivos;
- ✓ Capítulo I – Revisão de Literatura;
- ✓ Capítulo II - Produtividade Agroindustrial de Cultivares de Cana em Quatro Ciclos de Produção no Estado de Alagoas, Brasil;
- ✓ Capítulo III - Balanço Hídrico da Cultura e Produtividade da Cana-de-Açúcar, em Quatro Ciclos de Produção na Zona da Mata Alagoana.

OBJETIVOS

Geral

Avaliar os rendimentos agroindustriais de genótipos de cana-de-açúcar República do Brasil (RB), com diferentes perfis agronômicos (cana-de-açúcar tradicional, cana-energia e cana-de-açúcar tolerante à seca), em quatro ciclos de produção ou colheita, na Zona da Mata alagoana.

Específicos

- Obter e interpretar as variáveis meteorológicas (precipitação pluvial e evapotranspiração de referência) do período de quatro ciclos de cultivo ou safras de cana;
- Fazer o balanço hídrico da cultura da cana-de-açúcar para quantificar o déficit e o excesso hídrico no período de experimentação e os efeitos sobre a cultura;
- Quantificar a produtividade agroindustrial de genótipos de cana-de-açúcar, através das variáveis: produtividade agrícola (em toneladas de cana por hectare -TCH), rendimento agroindustrial (em açúcares totais recuperáveis por tonelada de cana - ATR) e teor de fibra (FIBRA - %);
- Identificar os genótipos mais tolerantes a seca;
- Identificar as características agroindustriais dos genótipos de cana que definam o perfil e a indicação de uso específico das futuras cultivares para cada fim: cultivo de cana-de-açúcar tradicional, cana-energia (com altos teores de fibra) e cana tolerante à seca para cultivos de sequeiro;

CAPÍTULO I

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 A Cana-de-açúcar no Brasil e em Alagoas

No Brasil, os investimentos no agronegócio canavieiro são bastante antigos, remonta ao período conhecido como “Ciclo da cana-de-açúcar” e sempre houve a forte participação do Estado, no início para a produção do açúcar sendo seguida do álcool. Nas últimas décadas a tecnologia permitiu a formação de um complexo sucroenergético com distintas peculiaridades e modos de produção bem particulares, de conformidade com cada região produtora de cana. A pesquisa para a agroindústria canavieira era desenvolvida pelo Programa Nacional do Melhoramento Genético da cana-de-açúcar – Planalsucar, alocado no Instituto do Açúcar e do Alcool – I.A.A., autarquia ligada ao governo federal. O afastamento do Estado com a extinção do I.A.A, no início dos anos 90, marcou a última década do século XX com reflexo nas políticas de produção e comercialização de cana, açúcar e etanol. Nova modalidade de parceria pública x privada foi estabelecida tornando a atividade canavieira brasileira mais globalizada e competitiva. A pesquisa para o setor Sucroalcooleiro foi redirecionada e surge a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético – Ridesa, nas universidades federais, absolvendo o Planalsucar. (DUBEUX-TORRES, 2008).

O Programa Nacional do Alcool (Proálcool) criado na década de 70, foi um programa estratégico do governo do Brasil de substituição dos combustíveis veiculares derivados de petróleo por álcool (etanol) e tinha como um dos objetivos diminuir a dependência externa de combustível e economizar divisas. Por isso, tornou-se muito vulnerável na década de 1990, com o risco de extinção. A partir de 2003, o programa Proálcool foi reabilitado, de forma a considerar também os objetivos sociais e políticos, como emprego e renda, (STOLF *et al.* 2016). A agroindústria canavieira empregava 152 vezes mais pessoas do que a indústria do petróleo (VIEIRA *et al.* 2016). Na medida em que a saída da dita civilização do petróleo passou pela produção de biocombustíveis, abriu possibilidades. O Brasil tem mais de trinta anos com Proálcool, tem todas as condições físicas que permitem avançar no caminho da substituição da

gasolina pelo etanol e do diesel pelo biodiesel, tem terra, tem água, tem uma pesquisa agrônômica e biológica de abrangência internacional, portanto tem tecnologia e recursos naturais. O motor flex foi um passo correto nesse caminho. A biomassa é alimento, forragem, adubo verde, energia e outros derivados que podem ser produzidos com bases sustentáveis, usando a ciência e biotecnologia para aumentar a produtividade. (SACHS, 2007).

O Brasil tem 8,5 milhões de Km², com mais de 4 milhões Km² de áreas agricultáveis. Esta superfície representa uma riqueza potencial importante para a produção de energia, a partir do uso da biomassa e uma matriz energética moderna e promissora. O empresariado desse agronegócio adotou novas estratégias e condições de gestão para o atual complexo sucroenergético com moderna e diversificada planta de produção, em busca da sustentabilidade social, ambiental e econômica da atividade canavieira. (DUBEUX-TORRES, 2008). O Proálcool foi a base para projetar o Brasil: domínio da tecnologia, diversificação da matriz energética, liderança geopolítica, prestígio internacional (STOLF et al 2016). A história do tradicional setor canavieiro brasileiro, o investimento em pesquisa através do Planalsucar (hoje Ridesa) e a criação do Proálcool possibilitaram o avanço no sentido do bom uso da biomassa, com a transformação do álcool em bioetanol e o incremento de uma cadeia de produção energética limpa. Essa composição permitiu a construção da atual Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) com CBios que são certificados a partir de notas de eficiência-energético ambiental convertidos em créditos de descarbonização negociados inclusive no mercado externo.

O exposto comprova que sustentabilidade da cultura da cana-de-açúcar, no território brasileiro, tem atualmente como base os aspectos sociais, econômicos e ambientais, com vistas à internacionalização dos mercados de *comodities* agroindustriais e atendimento da demanda interna ao País. O modo operante do setor Sucroenergético enfatiza a relação entre investimento realizado e a geração de emprego gerado e renda, e as vantagens da economia circular para o desenvolvimento sustentável brasileiro, com ênfase no uso de energias renováveis. (DUBEUX-TORRES, 2016). Nos 500 anos de cana-de-açúcar no Brasil, esta cultura atingiu o segundo decênio do Século XXI com extraordinária força e prestígio; alcançou a maior produção de sua história com tendência de crescimento; líder da produção de açúcar e etanol de cana no mundo; agroindústria com independência energética; cogeração de

energia elétrica para exportar o excedente para o mercado nacional; efluentes e resíduos poluentes transformados em insumos de alto valor (vinhaça, torta de filtro e outros); ações em relação ao meio ambiente: interrupção da queima de canaviais; retirada das atividades braçais do corte da cana-de-açúcar; produção de biocombustível em substituição à queima equivalente em gasolina, reduzindo a emissão de CO₂ na atmosfera.(STOLF, 2016.)

No estado de Alagoas, o setor de maior impacto econômico é a agroindústria canavieira que, na safra 2008/2009 gerou 91 mil empregos diretos, sendo 70 mil rurais e 21 mil urbanos (SINDASUCAR, 2011). De acordo com Dubeux-Torres (2016), em 2014 o setor sucroenergético alagoano atravessava um período de crise (mercado e seca), mas contribuía ainda com 15% do PIB, gerava mais de 100 mil empregos diretos e optava pela exportação evitando a elevada carga tributária da época para o etanol (27%) e (17%) para o açúcar. Não só a política governamental influenciava na formação do preço do etanol e na definição de quantidades e preços para compra de energia elétrica advinda da cogeração nas usinas, mas na oscilação do câmbio repercutindo no preço do açúcar no mercado internacional. Secas periódicas, o racionamento nos investimentos, o aumento do custo de produção da cana, açúcar e etanol, a legislação ambiental interferindo no corte da cana-de-açúcar e inviabilizando o uso de terrenos com declividades acima de 12% vão excluindo parte dos produtores e reduzindo áreas plantadas com cana. Esses empresários (produtores e fornecedores de cana) foram em busca de alternativas, que em Pernambuco e Alagoas são revestidas de dinâmicas bem particulares. A área cultivada com cana-de-açúcar em Alagoas foi significativamente reduzida e de mais de 500 mil hectares passa para pouco mais de 300 mil hectares plantados. Várias unidades faliram, e o redimensionamento do setor em busca de sustentabilidade passou pela verticalização da produção (agrícola e industrial), investimento em tecnologia para a diversificação de produtos energéticos, e novas variedades de cana-de-açúcar (tolerantes a seca e cana-energia).

O Brasil maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, na safra 2011/2012 colheu 595,13 milhões de toneladas por safra, em uma área de 8,5 milhões de hectares. A região Centro-sul produziu 86,1% e a região Norte-nordeste, 14,9%. No estado de Alagoas a área plantada era em torno de 445,00 mil hectares na referida safra e a produção foi de 23.6 milhões de toneladas de cana moída. A produtividade agrícola estimada foi estimada em 53,90 t ha⁻¹, a de São Paulo 74,70 t ha⁻¹, e Minas

Gerais, 72,43 t ha⁻¹. (CONAB, 2012). Uma década depois os indicadores de produção agroindustrial do setor sucroenergético brasileiro, na safra 2021/2022, foram: área colhida de 8,6 milhões de hectares, total de cana moída, 585,2 milhões de toneladas, produtividade agrícola de 76,9 toneladas de cana por hectare, produção de 27,0 bilhões de litros de etanol e 32,1 milhões de toneladas de açúcar (CONAB, 2022). Alagoas produziu 17,0 milhões de toneladas de cana, produtividade agrícola de 56,9 toneladas de cana por hectare, 422,1 milhões de litros de etanol e 1,4 milhões de toneladas de açúcar. (SINDACUCAR, 2022).

Na safra 2022/23 o Brasil colheu 610,1 milhões de toneladas de cana (crescimento de 5,4% em relação à safra passada) em uma área de 8,3 milhões de hectares com uma produtividade média de 73,6 t ha⁻¹ por hectare, produziu 27,3 bilhões de litros de etanol (aumento de 3,6% em relação a safra anterior) e 37,1 milhões de toneladas de açúcar (6% frente da safra anterior). Em Alagoas, foram colhidas 20,8 milhões de toneladas de cana em uma área de 304,3 mil hectares (menos 140 mil hectares em relação à safra 2011/2012), produtividade média de 68 t ha⁻¹ por hectare, (14,5% superior à obtida na safra anterior), produziu 439,1 milhões de litros de etanol e 1,7 milhões de toneladas de açúcar. (CONAB, 2023).

1.2 Aspectos gerais da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma planta alógama originária do sudeste da Ásia, pertencente à família *Poaceae*, tribo *Andropogoneae* e gênero *Saccharum*. De acordo com Daniels e Roach (1987), com esse gênero são conhecidas seis espécies: *Saccharum officinarum* Linnaeus (2n = 80), *S. robustum* Brandes e Jeswiet ex Grassl (2n = 60-205), *S. barberi* Jeswiet (2n = 81-124), *S. sinense* Roxb (2n = 111-120), *S. spontaneum* Linnaeus (2n = 40-128), e *S. edule* Hassk (2n = 60-80). As cultivares modernas de cana-de-açúcar são essencialmente gerações avançadas de híbridos interespecíficos poliplóides entre *S. officinarum* e *S. spontaneum*, que possuem mais de 100 cromossomos (2n=100 a 130), dos quais 80% são derivados de *S. officinarum*, 10 a 15 % de *S. spontaneum* e o restante, 5 % a 10 %, são cromossomos recombinantes entre as duas espécies ancestrais. Esses dados indicam que essa cultura tem um genoma muito complexo (D'HONT et al., 1996).

A espécie *S. spontaneum* é provavelmente a espécie mais primitiva de cana-de-açúcar e que tem a Índia como centro de origem e dispersão, com ampla distribuição

para as regiões tropicais e subtropicais do planeta. Essa espécie se caracteriza por ter colmos finos, baixo teor de sacarose e elevado teor de fibra, seu uso em programas de melhoramento genético visa aumentar a resistência a pragas, doenças e estresses abióticos, e no desenvolvimento de cana-energia (MING et al., 2006). Os genótipos ancestrais de *S. sinense* cultivados na China e na Índia foram utilizados para a produção de melão e açúcar, enquanto no norte da Índia eram cultivados *S. barberi*, com colmos mais finos e duros. Essas duas espécies cultivadas surgiram provavelmente através dos cruzamentos naturais entre a *S. officinarum* e *S. spontaneum*. A variedade Crioula, híbrido natural entre *S. officinarum* e *S. barberi*, procedente da Índia, foi cultivada em colônias da França, da Espanha e de Portugal. E também, foi a primeira variedade introduzida no Brasil, proveniente da Ilha da Madeira (LANDELL e BRESSIANI, 2008).

Em 2011, a UFAL/RIDESA iniciou um programa de obtenção de cana energia originados de cruzamentos de híbridos atuais com acessos selvagens de *S. spontaneum*. Os resultados preliminares direcionam para a obtenção de clones promissores nas características de desenvolvimento da biomassa total, número de colmos por touceira, aspectos fitossanitários e vigor da planta (BARBOSA 2014, DAROS et al., 2015). Com esses resultados, espera-se obter, nos próximos anos, cultivares RB de cana-energia que possam atender à ascendente demanda de empresas voltadas para a produção de etanol celulósico, bioeletricidade e bioquímicos (SANTOS et al., 2013).

1.3 Características botânicas da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar, de acordo com (Segato et al., 2006) é uma planta perene de reprodução sexuada, preferencialmente por alogamia, no entanto, em cultivos comerciais é multiplicada assexuadamente por meio de porções do colmo, denominados rebolo ou tolete. E, por ser um vegetal de metabolismo C4, apresenta alta capacidade fotossintética, elevado desenvolvimento e crescimento em regiões com temperaturas e umidade elevadas. A cana-de-açúcar se desenvolve em forma de touceira, com a parte aérea constituída por colmos, folhas, inflorescências e frutos (cariopses) e a parte subterrânea é formada por raízes fasciculadas e “rizomas”, que são responsáveis pela formação dos perfilhos na touceira. Esses “rizomas” são resultados do desenvolvimento de entrenós e nós, imediatamente abaixo da superfície do solo e que, apesar da alta lignificação da casca, mantém gemas viáveis ou vivas, com capacidade de rebrota logo depois do corte da parte área das plantas. Segato et al.

(2006) também afirmam que 85% da massa total de raízes da cana-de-açúcar encontram-se nos primeiros 50 cm de profundidade e 60% dessa massa encontra-se na camada de 20 a 30 cm e os aspectos morfológicos dessas raízes apresentam grandes variações, dependendo da genética, idade e características ambientais em que as plantas são cultivadas. Os colmos representam em torno de 80% da parte aérea da cana-de-açúcar e são constituídos por “nós” e “entrenós”, cuja função anatômica é sustentar as folhas e as panículas. O caule (colmo) da cana-de-açúcar pode ter porte ereto, semi-ereto ou decumbente, dependendo da idade da planta e da variedade. Em cada nó há uma gema que é disposta alternadamente em torno do colmo, com as folhas alternadas, opostas e presas aos nós dos colmos. A parte superior da folha é conhecida como lâmina e a parte inferior que envolve o colmo é chamada de bainha.

Considerando que na composição da cana-de-açúcar as folhas verdes e o palmito possuem maior poder calorífico, em média um terço da cana seria mais indicado para a produção de energia (térmica, elétrica, vapor), a busca por variedades que apresentem percentuais mais elevados de palhas, pontas, fibra e menor humidade é determinante no quantitativo de produção de energia no parque agroindustrial brasileiro. Nas regiões produtoras de cana-de-açúcar contabiliza-se que a produção de palhada gire em torno de 12 a 20 toneladas por hectare. Atualmente busca-se também a obtenção de clones “cana energia tipo I”, com maior rendimento de biomassa (colmo, palhas e ponteiros), maior conteúdo de açúcares e maior conteúdo de fibra; e obtenção de “cana energia tipo II”, com elevado rendimento em biomassa, baixo conteúdo em açúcares e elevado teor de fibra (MING et al., 2006; TEW; COBILL, 2008).

Em estudo realizado por Beeharry (2001), com o intuito de avaliar a produção de energia e resíduos a partir da biomassa da cana-de-açúcar, foi observado que a produção de energia pode ser aumentada em 50% usando o bagaço, as folhas e a palha da cana, em uma cadeia de produção de energia. De acordo com estudos desenvolvidos pelo Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) que integra o Centro Nacional de Pesquisa em Energia, o potencial do palhiço (pontas e palhas) representa em média 30% da cana-de-açúcar, mas a qualidade dessa matéria-prima é importante. Segundo Oiticica (2017) a qualidade da matéria-prima é a base nesse processo de transformação e a cana-de-açúcar biomassa vem dando sinais positivos pelo contexto da sustentabilidade econômica e ambiental que ela poderá representar na cadeia de produção. Um projeto bem concebido equilibra a fábrica termicamente, trazendo resultados imensuráveis ao processo como alto rendimento técnico. O mesmo

raciocínio aplica-se para a industrialização do etanol e do açúcar. O preço de compra para a energia gerada pela cogeração (bagaço), para o etanol, para o açúcar e para a cana-de-açúcar é o principal facilitador no processo de adesão de empresários aos recursos que estão sendo disponibilizados. O mercado é chave nessa cadeia de produção. Foi em busca de novas oportunidades que o setor sucroenergético iniciou essa trajetória em direção a inovação através desse tipo de investimento em agroenergia e as características da cana-de-açúcar representam o sucesso dessa escolha. Essas considerações são importantes quando se analisa rendimentos e lucros com a referida atividade econômica.

1.4 Demandas agroclimáticas da cana-de-açúcar

Apesar da literatura divergir quanto a fase de maior necessidade hídrica da cultura, o fato é que os impactos do déficit hídrico no crescimento e produtividade agrícola da cana são muito significativos. O uso de genótipos tolerante à seca é o primeiro passo para contornar os prejuízos ocasionados pela falta de água em anos agrícolas com baixa ocorrência ou má distribuição de chuvas. Assim como a maioria das plantas cultivadas, a cana-de-açúcar apresenta variação genotípica quanto à tolerância ao déficit hídrico (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; INMAN-BAMBER et al., 2005; SALIENDRA et al., 1996), sendo essencial a realização de estudos para identificar genótipos que apresentem essa característica tão importante para a produção agrícola.

O desenvolvimento, crescimento e a produção da cana-de-açúcar são significativamente favorecidos pela boa disponibilidade de radiação, temperatura e umidade do ar e do solo, para atender as demandas das plantas. A demanda hídrica das plantas normalmente é representada pela evapotranspiração que varia de acordo com a fase fenológica da cultura (Tabela 1.1) e é mantida pela umidade do solo, cuja fonte natural é a precipitação pluvial ou chuva. De acordo com Varejão – Silva (2000) os conceitos de radiação, temperatura, umidade do ar e precipitação pluvial são:

1.4.1 Radiação solar

A radiação solar é a fonte primária de energia para a produção de fitomassa (biomassa de vegetal) através do processo fotossintético, juntamente com água e dióxido de carbono (CO₂). A energia usada na fotossíntese é a porção da radiação solar

visível, entre os comprimentos de ondas de 400 a 700 nanômetros, denominada na literatura de radiação fotossinteticamente ativa ou pela sigla PAR, do inglês (*Photosynthetically Active Radiation*). Como a radiação solar é uma fonte de energia renovável e o crescimento vegetal armazena CO₂ da atmosfera, a produção de combustível oriundos de fitomassa (biocombustível) tem grande aceitação no mercado internacional, de maneira geral.

Tabela 1.1 - Fases fenológicas ou de desenvolvimento, tempo médio de duração das fases e coeficiente de cultura (Kc) da cultura da cana-de-açúcar

FASE FENOLÓGICA	Duração (dias)	Kc
Do plantio até 25 % do fechamento do dossel vegetativo	30 – 60	40 – 0,60
De 26 a 50 % do fechamento do dossel vegetativo	30 – 40	75 – 0,85
De 51 a 75 % do fechamento do dossel vegetativo	15 – 25	90 – 1,00
De 76 a 100 % do fechamento do dossel vegetativo	45 – 55	00 – 1,20
Pico de ETc (uso máximo)	180 – 330	1,05 – 1,30
Início da maturação	30 – 150	80 – 1,05
Maturação	30 – 60	60 – 0,75

Fonte: Doorenbos & Kassam (1979).

1.4.2 Temperatura

As expressões *temperatura do ar à superfície* e *temperatura do ar à sombra* são usadas em meteorologia, de modo equivalente, para traduzir a temperatura reinante em um ponto da atmosfera próximo à superfície da terra. A temperatura do ar, assim como a temperatura do solo afeta vários processos metabólicos das plantas, além de interferir na demanda evapotranspirativa (VAREJÃO-SILVA, M.,2000).

A cana-de-açúcar, por ser uma planta de origem tropical, demanda temperaturas em níveis compatíveis com os normalmente observados entre os trópicos do planeta, com faixas de altitudes de médias a baixas. Mas, com o aprimoramento de

manejos agronômicos e melhoramentos genéticos, já existem cultivos entre as latitudes de 35° N e 30° S, em altitudes que vão desde o nível médio do mar até 1.000,0 metros.

1.4.3 Precipitação pluvial

A precipitação pluvial, popularmente mais conhecida como chuva, é a fonte natural que alimenta a umidade do solo nas áreas cultivadas. Nas regiões tropicais, a chuva, ou precipitação pluvial, é a forma principal pela qual a água retorna da atmosfera para a superfície terrestre após os processos de evaporação e condensação, completando, assim, *o ciclo hidrológico*. A quantidade e a distribuição de chuvas que ocorre anualmente numa região determina o tipo de vegetação natural e o tipo de exploração agrícola possível.

1.4.4 Evapotranspiração

A evapotranspiração (ET) é a perda combinada de água para atmosférica, na forma de vapor, através dos processos de evaporação da superfície do solo somada à transpiração estomática e cuticular das plantas. Nesse contexto, se a água retida pelas atividades metabólicas dos vegetais, que é da ordem de 1% do total de água evapotranspirada, for desprezada, a evapotranspiração pode ser considerada sinônimo de consumo d'água da vegetação (BERLATO e MOLION, 1981).

A evaporação é o processo físico pelo qual um líquido ou sólido passa para o estado gasoso (vapor). Em meteorologia o termo evaporação é usado para designar a transferência de água para a atmosfera, sob forma de vapor, decorrente, tanto da evaporação que se verifica no solo úmido sem vegetação (solo nu), nos oceanos, lagos e rios como em outras superfícies do tipo pavimentos e vegetações úmidas. Sendo que o processo de mudança de estado sólido para gás ou gás para sólido é denominado sublimação (ALLEN et al., 1998; SEDIYAMA, 1996).

A mudança de estado das moléculas de líquido para vapor (vaporização) requer um suprimento de energia externa que será transformada em calor latente. O calor latente de evaporação (λ) corresponde a quantidade de energia necessária para evaporar 1,0 Kg (um quilograma) de água numa determinada temperatura. Para a água pura com uma temperatura de 20 °C, $\lambda = 2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$ equivalente a 245 J mm^{-1} . E, dependendo das características físicas e ambientais da área onde os elementos e/ou variáveis meteorológicos são medidos ou estimados, a evapotranspiração pode ser

definida como: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração de cultura (ET_c), evapotranspiração de oásis (ET_{oa}) e evapotranspiração real (ET_r).

a) Evapotranspiração de Referência (ET_o) - é aquela que acontece na superfície de um cultivo hipotético de grama verde ou alfafa em estado de desenvolvimento ativo, cobrindo completamente o solo, sem deficiência hídrica e livre de pragas e doenças. Assume-se que a grama hipotética ou superfície de referência tem uma altura de 0,12 m, com a resistência da superfície igual a 70 s m^{-1} e um albedo de 0,23 (ALLEN et al., 1998). Se os dados de evapotranspiração forem obtidos em uma área com vegetação qualquer em condição de desenvolvimento ativo, isenta de pragas e doenças e sem restrições hídricas, denomina-se evapotranspiração potencial (ET_p). Porém, o uso dessa denominação é desaconselhável para evitar a ambigüidade em suas definições.

A evapotranspiração de referência expressa o potencial evaporativo da atmosfera numa localidade específica em determinada época do ano, sem levar em conta as características de cultivo e fatores do solo. Nessas condições os valores da ET_o são afetados apenas pelos parâmetros meteorológicos. Consequentemente, a evapotranspiração de referência é considerada um parâmetro climático e, portanto, pode ser estimada a partir de dados meteorológicos que servirão para obter um conjunto consistente de dados e coeficientes de cultura (K_c), para serem utilizados na determinação da evapotranspiração de culturas agrícolas (ET_c);

b) Evapotranspiração de Cultura (ET_c) - é a evapotranspiração que acontece em uma área cultivada, livre de pragas e doenças, bem fertilizada, sob ótimas condições de umidade e com as plantas em desenvolvimento pleno sob dadas condições climáticas. A ET_c também pode ser considerada como a demanda hídrica da cultura. Portanto, a quantidade de água necessária para que as plantas de uma determinada cultura agrícola cresça com vigor e consiga expressar sua produtividade potencial, é caracterizada e/ou quantificada pela ET_c ;

c) Evapotranspiração de Oásis (ET_{oa}) - é a evapotranspiração medida em uma área úmida (que pode ser uma umidade natural como ocorre em um oásis ou em áreas irrigadas) próxima de uma região seca, com uma bordadura ou área tampão insuficiente para evitar os efeitos da advecção de energia que é o transporte lateral de calor por deslocamento de massas de ar (PEREIRA et al., 2002).

Bordadura, área tampão ou “*fetch*” é a distância, em metros, que escoamento ou a massa de ar deve atravessar sobre uma superfície de rugosidade uniforme. O tamanho da bordadura depende tanto das características da cobertura vegetal como das condições climáticas predominantes. Pois, as trocas dos constituintes da atmosfera entre as superfícies vegetadas e o ar dependem, na maioria das vezes, de fatores ligados às condições microclimáticas das culturas que são condicionadas pela forma como o escoamento é obstruído ou pela densidade e disposição das plantas no campo. Monteith (1973) afirma que muitos trabalhos têm mostrado que a bordadura média obedece a uma relação muito menor do que 200: 1 (200,0 metros de comprimento horizontal e a altura de medição das variáveis meteorológicas igual a 1,0 metro), particularmente em locais onde a atmosfera apresenta tendência de equilíbrio, sem ventos fortes nem turbilhões;

d) Evapotranspiração Real (ET_r) - é aquela que ocorre em uma superfície vegetada, independentemente de seu estágio de desenvolvimento e das condições de umidade do solo, sem nenhuma condição de contorno. Quando a ET_r é calculada ou medida em uma área com qualquer tipo de vegetação em condição de crescimento ativa, livre de pragas e doenças e sem restrição hídrica, diz-se que a ET_r equivale a ET_p . Um dos métodos muito utilizado para o cálculo da ET_r é o balanço hídrico.

1.4.5 Balanço hídrico

O balanço hídrico é a contabilidade da água, em um volume de solo vegetado, com base no *Princípio da Conservação de Massa*. A variação do armazenamento de água no volume considerado, por intervalo de tempo, representa o balanço entre a água que entra e a que sai no *volume de controle*. E, em um solo vegetado, esse volume de controle depende apenas da profundidade do sistema radicular das plantas e admite-se que esse solo seja representativo de toda área de estudo e que tem como referência ponto de medidas das variáveis meteorológicas, principalmente a chuva. Genericamente, o balanço hídrico de uma área vegetada é representado pelas entradas (precipitação pluvial, irrigação, orvalho, escoamento superficial (*run in*), drenagem lateral e ascensão capilar) e pelas saídas (evapotranspiração, escoamento superficial (*run off*), drenagem lateral e drenagem profunda) de água do volume de controle (PEREIRA et. al., 2002).

Se o balanço hídrico for feito em um solo coberto por uma vegetação padrão (gramado), é denominado de balanço hídrico climatológico, mas, quando as medidas são feitas sobre uma área cultivada, tem-se então o balanço hídrico da cultura, no qual são consideradas as fases de desenvolvimento e crescimento das plantas.

Quando a contabilidade entre o que entrou e o que saiu do volume de controle, num determinado período, apresenta resultados negativos, significa que há deficiência hídrica e ao contrário tem-se excesso hídrico. Esses resultados podem ser correlacionados com as produtividades agrícolas para justificar os aumentos, reduções e, em casos extremos, frustrações de safras (TEODORO, 2012).

No Brasil existem cerca de 110 milhões de hectares aptos para a expansão da agricultura em uma base hídrica ou climática sustentável. Desse total, cerca de 70% do terreno está localizado no bioma cerrado (CHRISTOFIDIS, 2006) e nessa região ocorre déficit hídrico, anualmente, entre os meses de maio a outubro (SOUSA et. al., 2010), enquanto na costa leste do Nordeste brasileiro a ocorrência desse déficit hídrico se dar entre setembro e março, no período de primavera e verão.

Para Doorembos & Kassan (1979), a cana-de-açúcar é essencialmente uma planta tropical que produz bem em áreas onde o ar temperatura fica entre 18 e 38 °C, umidade relativa de 40 a 80% e com disponibilidade hídrica para atender ao consumo de água de 1.500 a 2.500 mm anual, dependendo, principalmente, da duração do ciclo de cultivo, região climática e da cultivar utilizada. Bernardo, Soares e Mantovani (2005) relatam que o consumo diário de água para a cana-de-açúcar varia entre 2 e 6 mm/dia, nas principais regiões produtoras, podendo divergir entre as variedades utilizadas e o estágio de desenvolvimento da cultura. A relação entre o consumo de água e a produção da cana pode chegar a 12,1 mm t⁻¹ (PERES et al., 1996).

O método pelo qual a ET_c é estimada também pode influenciar a demanda hídrica das culturas agrícolas. Mussi et al. (2020), trabalhando na região Goianésia, Goiás, estimaram a ET_c da cultivar de cana-de-açúcar IAC 91-1099 pelos métodos Penman Monteith-FAO 56 (ALLEN et al., 1998) e pelo algoritmo SAFER para comparar com as medidas feitas pelo balanço hídrico de água no solo (ETBHS) e concluíram que a demanda hídrica da cana-de-açúcar, quando estimada Penman Monteith -FAO 56 e SAFER é de 1077,56 mm e 1278,9 mm, respectivamente. E, em

geral, o método SAFER superestimou a evapotranspiração da cana-de-açúcar em 22,89 %, quando comparada com método de ETBHS.

Rosenfeld (2004) comparou dados de deficiência hídrica anual com a produtividade da cana-de-açúcar na Usina Porto Rico, localizada em São Miguel dos Campos – AL, e observou uma relação inversamente proporcional entre essas duas variáveis. Sendo que no período de 1977 a 1979, apesar de ter ocorrido um pequeno acréscimo de na deficiência hídrica, a produtividade também teve um pequeno aumento. Mas isso é explicado pelo fato que nesse período a Usina começava investir em irrigação e variedades mais adaptadas às condições climáticas da Região.

1.5 Sistemas de cultivo da cana-de-açúcar

Os sistemas de cultivos de uma determinada cultura agrícola são definidos pelas práticas e manejos utilizados no decorrer do ciclo de produção. De modo que, quando as atividades de um cultivo são realizadas, totalmente, com máquinas, tem-se um sistema de cultivo mecanizado. E, dependendo da forma de atendimento da demanda hídrica das plantas, há, basicamente, dois sistemas de cultivo: a) O de sequeiro, quando a cultura inicia e termina seu ciclo de produção exclusivamente com a água oriunda da chuva e b) O irrigado, quando se utiliza irrigação em alguma fase ou época do cultivo. As principais atividades a serem realizadas na cultura da cana-de-açúcar são: plantio, composto pelas operações de preparo do solo, semeio e cobertura; tratos culturais, que corresponde a adubação, controle de pragas, doenças e plantas nativas; irrigação, no caso de cultivos irrigados; e pôr fim a colheita.

1.5.1 Plantio

A cana-de-açúcar é uma cultura agrícola semiperene e, para que haja rendimentos financeiros satisfatórios, o ciclo de plantio ou renovação precisa ocorrer com um mínimo de cinco anos, com pelo menos cinco colheitas. Portanto, essa operação deve ser planejada nos mínimos detalhes para evitar falhos ou erros que possam comprometer o desempenho e longevidade do futuro canavial. Nesse planejamento, os principais pontos a serem definidos são: época de plantio, cultivar, preparo de solo e espaçamento. Além dessas operações, outras atividades que também

precisam ser planejadas, como: tratos culturais, principalmente controle de pragas, doenças e plantas daninhas e, em cultivos irrigados, o manejo da irrigação.

g) Irrigação

A irrigação é uma prática agrônômica que tem por finalidade o suprimento hídrico das culturas agrícolas, sobretudo, em cultivos perenes ou semi perenes, como a cultura da cana-de-açúcar, que ao longo do ano passa por períodos de excessos e déficits hídricos. No cultivo dos canaviais, a irrigação pode propiciar benefícios diretos e indiretos. O benefício direto mais evidente é o aumento da produtividade e longevidade dos ciclos de plantio ou renovação do canavial, que passa de 4 a 6 anos nos cultivos de sequeiro (sem irrigação) para 8 a 10 anos, dependendo do método e tipo de irrigação utilizado; e como benefício indireto, é possível citar o aumento da eficiência na utilização de insumos utilizados na cultura, como fertilizantes, corretivos etc., melhoria da qualidade da matéria prima que são colmos utilizados nas indústrias e estabilidade da produção. A irrigação também torna possível o cultivo da cana-de-açúcar em regiões climáticas totalmente inaptas ao cultivo de sequeiro, como exemplo da região de Juazeiro da Bahia, onde fica instalada a usina Agrovale.

A implantação de sistemas modernos de irrigação visa a racionalização do uso da água através de técnicas de irrigação que naturalmente permitam a preservação ambiental e a durabilidade dos recursos inclusive da água: viabilização de uma produção de cana-de-açúcar mais equilibrada no Nordeste (Zona da Mata e Sertão), gerando emprego e divisas a partir de atividades socioeconômicas na região semiárida confrontada aos problemas climáticos é chave, inclusive, para evitar a migração. O aumento do rendimento agrícola ocorre no caso, sem expansão da superfície cultivada. Considerando que os produtores buscam a redução de custos de produção e a competitividade através do aumento da produtividade da matéria-prima cana-de-açúcar, a solução para esses problemas são as novas técnicas de irrigação com uso de sistemas modernos para a obtenção de energia elétrica produzida na própria indústria a partir de resíduos da cana (bagaço) cana. Faz parte da gestão moderna dessa agroindústria investir em diversificação da produção desenvolvendo uma matriz energética que reduz as crises periódicas do mercado do açúcar, álcool, e/ou, dos desequilíbrios ambientais na Zona da Mata a exemplo dos causados pela má distribuição das chuvas. O cultivo da cana no meio irrigado elimina os efeitos de

irregularidades climáticas que provocam déficits hídricos. (DUBEUX-TORRES, 2003).

A cultura da cana-de-açúcar pode ser irrigada por todos os métodos convencionais, como: por superfície, aspersão e localizado. Pelo método de irrigação por superfície, os sistemas mais utilizados são a irrigação por sulco e inundação; no método de aspersão, prevalecem os aspersores auto-propelidos, o Pivô central e os sistemas de torres paralelas; e o gotejamento é o sistema do método localizado que predomina.

Dependendo da época e da quantidade de água utilizada na irrigação na cultura da cana-de-açúcar, existem três tipos de irrigação: salvação, complementar e plena.

- Irrigação de salvação:

A irrigação de salvação na cultura da cana-de-açúcar, assim como em outras culturas perenes e semi-perenes, tem como objetivo a manutenção do estande (número de plantas por unidade de área) através da aplicação de lâminas de 30 a 60 mm por ciclo de cultivo. Os sistemas de irrigação mais indicados para esse fim são os auto-propelidos e os canhões de alta pressão com montagem direta. Normalmente os custos da irrigação de salvação são muito elevados e por isso não trazem ganhos econômicos diretos, no sentido de aumento de produtividade, tendo como vantagens apenas a longevidade do canavial e manutenção da produção.

- Irrigação complementar:

O objetivo dessa irrigação é completar o crescimento da cana com a aplicação de lâminas que variam de 180 a 300 mm no final de cada ciclo anual de cultivo. Essas lâminas normalmente são divididas em 3 ou 5 aplicações. Os sistemas de irrigação mais indicado para essa irrigação são os pivôs (circular rebocável, paralelo e circular fixo). Porém, algumas empresas e produtores de cana-de-açúcar utilizam canhões auto-propelidos.

- Irrigação Plena:

Nessa irrigação, a necessidade hídrica da cultura é totalmente atendida. Em Alagoas, normalmente, são aplicados de 500 a 800 mm de água por ciclo de cultivo anual. Os sistemas de irrigação mais utilizados são os pivôs paralelos e circulares e o gotejamento subsuperficial.

1.5.2 Cultivares

A cultivar a ser utilizada nos plantios comerciais de cana-de-açúcar é escolhida em função das características edafoclimáticas dos ambientes de produção e do manejo agrônomo a ser adotado. Em relação aos ambientes de produção, também é preciso verificar o histórico de doenças da região e até mesmo da localidade em que será instalada a cultura porque, em caso de incidência de alguns fitopatógenos na região ou localidade, recomenda-se a escolha de cultivares resistentes a esses microorganismos. Dentre as características edafoclimáticas a serem observadas, destacam-se a textura e fertilidade do solo, relevo do terreno e pluviometria (quantidade de chuva). Quanto ao manejo agrônomo, é necessário definir se o cultivo será em regime de sequeiro ou irrigado e se a colheita será feita no início, meio ou final de safra.

A cultivar de cana adotada é um dos fatores que influenciam significativamente a produtividade agrícola, os rendimentos agroindústrias e, por fim, o sucesso dos empreendimentos do setor agroenergético. Por isso, no mundo existem diversas instituições públicas e privadas, com programas e/ou projetos de pesquisa de melhoramento genético, numa busca constante por novos genótipos de cana-de-açúcar e, em alguns momentos, cana-energia. Cada uma dessas instituições adotam uma sigla no início do nome das cultivares registradas e/ou protegidas que identifica a origem do material genético. Dentre as quais, destacam-se: “Co” (Coimbatore, Índia), “H” (Havai, EUA), “NA” (Norte da Argentina), “Q” (Queensland, Austrália), “CP” (Canal Point, Flórida, EUA). No Brasil, tem: RB (República Brasil, da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro), “POJ” Proefstation Oost, Java, Indonésia), “SP” (Copersucar, São Paulo), IAC (Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo), CTC (Centro de Tecnologia Canavieira, São Paulo. Esse centro assumiu e substituiu o Copersucar), entre outras.

A Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), que atualmente é composta por 10 (dez) universidades (Federal Alagoas (UFAL), Rural de Pernambuco (UFRPE), Federal Viçosa-MG (UFV), Federal de São Carlos-SP (UFSCar), Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Federal Paraná (UFPR), Federal de Sergipe (UFS), Federal de Goiás (UFG), Federal do Mato Grosso (UFMT) e Federal do Piauí (UFPI)), surgiu em 1990, após a extinção IAA (Instituto

do Açúcar e do Alcool), o encerramento do PLANALSUCAR (Programa Nacional do Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar) e o fim do incentivo do governo federal para projetos de pesquisa e desenvolvimento do setor sucroalcooleiro, inclusive para o melhoramento genético da cana-de-açúcar (OLIVEIRA e al, 2021).

E, nesse mesmo período, a RIDESA, com uma medida assertiva, incorporou os recursos humanos e as estruturas físicas e tecnológicas do PLANALSUCAR. Mas, por outro lado, o governo federal cortou os recursos financeiros para dar continuidade às pesquisas de desenvolvimento das cultivares RB. Então, os pesquisadores da RIDESA formataram os primeiros projetos para captação de recursos financeiros, principalmente, junto às usinas e destilarias de produção de açúcar e álcool nas diversas regiões do Brasil. E, de 1990 a 2022, o êxito ou sucesso dos trabalhos da RIDESA foi tanto que, de acordo com Oliveira et al. (2021), em 1990, a área de cana-de-açúcar, cultivada com variedades da sigla RB era apenas 5,0 % e em 2020 passou para 60,0 %. Segundo Rubens (2023) na safra 2022/2023 a cinco variedades mais cultivadas no Brasil foram: RB867515 (15%) a mais cultivada, sendo seguida pela variedade CTC4 (13%), RB966928 (12%), RB92579 (6%) e a RB CTC 9001 (6%). Na Figura 1.1 e na Tabela 1.2 encontram-se o censo varietal de cana-de-açúcar da safra 2022/2023.

1.6 Produtividade agroindustrial

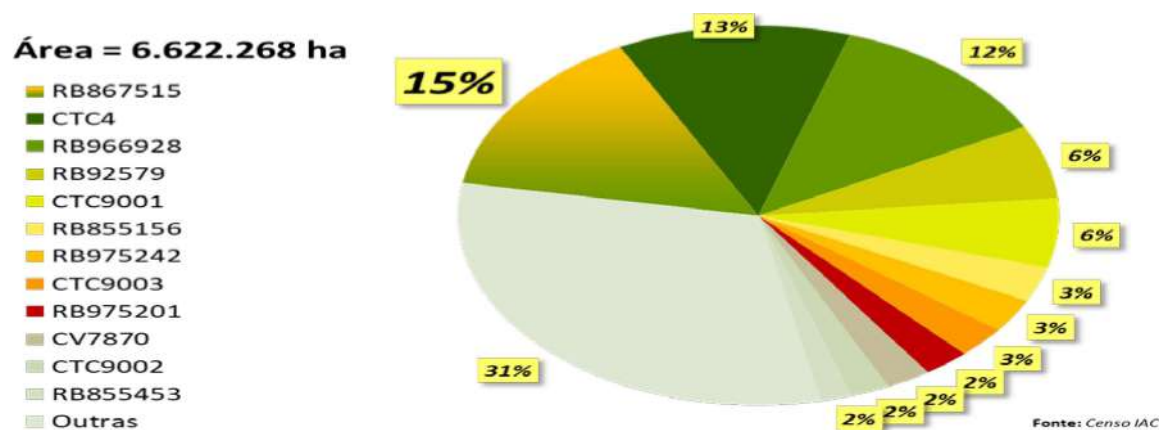
As variáveis mais importantes para a manutenção de um empreendimento agropecuário são as produtividades agrícolas e industriais que combinadas podem gerar ganhos financeiros significativos ou, às vezes, dependendo das circunstâncias climáticas e/ou de mercado podem resultar em prejuízos. Portanto, na cultura da cana-de-açúcar, as variáveis a serem monitoradas são os rendimentos agrícola, produtividade colmos ou cana por unidade de área, e industrial, que está relacionado com a qualidade da matéria prima (colmos da cana-de-açúcar).

1.6.1 Produtividade agrícola

A produtividade agrícola, normalmente é expressa em toneladas ou kg de produtos por unidade de área. Na cultura da cana-de-açúcar, essa variável é expressa em toneladas de colmo por hectare, cuja sigla (TCH) é amplamente utilizada entre os

técnicos açucareiros nacionais e internacionais. Mas, as revistas, responsáveis pelas divulgações dos trabalhos de pesquisas mundiais, recomendam o uso da unidade Megagrama por Hectare (Mg ha^{-1}).

Figura 1.1 - Censo varietal da cana-de-açúcar, com área de cultivo e proporção das principais variedades no Brasil, safra 2022/2023.



Fonte: IAC (2023)

Tabela 1.2 - Resumo do Censo varietal da cana-de-açúcar em Alagoas, em áreas próprias - safra 2022/2023.

CULTIVARES	* PLANTIO 2022		ÁREA EM Ha COLHIDA NA SAFRA 22/23						TOTAL
	INVERNO	VERÃO	1º CORTE	2º Corte	3º Corte	4º CORTE	5º CORTE	OUTROS	
RB92579	9.173	4.807	16.002	16.501	13.239	14.216	10.492	10.489	94.919
RB041443	191	229	668	351	702	239			2.380
DIVERSAS	942	2.413	3.548	1.830	2.756	3.399	2.290	3.620	20.798
SP79-1011	476	137	1.109	2.551	1.883	2.162	2.851	5.483	16.652
RB867515	684	75	1.116	1.473	1.308	1.619	1.105	788	8.168
RB0442	625	722	1.633	1.671	1.451	1.315	629	92	8.138
VAT90-212	14	163	267	655	676	1.621	1.491	2.288	7.175
RB08791	1.531	1.112	1.907	1.482	876	140	7	91	7.146
RB07818	2.032	1.412	1.353	823	452	82	84	79	6.317
RB951541	0	441	0	41	302	357	1.192	3.141	5.474
RB943047	1	144	128	472	574	1.030	960	976	4.285
RB93509	0	0	739	751	880	1.259	320	38	3.987
RB011549	148	99	695	1.263	414	478	316	391	3.804
SP78-4764	84	77	147	198	811	544	661	541	3.063
RB011494	112	512	482	453	273	295	77	39	2.243
RB961552	54	25	274	330	234	264	633	186	2.000
RB931003	46	103	486	187	362	289	69	427	1.969
RB077814	280	218	357	73	383	48	4	3	1.366
RB99395	0	23	133	71	138	2	366	582	1.315
TOTAL	16.393	12.712	31.044	31.176	27.714	29.359	34.039	39.743	222.180

Fonte: Sindaçucar (2023)

Os indicadores de produção agroindustrial do setor sucroenergético brasileiro, na safra 2021/2022, foram: área colhida de 8,6 milhões de hectares, total de cana moída, 585,2 milhões de toneladas, produtividade agrícola de 76,9 toneladas de cana por hectare, produção de 27,0 bilhões de litros de etanol e 32,1 milhões de toneladas de açúcar (CONAB, 2022). Alagoas produziu 17,0 milhões de toneladas de cana, produtividade agrícola de 56,9 toneladas de cana por hectare, 422,1 milhões de litros de etanol e 1,4 milhões de toneladas de açúcar. Na safra 2022/23 o Brasil colheu 610,1 milhões de toneladas de cana em uma área de 8.288,9 mil de hectares com uma produtividade média de 73,6 t ha⁻¹. Em Alagoas, foram colhidas 20,8 milhões de toneladas de cana em uma área de 304,3 mil hectares e produtividade média de 68,4 t ha⁻¹, 14,5% superior à obtida na safra anterior (SINDAÇÚCAR, 2023).

As principais causas de variação da produtividade agrícola da cana-de-açúcar são: a disponibilidade hídrica do solo que varia de acordo com a quantidade e distribuição das chuvas durante o ciclo de cultivo; a seleção ou uso de cultivares adequadas aos ambientes de produção, incidência de pragas e doenças e; idade dos canaviais.

Dias et al. (2021), observaram que a produtividade da cana-de-açúcar em Boca da Mata, município da zona central da região canavieira alagoana, no período de 1999 a 2018, variou de 55,67 (2018) a 75,40 (2015) e dentre as principais causas dessa variação, destacam-se a quantidade e a distribuição das chuvas durante as safras. Na região de Planaltina, DF, Rodolfo Júnior et al. (2016) conseguiram produzir até 182,3 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar, mas com irrigação.

Morais et. al. (2017) avaliaram 25 clones RB de cana-de-açúcar, na região de Jaguari, RS e conseguiram produtividades variando de 56,90 t ha⁻¹ (com o clone RB945177) a 118,0 t ha⁻¹ (com o clone RB987935), no ciclo de cana-planta e de 67,83 t ha⁻¹ (com o clone RB986419) a 140,50 t ha⁻¹ (com o clone RB845210), na colheita da primeira soca. Esses dados de produtividade agrícola indicam que as características edafoclimáticas, das localidades de cultivo, a genética da cultivares e o manejo agrônomo dos cultivos tem fortes influência sobre os rendimentos e sucesso financeiros dos plantios de cana-de-açúcar.

E, a costa leste do Nordeste brasileiro que é uma região com tradição no cultivo da cana-de-açúcar. No entanto, em 20/10/2011 a produtividade agrícola da safra nesta área foi de 57,16 enquanto na região Sudeste atingiu 82,0 t ha⁻¹

1.6.2 Qualidade industrial da cana-de-açúcar

A qualidade dos colmos, produzidos na cultura da cana-de-açúcar, é tão importante para os resultados financeiros dos empreendimentos agroindustriais do setor sucroenergético, quanto a produtividade agrícola, que representa a quantidade total de colmos produzidos por unidade de área cultivada. Dessa forma, a busca pela melhoria da qualidade da matéria prima (colmo) a ser entregue nas indústrias, torna-se imprescindível para o aumento dos rendimentos industriais e consequentemente financeiros. Portanto, para conseguir esses aumentos, as variáveis a serem monitoradas para melhorar a qualidade dos colmos entregues nas usinas de açúcar e álcool são: os Sólidos Insolúveis em água (FIBRA, composta principalmente por celulose, com os teores expressos em percentagem -%), Sólidos Solúveis em água (BRIX, que representa os açúcares totais e com teores expressos em %) e Umidade, que representa a água, expressa também em %. O BRIX, juntamente com a Umidade formam o caldo da cana e ao se somar com a FIBRA, O resultado deverá ser, sempre, igual a 100%. De acordo com Fernandes (2000), o principal componente da cana é a água que pode chegar 78% do peso total dos colmos, no início do desenvolvimento vegetativo, e decrescer até 68% quando a cana atinge o ponto máximo da maturação. A partir do desdobramento dessas três variáveis é possível identificar mais uma série de outros dados ou coeficientes que podem indicar perdas ou ganhos qualitativos da matéria prima produzida nos canaviais. Este trabalho ficará restrito aos comentários e/ou análises das variáveis FIBRA, BRIX, POL, Açúcares Redutores (AR), Pureza e Açúcares Totais Recuperáveis (ATR), cujos significados técnicos e fórmulas para os cálculos estequiométricos serão apresentados a seguir, conforme Fernandes (2000).

a) Fibra

A fibra é a matéria insolúvel contida na cana e que, dependendo do tratamento dado ao material analisado, pode ser classificada em dois tipos: 1) Fibra botânica, quando a análise é realizada em colmos limpos (composta principalmente por celulose, hemi-celulose, lignina, pectina e outros componentes da parede celular); 2) Fibra industrial, quando o valor se refere à análise da matéria prima entregue na usina e, portanto, inclui as impurezas ou matérias estranhas que provocam aumento dos sólidos insolúveis (palha, plantas daninhas, ponteiro de cana, terra etc.). Após o processamento da cana-de-açúcar, a fibra é transformada em bagaço.

Entre os métodos utilizados para o cálculo ou estimativa da fibra da cana, no Brasil, destacam-se o método do digestor a frio e o da prensa hidráulica.

Na análise da qualidade da cana-de-açúcar pelo método do digestor a frio, a fibra da cana, em percentagem (FIB_d), é calculada, com diferentes proporções de água e cana no copo do digestor, pela equação:

$$FIB_d = \frac{100 - UMID_d - \left(\frac{a}{c} + 1\right) * b}{1 - 0,01 * b}$$

Em que, $UMID_d$ é a umidade da cana, em percentagem, b é o BRIX refratométrico do extrato do digestor; a é a massa de água utilizada no digestor e c é a massa de cana no digestor.

Como, normalmente, se utilizam 500 gramas de cana desintegrada e 1000 mL de água no copo do digestor por 10 minutos. Então, com $a = 1000g$ de água e $c = 500g$ de cana, a fórmula passa a ser:

$$FIB_d = \frac{100 - UMID_d - 3 * b}{1 - 0,01 * b}$$

O método da prensa hidráulica, para avaliar a qualidade da cana-de-açúcar, tem sido adotado, no Brasil, desde 1972. Esse método consiste na prensagem de 500 gramas de cana desintegrada, por um minuto, a 250 Kgf cm^{-2} . E, no caldo extraído, determina-se o BRIX e, depois da clarificação, a polarização (POL). O bagaço residual (contendo caldo não extraído e fibra), é pesado para obtenção do Peso do Bolo Úmido (PBU) e depois colocado em estufa de circulação de ar forçada para secar até atingir peso constante, quando se tem o Peso do Bolo Seco (PBS). Opcionalmente, é possível obter a umidade do bagaço, com a pesagem de a penas parte do material.

Quando a análise é realizada para fins de Pagamento da Cana pelo Teor de Sacarose (PCTS), não se realiza a secagem do bagaço da prensa e a fibra (F_{pcts}) é calculada pela equação de correlação linear, em do peso do bagaço úmido, conforme a equação:

$$F_{pcts} = (0,152 * PBU - 8,367)$$

Tanimoto (1964), sugeriu uma fórmula para calcular a fibra da cana (FIB) com qualquer quantidade de cana triturada para extração do caldo a ser analisado que é:

$$FIB = \frac{100 * PBS - PBU * Bj}{0,01 * m * (100 - Bj)}$$

Em que PBU é o peso do bolo úmido (em gramas), PBS é o peso do bolo seco, após a secagem em estufa de circulação de ar forçada, até atingir peso constante (em gramas), Bj é o BRIX do caldo extraído da cana ou do bagaço das moendas, em percentagem, e “m” é a massa de bagaço ou de cana utilizada na prensagem, em gramas.

Quando não há possibilidade de secagem do bagaço da prensa para a obtenção do PBS, recomenda-se a utilização de colmos de cana inteiros, limpos e despontado e o cálculo da fibra da cana inteira, em percentagem, sem secagem do bagaço (FIB_e) é feito pela equação:

$$FIB_e = 0,09079 * PBU - (0,03503 * Bj + 0,099745).$$

Essa equação, com o sistema de secagem do bagaço, fornece resultados mais consistentes do que a equação desenvolvida para os toletes retirados pela sonda diretamente nas carrocerias dos caminhões e que é utilizada no sistema PCTS.

b) Sólidos solúveis (BRIX)

O BRIX é o parâmetro mais utilizado na indústria do açúcar e do álcool para medir o teor de açúcares em uma solução açucarada impura como o caldo extraído da cana-de-açúcar, estritamente expressa em percentagem (peso/peso). O caldo da cana contém, em sua composição básica, três açúcares: sacarose, glucose e frutose. Existem, basicamente dois tipos de BRIX, o Areométrico, obtido por areômetros que são densímetros calibrados com solução aquosa de sacarose pura a 20° C, e o Refratométricos, obtido por refratômetros que são aparelhos eletrônicos que medem o índice de refração de soluções de açúcar e fornece a percentagem de sólidos solúveis da referida solução.

Os valores de BRIX mais comumente usados são os do caldo, em percentagem. Entretanto, em alguns casos, são necessários a determinação do BRIX da cana, em percentagem, que é calculado pela fórmula:

$$BRIX = Bj * (1 - 0,01 * FIB)$$

Em que Bj é o BRIX do caldo extraído da cana ou do bagaço das moendas, em percentagem.

A soma do BRIX, FIBRA e umidade, em percentagem de cana, deve ser sempre igual a 100. Assim, conhecendo-se a umidade, em percentagem da cana (UMID) por análise direta, tem-se:

$$\text{BRIX} = 100 - \text{UMID} - \text{FIB}$$

c) Percentagem de sacarose aparente na cana (POL)

É a percentagem de sacarose contida numa solução de açúcares, a exemplo do caldo de cana. Esse índice pode ser determinado por métodos sacarimétricos (polarímetros ou sacarímetros). A POL na cana pode ser determinada por sacarimetria, em função do percentual de fibra da cana. Pois, as diferenças entre o POL e a sacarose da cana, causadas pelos erros na determinação desse percentual de fibra e a precisão das amostragens, na escala de rotina, tornam-se insignificantes.

O cálculo da POL, pelo método da prensa hidráulica, é feito pela equação:

$$\text{POL} = \text{Sj} * (1 - 0,01 * \text{FIB}) * (1,0313 - 0,00575 * \text{FIB})$$

O fator $(1,0313 - 0,00575 * \text{FIB})$, é denominado coeficiente “c” e representa a transformação da POL do caldo extraído (Sj) em POL do caldo absoluto para as condições de trabalho da prensa de extração do caldo.

A composição química do caldo da cana depende do tipo de caldo a que se refere, do sistema de extração e do tratamento químico empregado. Os principais tipos de caldos são: caldo absoluto, caldo clarificado, caldo extraído, caldo misto e caldo residual.

- ✓ Caldo absoluto: é todo caldo da cana, extraído de uma massa hipotética de cana e pode ser obtido, em percentagem de cana, pela diferença $(100 - \text{fibra da cana})$;
- ✓ Caldo clarificado: é o caldo resultante da do processo de clarificação, é o mesmo que “o caldo decantado”;
- ✓ Caldo extraído: refere-se à proporção do caldo absoluto extraído por meio mecânico (moenda ou prensa de laboratório);

- ✓ Caldo misto: caldo obtido nas moendas com embebição, por isso é formado pelo caldo extraído com a água adicionada para a embebição da cana;
- ✓ Caldo residual: é o caldo retido no bagaço após a extração por algum método mecânico (moagem, difusão ou prensagem) ou a diferença entre caldo absoluto e o caldo extraído.

Além desses caldos, existem ainda: caldo primário (ou caldo de primeira pressão), que é o caldo que sai na primeira moenda; caldo de segundo terno de moagem é o caldo que sai do segundo e demais ternos de moagem em algumas usinas, esse caldo é separado para a fabricação de álcool; caldo dosado ou caleado é o caldo que recebe leite de cal para a clarificação; caldo sulfitado é o caldo que passa pelas torres de SO₂ e; caldo filtrado que é o caldo que resulta da filtragem do lodo em filtros ou prensas desaguadoras. A POL do caldo extraído (Sj) é calculada pela fórmula:

$$Sj = \frac{0,26 * LPol}{MEj}$$

Em que LPol é a leitura sacarimétrica do caldo clarificado em tubo de 200 mm e MEj é a massa específica ou densidade do caldo extraído. A MEj pode ser obtida em tabelas de correspondência com o BRIX do caldo (Bj) ou através da equação de correlação:

$$MEj = (0,00431 * Bj + 0,99367)$$

Essa equação é válida para a faixa de BRIX normalmente encontrada no caldo extraído da cana por meio de prensa, entre 7,5 e 25,0 %. Para valores mais elevados recomenda-se a utilização de tabelas oficiais de massa específica para o tipo de caldo analisado.

A POL do caldo (Sj) também pode ser calculado de forma simplificada em função da correlação da massa específica com o BRIX do caldo, pela equação:

$$Sj = LPol * (0,26047 - 0,0009882 * Bj)$$

Quando se faz a clarificação com misturas a base de cloreto de alumínio hexahidratado, hidróxido de cálcio e auxiliar de filtração, a leitura sacarimétrica no caldo extraído (Lai) deve ser transformada em leitura equivalente com subacetato de chumbo (Lpb) pela equação:

$$Lpb = 1,00621 * Lai + 0,05117$$

c) Açúcares redutores (AR)

O termo “açúcares redutores” é utilizado para designar, principalmente, a glucose e a frutose que apresentam a propriedade de reduzir o cobre do estado cúprico a cuproso. Os monossacarídeos são opticamente ativos, sendo a rotação específica da glucose $+52,70^\circ$ e da frutose $-92,40^\circ$, ambos a 20°C . Quando misturados em proporções iguais a rotação específica da mistura passa a ser $-39,70^\circ$. Por ser dextro-rotatória, a glucose ou glicose é denominada de dextrose e a frutose que é levógira, também é chamada de levulose. No caldo da cana-de-açúcar observa-se que a relação dextrose/levulose é normalmente maior do que 1,00 e decresce de 1,60 para 1,10 com o aumento do teor de sacarose nos colmos. Os açúcares redutores, no processo industrial, são produtos percussores de cor, isto é, aumentam a cor do açúcar e deprecia a qualidade do produto.

A mistura equimolecular de glucose e frutose, obtida pela hidrólise da sacarose, dar origem aos açúcares invertidos. A sacarose hidrolisa-se estequiometricamente numa mistura de partes iguais de glucose e frutose, na presença de alguns ácidos e temperatura adequada ou, então, pela ação de enzimas denominadas invertases. No interior das plantas, o desdobramento da sacarose em glucose e frutose é uma reação de duplo sentido, isto é, ocorre a inversão assim como a combinação durante o metabolismo da fotossíntese. Por isso, ao se analisar o caldo da cana-de-açúcar recém cortada, obtêm-se os produtos participantes desse processo bioquímico. O metabolismo da planta altera a relação glucose/frutose.

A soma de todos os açúcares contidos na cana na forma de açúcares invertidos, resultam na variável Açúcares Redutores Totais (ART). O teor de ART pode ser obtido por análise após a inversão ácida da sacarose ou, em materiais de alta pureza, como o caldo da cana-de-açúcar, pode ser calculado pela soma dos açúcares redutores glucose e frutose com a sacarose na forma de açúcares invertidos. Além da glucose, frutose e sacarose invertida, outras substâncias redutoras presentes no caldo de cana podem estar incluídas ou contidas na análise.

Para a estimativa dos ARs, pelo método de Lane e Eynon (1923), há necessidade de diluir o caldo da cana de modo que o volume gasto na titulação de 10 mL do licor de Fehling esteja entre 15 e 50 mL e os resultados são melhores, quando a diluição fica acima de 30 mL. Essa diluição deve ser feita com pipetas volumétrica e balões de 100 ou 200 mL. Em balões de 100 mL e com as pipetas disponíveis no mercado, as diluições podem ser feitas conforme a Tabela 1.3.

Os ARs são estimados ou calculados pela equação:

$$AR = \frac{f \cdot (5,2096 - n_{0,2625} \cdot \sqrt[3]{(0,26 \cdot \frac{LPol}{f})})}{Var \cdot (0,00431 \cdot Bj + 0,99367)}$$

Em que, AR 'são os açúcares redutores do caldo (%), f é o fator de diluição do caldo para titulação (1, 2, 4,5 ou 10), LPol é a leitura sacarimétrica do caldo clarificado em tubo de 200 mm, Bj é o BRIX do caldo (%) e “Var” é o volume de caldo gasto (corrigido pelo fator do licor de Fehling) na titulação de 10 mL do licor.

Tabela 1.3 – Relação da diluição e fator de diluição (f), em balões de 100 mL, para o cálculo do AR pelo método de Lane e Eynon (1923)

Caldo* (mL)	Relação de diluição	Fator de diluição (f)
10	01:10	10
20	01:05	5
25	01:04	4
50	01:02	2
100	sem diluição	1

d) Pureza

A “pureza real” é a percentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis. Quando se utiliza os valores da percentagem sacarose aparente (POL) e Sólidos Solúveis (BRIX), obtém-se, então, a “pureza aparente”. Quando o BRIX é determinado por refratômetro, tem-se a “pureza aparente refratométrica” e se for obtido por aerômetro, tem-se a “pureza aparente aerométrica”. Nas destilarias de álcool autônomas se utiliza a percentagem de açúcares totais (ART) contida no brix (pureza em ART) para expressar a qualidade do caldo da cana para a fermentação.

e) Açúcares totais recuperáveis (ATR)

A variável ATR representa a quantidade de açúcares (na forma de açúcares invertidos ART) que são recuperados na usina, em quilogramas de açúcar por tonelada de cana, admitindo-se perdas médias de 12% durante as fases do processo de fabricação: lavagem da cana, extração (perda de POL no bagaço), torta dos filtros e outras indeterminadas.

No Centro-Sul do Brasil, a ATR é calculada pelas fórmulas:

$$ATR = 9,26288 \cdot PC + 0,88 \cdot AR \text{ ou } ATR = 8,8 \cdot \left(\frac{PC}{0,95} + AR \right)$$

Em que, PC é a Pol na cana e o AR são os açúcares redutores (%), que pode ser estimado pelos Açúcares Redutores, em percentagem do caldo, estimados (AR_{Je}) pela Pureza no Caldo (PUR).

Em que os AR_{Je} e a PUR são estimados pelas equações:

$$AR_{Je} = 9,9408 - 0,1049 \cdot PUR \quad e$$

$$PUR = 100 \cdot \left(\frac{Sj}{Bj} \right)$$

Em que Sj é a POL, em percentagem do caldo, e o Bj é o BRIX, em percentagem do caldo, extraído da cana na prensagem. O Sj é estimado pela equação:

$$Sj = (1,0062 \cdot LPol + 0,05117) \cdot (0,26047 - 0,0009882 \cdot Bj)$$

LPol é a leitura sacarimétrica do caldo clarificado, em tubo de 200 mm, com a mistura de clarificante.

Atualmente, no Brasil, o valor da tonelada da cana-de-açúcar é estimado em função da quantidade ATR, por tonelada de cana, multiplicado do pelo preço do quilograma de ATR.

De acordo com o CONSECANA - ALAGOAS e SERGIPE, o sistema de remuneração da tonelada de cana-de-açúcar com base no Açúcar Total Recuperável (ATR), na SAFRA 2010/2011, os cálculos das variáveis: brix do caldo (BRIX – %), sacarose aparente do caldo - (POL_{CALDO} – %), sacarose aparente da cana (POL_{CAN} – %), pureza do caldo (PZA – %), teor de açúcares redutores do caldo (AR – %), açúcares totais recuperáveis (ATR – $kg \ t^{-1}$) e teor de sólidos insolúveis em água (FIBRA – %), foram e continuam sendo feitos assim:

A determinação do BRIX é realizada com refratômetro digital de leitura automática, com correção automática de temperatura, e valor final expresso a 20 °C. A POL_{CALDO} é estimada em sacarímetro automático digital, com resolução de 0,01 e aferido à 20 °C.

O teor de FIBRA é obtido pela Equação 1.1.

$$FIBRA = 0,0779 \times PBU + 2,3136 \quad (1.1)$$

em que, PBU é peso do bagaço úmido (gramas).

A POL da cana e a Pureza seguem as mesmas equações propostas por Fernandes (2000).

O AR é calculado pela Equação 1.2.

$$AR = 3,3459 - 0,02871 \times PZA \quad (1.2)$$

em que, PZA é pureza do caldo (%).

E, por fim, o ATR é determinado pela Equação 1.3.

$$ATR = 10 \times POL_{CANA} \times 1,0526 \times \left(1 - \frac{PI}{100}\right) + 10 \times ARC \times \left(1 - \frac{PI}{100}\right) \quad (1.3)$$

em que, POL_{CANA} é a sacarose aparente da cana (%); 1,0526 é o fator estequiométrico de conversão de sacarose em açúcares redutores; PI é a perda no processo industrial estimada em 11% e ARC são os açúcares redutores da cana (%), calculado pela Equação 1.4.

$$ARC = AR \% Caldo \times (1 - 0,01 \times FIBRA) \times C \quad (1.4)$$

em que, AR são os açúcares redutores do caldo (%); FIBRA é o teor de sólidos insolúveis em água (%) e “C” é coeficiente de transformação da POL_{CALDO} extraído em POL_{CALDO} absoluto.

De maneira simplificada, estimativa do ATR pode ser feita pela equação 1.5

$$ATR = (PC \times 9,3681) + (ARC \times 8,9) \quad (1.5)$$

1.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN R. G.; PEREIRA L. S.; RAES D.; SMITH M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome : Food Agriculture Organization of the United Nations: v. 301, 1998.

BARBOSA, G.V.S. **Contribuição do Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar para a indústria canavieira em Alagoas**, Curitiba 2014, 113f.il.

BARBOSA, G. V. S. et al. Energy Cane Breeding. In: SANTOS, F. et al. (Eds.). **Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives**. Elsevier, 2020. p. 103-116

BEEHARRY, R. P. **Strategies for augmenting sugarcane biomass availability for power production in Mauritius**. Biomass & Bioenergy, Aberdeen, v. 20, n. 6, p. 421-29, 2001.

BERLATO, M.A , MOLION, L.C.B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO, Secretaria da Agricultura – RS, 1981. 95p. (Boletim técnico, 7).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB) **Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-açúcar, 2022**. Disponível no site: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-açucar>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Quarto levantamento Safra 2022/2023**. Brasília: CONAB, 2023. 62 p.

CONSECANA- Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, álcool do Estado de Alagoas. **Representação dos Industriais**, SINDAÇÚCAR- AL, 2018.

CHRISTOFIDIS, D.: **Oportunidades de Irrigação no Cerrado: recursos hídricos dos cerrados e seu potencial de utilização na irrigação**. Revista item: irrigação e tecnologia moderna. Brasília: ABID, nº 69/70 p. 87 – 97, 2006.2006

DAROS, E. et al. **45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 25 anos de RIDESA**. 1. ed. Curitiba: Graciosa, 2015. 156 p.

DIAS, M. S.; CARTAXO, P. H. A.; SILVA, F. A.; FREITAS, A. B. T. M.; DANTAS, E. A.; MAGALHÃES, J. V. A.; SILVA, I. J.; ARAÚJO, J. R. E. S.; SANTOS, J. P. O.

Dinâmica produtiva da cultura da cana-de-açúcar em um município da zona da mata alagoana, 2021. Scientific Electronic Archives, Issue ID: Sci. Elec. Arch.Vol. 13 n.5 p. 22-28, 2021,

D'HONT, A.; GRIVET, L.; FELDMANN, P.; RAO, S.; BERDING N.; GLASZMANN, J.C. Characterisation of the double genome structure of modern sugarcane cultivars (*Saccharum* spp.) by molecular cytogenetics. **Molecular and General Genetics** **250**: 405-413, 1996.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yields response to water**. Rome: FAO, 1979. 306p. (FAO : Irrigation and Drainage Paper, n.33).

DUBEUX-TORRES, V. D. ; ESPIRITO SANTOS, G. **L'énergie électrique au service de l'irrigation des zones arides: le cas du Nordeste du Brésil**. In: L'Année Internationale de l'Eau douce déclarée par l'UNESCO. Revue de l'Electricité et de l'Electronique, N° 4, 111pg., p 53 - 58, EDP Sciences – REE, Paris, 2003.

DUBEUX-TORRES, V. L **Relação do Setor Público e Privado na Gestão do Setor Sucroenergético**, In: XXII Simpósio da Agroindústria da Cana-de-açúcar no Estado de Alagoas Revista da STAB, novembro - dezembro, Vol. 27 nº 2, 2008a.

DUBEUX-TORRES, V. L **Perspectivas da Biomassa para Produção de Bioenergia no Brasil: Bioetanol X Biodiesel**, In: XXII Simpósio da Agroindústria da Cana-de-açúcar no Estado de Alagoas Revista da STAB, novembro - dezembro, Vol.27 nº2, 2008b.

DUBEUX-TORRES, V. L **Gestão Sustentável da Reconversão Produtiva do Complexo Sucroenergético do Nordeste do Brasil: redimensionamento do espaço canavieiro de Alagoas**, Anais 10º Congresso da STAB, 375 – 378p. Ribeirão Preto, 2016.

DUBEUX-TORRES, V. L; DESCHAMPS (Dir)), **Séminaire international sur les énergies de la biomasse: EnerBiomassa'12**. Edufal, Maceió, 2017. Autres références: Brésil / Portugais Moyens de diffusion Imprimé/(www.seplande.al.gov.br)

DUBEUX-TORRES, V.L; DESCHAMPS, (Dir.) **Séminaire international sur les énergies renouvelable: RenovEnergie'14**. Edufal, Maceió, 2017. Autres références: Brésil / Portugais Moyens de diffusion Imprimé/ (www.seplande.al.gov.br)

FERNANDES A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2th edn, EME, Piracicaba, 2000, 240p.

INMAN-BAMBER, N.G. et al. Sugarcane physiology: integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, v.92, p.115-117, 2005.

LANDELL, M.G.A.; BRESSIANI, J.A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. p.101-155.

MING, R.; MOORE, P. H.; WU, K-K.; D'HONT, A.; GLASZMANN, J. C.; TEW, T. L.; MIRKOV, T. E.; DA SILVA, J.; JIFON, J.; RAI, M.; SCHNELL, R. J.; BRUMBLEY, S. M.; LAKSHMANAN, P.; COMSTOCK, J. C.; PATERSON, A. H. Sugarcane improvement through breeding and biotechnology. In : JANICK, J. (Ed.). **Plant Breeding Reviews**, v.27. New Jersey : John Wiley & Sons Inc, 2006. P. 15-118.

MONTEITH, J.L. **Principles of environmental physics**. New York: American elsevier publishing company, 1973. 168p.

MORAIS, K. P.; MEDEIROS, S. L. P.; SILVA, SERGIO, D. dos A. e.; BIONDO, J. C.; BOELTER, J. H.; DIAS, F. S. Produtividade de colmos em clones de cana-de-açúcar. *Rev. Ceres, Viçosa*, v. 64, n.3, p. 291-297, 2017

MUSSI, R. F.; ALVES JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; BATTISTI, R. Evapotranspiração da cana-de-açúcar estimada pelo algoritmo Safer. **Irriga**, v. 25, n. 2, p. 263-278, 2020.

OITICICA, R., **Projeto de Co-Geração de Energia na Usina Santo Antônio**, XXXIII Simpósio da Agroindústria da Cana-de-açúcar, Anais da STAB – Regional Leste. (CD-ROM), Maceió, Julho, 2016.

OLIVEIRA R., BARBOSAG.V., DAROS, E. et al. Anos (2021) **50 anos de Variedades de RB de Cana-de-açúcar: 30 Anos de Ridesa**. Graciosa, Curitiba, 199p., 2021.

PERES, J.G., PEREIRA, A.R., FRIZONE, J.A., VILA NOVA, N.A. Determinação da resistência do dossel da grama para as condições de evapotranspiração potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, V. 4. n. 1. p. 55 – 60. 1996.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia (Fundamentos e aplicações práticas)**. Livraria e Editora Agropecuária. Guaíba – RS. 2002. 478p.

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

ROSENFELD, U. **Irrigação em cana de açúcar, situação atual e perspectivas para o futuro**. In: XXII Simpósio da Agroindústria da Cana-de-açúcar no Estado de Alagoas. Maceió - AL. **Anais da STAB – Regional Leste. (CD-ROM) 2004..**

RUBENS et al, **Censo varietal da cana-de-açúcar, com área de cultivo e proporção das principais variedades no Brasil, safra 2022/2023**. In: XXII Simpósio da Agroindústria da Cana-de-açúcar no Estado de Alagoas, STAB – Regional Leste. Maceió – AL, 2023.

SACHS, I., In: BEKER, B.; BUARQUE, C.; NASCIMENTO, E.P. ; (org.). **Dilemas e desafios do desenvolvimento sustentável no Brasil**, (Ed) Garamond, 2007. p. 21 – 41.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: Histórico, evolução e análise crítica. **Rev. Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, V. 4, n. 1, p. i-xii. 1996

SEGATO, S. V. et al. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006a. P. 19-36.

SEGATO, S. V.; PEREIRA, L. L. Colheita da cana-de-açúcar: corte manual. In: SEGATO, S. V. PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006b. P. 319-332.

SANTOS, J. M.; BARBOSA, G. V. S. SILVA, P. P.; CRUZ, M. M. SILVA, A. M. O.; DUARTE FILHO, L. S.; DINIZ, C. A, 2013. Desenvolvimento de Cultivares de Cana Energia. In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, 7., Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2013. p. 992-995.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS – SINDAÇUCAR. Boletim da safra 2011/2012, n.26. 2011. Disponível em: <<http://www.sindacucar-al.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2012.

SINDAÇÚCAR-AL (Sindicato do Açúcar e do Alcool do Estado de Alagoas) disponível em <http://www.sindacucar.al.com.br/prodagricmedia.htm>., 2023.

SINDAÇÚCAR-AL (Sindicato do Açúcar e do Alcool do Estado de Alagoas). Relatório Estatístico Safra 2022/2023. Maceió, 2023, 56 pg.

STOLF, R e OLIVEIRA, A.P. **O Programa Nacional do Alcool, Proálcool – Breve Histórico Década a Década do Etanol no Brasil**, Anais 10º Congresso da STAB, 350 – 352p. Ribeirão Preto, 2016.

TEODORO, I. **Respostas técnico-econômicas da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada**. 2012. 100f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2012.

TEODORO, I. **Análise Agrometeorológica da Cultura da Cana-de-açúcar na Safra 2015/2016**, XXXIII Simpósio da Agroindústria da Cana-de-açúcar de Alagoas, Maceió, Julho, 2017.

TEW, T. L.; COBILL, R. M. Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum* spp.) as an energy crop. In: VERMERRIS, W. (Ed.). **Genetic Improvement of Bioenergy Crops**. New York, Springer, 2008. p. 249-272.

TOMAS¹, Daniel; BICHAT², Hervé; DUBEUX-TORRES³, Vera. **De la raffinerie de pétrole à la bioraffinerie : Un transfert de technologies au service du développement durable (des experiences en France et au Brésil)**, Seminário Internacional Energias Renováveis e Transição Energética, março/2014.1UTC; 2 PROSPECTIVE 2100, França;3 RIDESA, CECA, UFAL, Brasil.2014.www.renovenergia.2100.org.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET, 2000.

VIEIRA, M.C.A.; LIMA, J.F.; BRAGA, N.M. **Setor sucroalcooleiro brasileiro: evolução e Perspectivas**. DEAGRO-BNDES, p. 208-245, jun 2007. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/liv_perspectivas/07.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2016.

CAPÍTULO II

PRODUTIVIDADE AGROINDUSTRIAL DE GENÓTIPOS DE CANA EM QUATRO CICLOS DE PRODUÇÃO NO ESTADO DE ALAGOAS, BRASIL

RESUMO - A energia da biomassa da cana-de-açúcar é indubitavelmente, econômica e ambientalmente, uma das fontes energéticas mais viáveis para substituir o uso de combustíveis fósseis. E o complexo sucroenergético brasileiro é mundialmente um dos mais importantes para a geração de energia automotiva não poluente e energia elétrica através da cogeração. Por isso, com o objetivo de avaliar os rendimentos agroindustriais de genótipos de cana RB foi realizado um experimento de campo na Zona da Mata alagoana, em quatro ciclos de produção de seis genótipos de cana classificados, inicialmente, em três perfis agrônômicos: I - Genótipos de cana-de-açúcar tradicionais (RB92579 e RB951541); II - Genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca (RB0442 e RB0459) e; III - Genótipos de cana-energia (RB11999 e RB13403). As variáveis analisadas foram: precipitação pluvial, evapotranspiração de referência (ET_0), produtividade agrícola, açúcares totais recuperáveis (ATR) e fibra. A chuva, por ciclo de cultivo, variou de 2.255,0 mm (na cana-planta de 14 meses) a 1.243,0 mm, nos 12 meses da segunda soca ou terceiro ciclo de cultivo, a média geral dos quatro ciclos de produção foi de 1.667,0 mm. A produtividade agrícola, média dos seis genótipos, foi de $107,0 \text{ t ha}^{-1}$, no ciclo de cana-planta, a $71,4 \text{ t ha}^{-1}$; na segunda soca, com média geral dos quatro ciclos de $87,3 \text{ t ha}^{-1}$. Os valores de ATR variaram de 141,1 a 117,1 kg por toneladas de colmo, média geral de 125,4 kg por tonelada de cana e os teores de fibra máximo e mínimo foram de 18,7 e 12,6 %, no ciclo de 1ª soca do clone RB11999 e em cana-planta da cultivar RB951541, na mesma ordem. De modo que os rendimentos em toneladas de ATR por hectare (TATRH), média dos seis genótipos, foram de 14,2 da cultivar RB92579, em cana-planta a 7,6, dessa mesma cultivar, na 3ª soca, com média geral de 10,6 toneladas de ATR por hectare. E, por fim, A produtividade de Fibra foi de $19,1 \text{ t ha}^{-1}$, na 1ª soca do clone RB11999 a $7,4 \text{ t ha}^{-1}$, da RB92579 (na 3ª soca). Portanto, os genótipos RB0449 e RB0442, considerados como tolerantes a seca, são mais recomendados para cultivos, em regime de sequeiro, voltados para produção de açúcar, e os clones de cana-energia, RB13403 e RB11999, para a produção de etanol de segunda geração e energia elétrica a partir do bagaço dos colmos. As cultivares RB92579 e RB951541 são mais apropriadas para os cultivos irrigados e ambientes de produção com menores restrições hídricas.

Palavras - chave: Fibra; ATR; chuva; evapotranspiração.

AGROINDUSTRIAL PRODUCTIVITY OF CANE GENOYTYPES IN FOUR PRODUCTION CYCLES IN THE STATE OF ALAGOAS, BRAZIL

ABSTRACT - Energy from sugarcane biomass is undoubtedly, economically and environmentally, one of the most viable energy sources to replace the use of fossil fuels. And, the Brazilian sugar-energy complex is one of the most important worldwide for the generation of non-polluting automotive energy and electrical energy through cogeneration. Therefore, with the objective of evaluating the agro-industrial yields of RB sugarcane genotypes, a field experiment was carried out in the Forest Zone of Alagoas, four production cycles of six sugarcane genotypes, initially classified into three agronomic profiles: I - Traditional sugarcane genotypes (RB92579 and RB951541); II - Drought-tolerant sugarcane genotypes (RB0442 and RB0459) and; III – Energy-cane genotypes (RB11999 and RB13403). The variables analyzed were: rainfall, reference evapotranspiration (ET_0), agro-industrial productivity, total recoverable sugar (TRS) and fiber. The Rainfall, per cultivation cycle, varied from 2,255.0 mm (in 14-month cane-plant) to 1,243.0 mm, in the 12 months of the second ratoon or third cultivation cycle, a general average of the four production cycles was 1,667.0 mm. And, the agricultural productivity, average of the six genotypes, was 107.0 t ha⁻¹, in the cane-plant cycle, at 71.4 t ha⁻¹; in the second ratoon, with a general average of the four cycles of 87.3 t ha⁻¹. The TRS values ranged from 141.1 to 117.1 kg per tons of stalk, With a general average of 125.4 kg per ton of sugarcane and the maximum and minimum fiber contents were 18.7 and 12.6%, in 1st ratoon cycle of clone RB11999 and in sugarcane cultivar RB951541, in the same order. So that the yields in tons of TRS per hectare (TTRSH), average of the six genotypes, were from 14.2 of the cultivar RB92579, in cane-plant to 7.6, of this same cultivar, in the 3rd ratoon, with a general average of 10.6 tons of TRS per hectare. And, finally, Fiber productivity was 19.1 t ha⁻¹, in the 1st ratoon of clone RB11999, to 7.4 t ha⁻¹, of RB92579 (in the 3rd ratoon). Therefore, the genotypes RB0449 and RB0442, considered as drought tolerant, are more recommended for rainfed crops, aimed at sugar production ; the energy cane clones, RB13403 and RB11999, for the production of second-class ethanol and generation of electrical energy from stalk bagasse and ; the cultivars RB92579 and RB951541 are more suitable for irrigated crops and production environments with less water restrictions.

Keywords: Fiber; TRS; rain; evapotranspiration.

2.1 INTRODUÇÃO

As duas primeiras décadas do século 21 foram marcadas pelo aumento da demanda energética mundial e pelos problemas ambientais oriundos do aquecimento global devido ao aumento do efeito estufa que, para a maioria dos pesquisadores, tem como causa principal, o uso de combustíveis fósseis. Isso provocou uma busca por outras fontes de energias renováveis e ambientalmente sustentáveis para substituir esses combustíveis (SACHS et al., 2007; TOMAS et al., 2014). Nesse sentido, a energia da biomassa da cana-de-açúcar é indubitavelmente, econômica e ambientalmente, uma das fontes energéticas mais viáveis e o complexo sucroenergético brasileiro atual tem função social e econômica relevante, com a matéria-prima da cana-de-açúcar sendo a fonte de inúmeros produtos e derivados para alimentação humana e animal, passando a ser estratégica na geração de energia automotiva não poluente e energia elétrica através da cogeração.

A busca pelo estabelecimento e sustentabilidade da cultura da cana-de-açúcar, no território brasileiro, é bastante antiga, remonta ao período conhecido como “Ciclo da cana-de-açúcar”, e, atualmente, tem como base os aspectos sociais e ambientais, com vistas para a internacionalização dos mercados de *comodities* agroindustriais (DUBEUX-TORRES, 2016).

O Brasil, além de ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, é também considerado o país mais competitivo por deter os maiores níveis de rendimentos agroindustriais, com menores custos de produção. Na safra 2022/23, foram colhidas 610,1 milhões de toneladas de cana em uma área de 8,29 milhões de hectares, com uma produtividade média de 73,6 t ha⁻¹. Em Alagoas, foram colhidas 20,8 milhões de toneladas de cana em uma área de 304,3 mil hectares, produtividade agrícola média de 68,4 t ha⁻¹. Esses resultados são 14,5% superiores aos obtidos na safra anterior (SINDAÇÚCAR, 2023).

A produtividade agrícola da cana-de-açúcar, na Zona Canavieira alagoana e em toda costa leste da região Nordeste do Brasil, apesar do alto nível tecnológico utilizado, ainda é baixa. E, o principal motivo dessa baixa produtividade são as deficiências hídricas, que normalmente acontecem nos períodos de safra (de setembro do ano que se inicia a colheita e a moagem a março do ano seguinte, final da safra). Portanto, pelo fato do principal problema para o crescimento, desenvolvimento e produtividade dos

canaviais alagoanos, assim como em todo Nordeste brasileiro e em boa parte das demais regiões canavieiras do Brasil, ser a irregularidade das chuvas, há uma busca pela seleção de cultivares de cana tolerante a seca e resistentes a pragas e doenças, aliadas a características direcionadas para um novo “*mix*” de produção, como teores de sacarose mais elevados, para produção de açúcar e etanol, e fibra (biomassa) para produção de bioeletricidade e etanol de segunda geração.

Uma das soluções para mitigar os efeitos da deficiência hídrica é a irrigação que pode aumentar a produtividade de colmos em mais de 60 %. Mas essa tecnologia é onerosa e quando acontecem secas severas falta água para irrigar a maior parte dos canaviais. Por isso, adota-se outra alternativa que é a busca por variedades adaptadas a ambientes restritivos, com ocorrências de déficits hídricos (secas) que comprometem os rendimentos agroindustriais da cana-de-açúcar. Barbosa et al. (2012) estimaram que o melhoramento genético, através da substituição contínua de cultivares da cana-de-açúcar mais ricas e produtivas nos canaviais brasileiros, no período de 1970 a 2011 (40 anos), contribuiu com 50% dos ganhos de produtividade de açúcar total recuperável por hectare (ATRHA). E, ainda de acordo com esses pesquisadores, em 2011, metade dos 155,7 kg de ATR por tonelada de cana, obtidos na safra 2011/2012, equivalente 77,85 kg ha⁻¹, corresponde a um aumento de 4% ao ano. Portanto, nos nove milhões de hectares, cultivados com cana no Brasil na safra 2011/12, houve um aumento de 70,06 milhões de toneladas de ATR que, considerando o preço de US\$ 0,24, representou um ganho financeiro de 168,16 milhões de dólares.

Nas últimas quatro décadas houve ganho significativo de rendimento de açúcar e aumento da rentabilidade das empresas do setor açucareiro brasileiro e alagoano com a adoção de genótipos de cana-de-açúcar modernos. Entretanto, à medida em que toda a cana (colmo, ponteiros e palhas) passar a ser colhida, com o aproveitamento dos seus açúcares (sacarose, glicose e frutose) e das fibras (celulose, hemicelulose e lignina), essa cultura poderá ser uma fonte de enorme interesse econômico (BARBOSA, 2014). As cultivares de cana, com maiores teores de fibra, para atender as demandas de produção de bioeletricidade e etanol de segunda geração já existe e é denominada de cana-energia que, de acordo com Tew e Cobill (2008), pode ser de dois tipos: o primeiro é a cana-energia tipo I, composta, em média, por 70% de água, 17% de fibra e 13% de açúcar e; a segunda é a cana-energia tipo II, que possui em torno de 65% de água, 30% de fibra e 5% de açúcar. Esses pesquisadores informam também que a cana-energia tipo I pode ter acréscimo de até 40% no teor de FIBRA em relação à cana-de-açúcar tradicional, e pequena redução ou até mesmo manutenção do teor de açúcares.

De acordo com Barbosa et al. (2008), a cultivar melhorada é ponto crucial no sistema produtivo, pois quando manejada adequadamente, possibilita rendimento agroindustrial de, no mínimo, 30% maior do que as cultivares plantadas anteriormente.

Bressiani et al (2018), numa pesquisa realizada em dois ambiente e em quatro safras ou colheitas, com a variedade Vertix2 (cana-energia do tipo I) da BioVertix / Granbio e utilizando como padrão a variedade RB92579 (cana-de-açúcar convencional) da Ridesa, observou as seguintes médias como resultados: quanto à produtividade de FIBRA, em toneladas de fibra por hectare (TFH) a Vertix2 atingiu 42,2 TFH e a RB92579 12,1 TFH, diferença aproximada de 3,5 vezes que a cana-energia produz mais do que a cana-de-açúcar convencional.

Os programas de melhoramento genético tradicionalmente pesquisam “cana-de-açúcar”, com maior rendimento de massa do colmo e maior conteúdo de açúcares. Atualmente busca-se também a obtenção de clones de “cana energia tipo I”, com maior rendimento de biomassa (colmo, palhas e ponteiros), maior conteúdo de açúcares e maior conteúdo de fibra; e iii) obtenção de “cana energia tipo II”, com elevado rendimento em biomassa, baixo conteúdo em açúcares e elevado teor de fibra (MING et al., 2006; TEW e COBILL, 2008).

Portanto, pelo exposto, neste trabalho, o objetivo foi avaliar os rendimentos agroindustriais de genótipos de cana RB com perfis agronômicos do tipo cana-de-açúcar convencional, cana-de-açúcar tolerante a seca e cana-energia do tipo I, com base nas variáveis agrometeorológicas, produtividade agrícola, açúcares totais recuperáveis por tonelada de cana, teor de fibra e rendimentos de açúcares totais recuperáveis e fibra por hectare.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, em uma área de aproximadamente 0,50 ha, no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas. De acordo com classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) o clima da região é úmido, megatérmico, com deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno. A precipitação pluvial média anual é 1.800 mm, a temperatura do ar varia de 19,3°C (agosto) a 31,7°C (fevereiro), com média anual de 25,4 °C e a umidade relativa do ar média mensal fica acima de 70% (SOUZA et al., 2005). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Coeso Argissólico de textura média-argilosa (CARVALHO, 2003).

2.2.1 Delineamento estatístico e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições, em parcelas de 8,0 linhas de 13,0 m de comprimento e espaçamento de 1,0 m entre linhas, 104,0 m² de área para cada unidade experimental (Croqui no Anexo 1).

Os tratamentos foram seis genótipos de cana, classificados, inicialmente, em três perfis: I - Genótipos de cana-de-açúcar tradicionais (RB92579 e RB951541); II - Genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca (RB0442 e RB0459) e; III - Genótipos de cana-energia (RB11999 e RB13403). As análises estatísticas foram realizadas seguindo as recomendações de Ferreira (2000), através do aplicativo computacional Sisvar v. 5.3 (FERREIRA, 2018). O teste F, ao nível de 5% de probabilidade, foi usado para avaliar a significância dos tratamentos sob as variáveis analisadas.

2.2.2 Preparo do solo e plantio

A instalação do Experimento e condução dos dois primeiros ciclos de produção (cana-planta e primeira-soca) foram realizadas por Diniz (2020) que também disponibilizou os dados desses dois ciclos para a elaboração deste trabalho. E, de acordo com Diniz (2020), antes do preparo do solo, foi realizada a calagem, com base nos resultados da análise química do solo (Tabela 2.1 - Anexa). De modo que, para corrigir a acidez e falta de cálcio e magnésio do solo, 30 dias antes do plantio, foram aplicados, em

área total, 3,5 t ha⁻¹ de calcário mix (70% de calcário dolomítico mais 30% de gesso), com a seguinte composição: 28% CaO, 16% MgO e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 70%. Em seguida, foi feito o preparo do solo com: uma gradagem pesada para destruição dos inços e incorporação do calcário, subsolagem, mais uma gradagem para nivelamento do terreno e pôr fim a abertura dos sulcos (sulcamento).

O plantio foi realizado manualmente em 01 de novembro de 2016, colocando-se 5 rebolos de 3 gemas, total de 15 gemas por metro. Após a distribuição dos rebolos foram aplicados 200 g ha⁻¹ do inseticida Fipronil nos sulcos de plantio para combater pragas como diversas espécies de cupins.

Obs. No plantio, houve a necessidade da aplicação de uma lâmina de 60 mm de irrigação para garantir a brotação e estabelecimento do canavial. Essa prática cultural ou agrônômica foi extremamente necessária, devido à grande seca ocorrida em todo Estado de Alagoas em 2016.

A adubação, assim como a calagem, também foi realizada de acordo com a análise química do solo e executada em duas etapas: na primeira, concomitante ao plantio, foram colocados, no fundo dos sulcos, 60 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 150 kg ha⁻¹ de K₂O, além de 100 kg ha⁻¹ do fertilizante Fertimicro (2% Bo + 4% Cu + 7% Mn + 10% Zn); e na segunda (adubação de cobertura), aos 150 dias após o plantio (DAP), foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e 50 kg ha⁻¹ de K₂O. A adubação dos três ciclos seguintes (primeira, segunda e terceira soca) foi feita com 90 kg ha⁻¹ de N, 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 140 kg ha⁻¹ de K₂O, sempre no período de 15 a 30 dias após a colheita.

O controle das plantas daninhas foi feito com os herbicidas 2,4-D e Tebuthiuron, ambos na dose de 2,0 L ha⁻¹. Também foram feitas capinas manuais, na medida em que foram diagnosticadas suas necessidades.

A colheita do primeiro ciclo de produção (cana-planta) foi feita em 16 de janeiro de 2018, período de 441 dias; a primeira soca foi colhida em 24 de janeiro de 2019, com 373 dias de idade. A duas colheitas seguintes (segunda e terceira socas) foram realizadas em 06/02/2020 e 16/02/2021, com 378 e 376 dias de cultivos, respectivamente.

2.2.3 Variáveis agrometeorológicas

Os dados das variáveis agrometeorológicas: precipitação pluvial (Chuva - mm) e Evapotranspiração de Referência (ET₀ - mm) foram cedidas pelo Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) que possui uma estação meteorológica automática de

aquisição de dados Micrologger, CR10X (Campbell Scientific, Logan, Utah) instalada a aproximadamente 500,0 m do experimento.

2.2.4 Produtividade agrícola

O rendimento ou produtividade agrícola, em tonelada de cana por hectare, que entre os técnicos, produtores e demais profissionais do setor sucroenergético, normalmente o abreviam como ‘TCH’ foi obtido pelo peso das quatro primeiras linhas de cada parcela (área útil de 52 m²), contadas no sentido Sul-Norte. E, a estimativa foi feita pela Equação 2.1.

$$TCH = \frac{P}{\varepsilon \cdot n \cdot c} \cdot 10 \dots\dots\dots 2.1$$

Em que, **TCH** é a produtividade agrícola (t ha⁻¹), **P** é o peso total da parcela, **ε** é o espaçamento entre linhas (1,0 m), **n** é a quantidade de linhas (4 linhas), **c** é o comprimento das linhas (13,0 metros) e 10 é um fator para converter o resultado para toneladas por hectare (t ha⁻¹).

A pesagem dos colmos foi realizada com dinamômetro digital (Técnica balanças, modelo WT3000-I, com capacidade para pesar até uma tonelada), com o auxílio de uma carregadeira, no mesmo dia ou no dia seguinte ao corte das canas.

2.2.5 Qualidade da matéria prima (colmos de cana)

As análises de qualidade dos colmos de cana foram feitas no Laboratório da Usina Santo Antônio, localizada em São Luiz do Quitunde, Alagoas. As amostras de cada parcela foram compostas por 10 (dez) colmos inteiros, retiradas sempre por ocasião das colheitas. E, as variáveis analisadas, conforme os métodos descritos no CONSECANA AL/SE – 2010/2011 do SINDAÇÚCAR, AL (2023), foram: teor de sólidos solúveis em água - brix % caldo (BRIX), sólidos insolúveis em água - fibra % cana (FIBRA), teor de sacarose aparente - pol % caldo (POL), pureza do caldo - % (PZA) e quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR). Mas neste trabalho foram utilizadas e discutidas apenas ATR, em quilogramas de ATR por tonelada de cana e FIBRA, em percentual da massa de colmos.

2.2.6 Produtividade de ATR e FIBRA

As estimativas de produtividade ou rendimento de ATR e FIBRA foram realizadas pela multiplicação da produtividade agrícola, em TCH, pelos valores de ATR e FIBRA,

conforme as Equações 2.2 e 2.3, respectivamente. Os resultados desses rendimentos são apresentados em toneladas de ATR por hectare (TATRH) e toneladas de fibra por hectare (TFH).

$$\text{TATRH} = \text{TCH} \times \text{ATR} \times 0,001 \dots\dots\dots 2.2$$

Em que: TATRH é toneladas de ATR por hectare; TCH é toneladas de colmos por hectare; ATR é o teor de açúcares totais recuperáveis por tonelada de cana; e 0,001 é um fator de conversão para toneladas de ATR por hectare.

$$\text{TFH} = \text{TCH} \times \text{FIBRA} \times 0,01 \dots\dots\dots 2.3$$

Em que: TFH é toneladas de FIBRA por hectare; TCH é toneladas de colmos por hectare; FIBRA é o percentual de fibra por toneladas de cana; e 0,01 é um fator de conversão para toneladas de FIBRA por hectare.

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Variáveis meteorológicas

Nos 1.568 dias de cultivo do experimento, a evapotranspiração de referência (ET_0) decendial, variou de 59,6 mm (1º decêndio de dezembro de 2016) a 21,3 (no 3º decêndio de maio de 2017), média de 41,8 mm por decêndio ou 4,2 mm dia⁻¹, enquanto a precipitação pluvial foi de 422,4 mm, no 3º decêndio de maio de 2017, a 0,00 (zero) mm, no 2º decêndio de outubro de 2018 e 1º decêndio de março de 2020, média geral de 44,3 mm, a cada 10 dias, em torno de 4,3 mm dia⁻¹.

As variáveis agrometeorológicas, específicas de cada ciclo de produção ou de colheita, foram contabilizadas por decêndios. Assim, no ciclo de produção da cana-planta, apesar do plantio ter ocorrido no 1º decêndio de novembro de 2016, o período considerado foi do 3º decêndio de outubro de 2016 até o 1º decêndio de janeiro de 2018 (44 decêndios) porque a chuva e a ET_0 do final de outubro têm reflexos no início de novembro. Nesse período, a precipitação pluvial somou 2.255,0 mm (51,2 mm por decêndio) e a ET_0 1.923,0 mm (45,3 mm por decêndio), uma diferença de 232,0 mm de chuva a mais do que a evapotranspiração de referência. Mas, na Figura 2.1.a, é possível ver que do primeiro decêndio de novembro de 2016 ao primeiro decêndio de abril de 2017, durante a fase de estabelecimento e crescimento inicial da cultura, choveu apenas 252,0 mm e evapotranspirou 814,0 mm, 562,0 mm de chuva a menos. Essa diferença negativa entre a chuva e a evapotranspiração não interferiu no estabelecimento do cultivo porque foi feita uma irrigação de 60 mm, mas, com certeza, prejudicou o crescimento inicial da cana-de-açúcar. E, do 3º decêndio de setembro de 2017 até 6 dias antes da colheita (13 decêndios), que ocorreu no 2º decêndio de janeiro de 2018, a chuva total foi 148,0 mm e a ET_0 532,0 mm, 384,0 mm de evapotranspiração a mais, durante a fase de maturação da cana-planta. Essa diferença, nos 11 decêndios do final do cultivo, serviu, em parte, para a maturação das plantas. Porém, por ter ficado acima de 100,0 mm, também prejudicou o crescimento e a produtividade final da cultura.

Nos 37 decêndios de cultivos da primeira soca (do 2º decêndio de janeiro de 2018 ao 2º de janeiro de 2019), ocorreram 1.336,0 mm de chuva e 1.499,0 mm de evapotranspiração (ET_0), 163,0 mm de chuva a menos do que a evapotranspiração, no ciclo total (Figura 2.1.b). Mas, do 3º decêndio de março de 2018 ao 3º de julho de 2018, a chuva superou a ET_0 em 362,0 mm (790,0 mm de chuva e 428,0 de ET_0). E, no início do ciclo de cultivo (do 2º decêndio de janeiro de 2018 ao 2º decêndio de março de 2018),

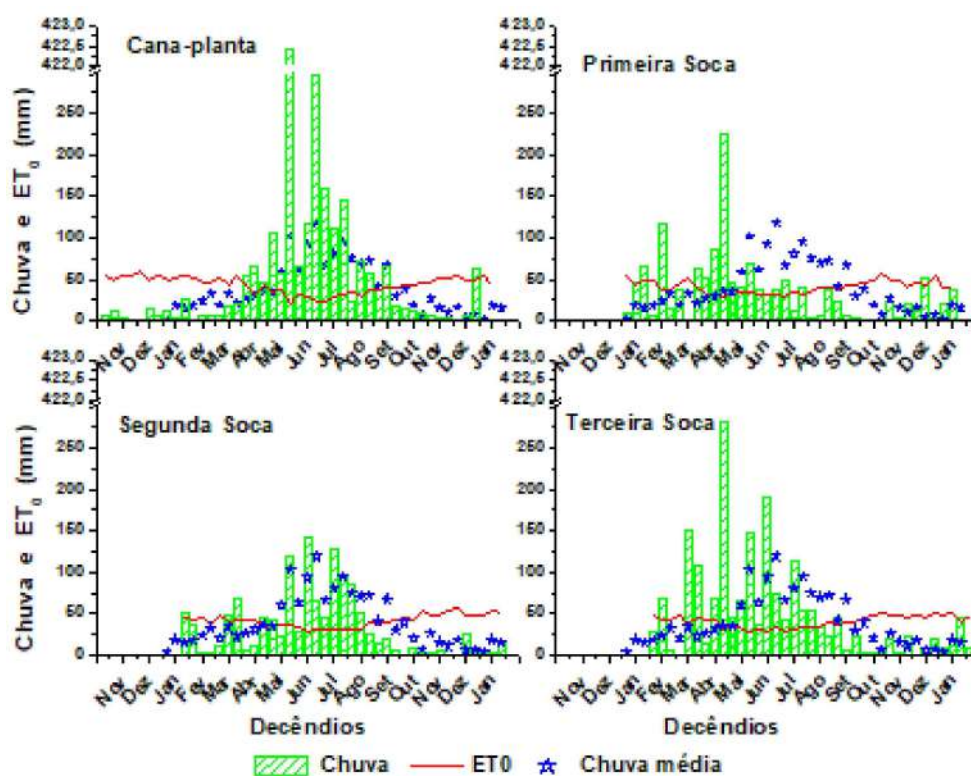
choveu 288,0 mm e a evapotranspiração totalizou 310,0 mm, diferença pequena de 22,0 a mais do que a chuva. Contudo, durante esse ciclo de produção, a ET_0 começou a superar a chuva já no primeiro decêndio de agosto e até o final do ciclo, no segundo decêndio de janeiro de 2019, a ET_0 acumulando 503,0 mm de diferença (761,0 mm de ET_0 e 258,0 mm de chuva). Essa diferença é muito maior do que a cana precisa para amadurecer e certamente prejudicou o crescimento e produtividade da cultura.

Na Figura 2.1.c, constam os dados de chuva e ET_0 da segunda soca (terceira folha ou colheita) que foi do 3º decêndio de janeiro de 2019 ao 3º decêndio de janeiro de 2020 (37 decêndios). Nesse período choveu 1.243,0 mm e a ET_0 totalizou 1.542,0 mm, diferença de 299,0 mm de chuva a menos. Nos quatro ciclos de produção ou de colheita, esse foi o que choveu menos e teve a maior evapotranspiração, médias de 33,6 mm de chuva e 41,7 mm de ET_0 por decêndio. Nos 5 primeiros decêndios do início do ciclo de produção dessa safra (2ª soca), a diferença entre a ET_0 de 219,0 mm e a chuva de 104,0 mm, foi pequena, 115,0 mm (média de 23,0 mm a cada 10 dias). E, a partir do 2º decêndio de março de 2019 até o segundo decêndio de agosto, estação chuvosa da região, a chuva de 1.008,0 mm superou a ET_0 de 565,0 mm, diferença de 443,0 mm de chuva a mais. Em sequência, com o início da estação seca do biênio 2019/2020, do terceiro decêndio de agosto de 2019 até o terceiro decêndio de janeiro de 2020 (seis dias antes da colheita), a ET_0 totalizou 758,0 mm e choveu apenas 131,0 mm, diferença de 627,0 mm de chuva a menos que, com certeza, prejudicou significativamente o crescimento final das plantas e consequentemente a produtividade agrícola dos canaviais dos tabuleiros costeiros de Alagoas.

O ciclo de produção da terceira soca (quarta folha), foi do 1º decêndio de fevereiro de 2020 até o 1º decêndio de fevereiro 2021, 37 decêndios. Nesse período, choveu 1.833,0 mm (média de 49,5 mm por decêndio) e evapotranspirou 1.511,0 mm (média de 40,8 mm por decêndio), diferença de 322,0 mm de chuva a mais do que a ET_0 (Figura 2.1.d). Mas, a partir do 1º decêndio de fevereiro até o 1º de março choveu apenas 101,0 mm (média de 25 mm por decêndio), enquanto a ET_0 somou 182,0 (diferença 81,0 mm ET_0 a mais do que chuva). Entretanto, do 2º março ao 1º setembro de 2020, a chuva totalizou 1.552,0 mm e ET_0 626,0 mm. Esse período corresponde a estação chuvosa ou úmida da região, por isso, há essa diferença de 926,0 mm de chuva além da ET_0 . Porém, do 2º setembro 2020 ao 1º de fevereiro 2021, a chuva total foi 180,0 mm e a ET_0 703, diferença negativa (chuva menos ET_0) de 523 mm.

As diferenças positivas entre a ET_0 e a chuva, ou deficiência hídrica, no final de cada ciclo de colheita que, na média dos quatro ciclos, foi 509,0 mm, contribui para a maturação das plantas. Porém, quando essa diferença é muito elevada (acima de 150,0 mm), além de reduzir o crescimento das plantas, que resulta em diminuição da produtividade, provoca também inversão de sacarose e os colmos perdem muita umidade, ficam muito secos e dificulta o processamento industrial da matéria prima (cana).

Figura 2.1 - Médias decendiais de: precipitação pluvial (chuva), evapotranspiração de referência (ET_0) e precipitação pluvial média (chuva média), nos quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana.



2.3.2 Produtividade agrícola

Na Tabela 2.1 consta os resultados da análise de variância (ANAVA) da produtividade agrícola, em toneladas de cana por hectare (TCH), nos quatro ciclos de cultivo. Nessa tabela observa-se que os valores dos coeficientes de variação (CV) ficaram abaixo de 15 % e os resultados dos testes “F” foram significativos a 1,0 % de probabilidade, exceto no ciclo de segunda soca. Nesse ciclo de produção, os resultados foram prejudicados pelo estresse hídrico sofrido pelas plantas.

Tabela 2.1 - Análise de Variância da Produtividade Agrícola, em Tonelada de Cana por Hectare – TCH

Cana-planta

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
GEN_TIPO	5	3131.273750	626.254750	9.483	0.0003
BLOCO	3	829.124583	276.374861	4.185	0.0244
erro	15	990.647917	66.043194		
Total corrigido	23	4951.046250			
CV (%) =	7.54				
Média geral:	107.8125000	Número de observações:	24		

Primeira Soca

GEN_TIPO	5	5500.521650	1100.104330	11.503	0.0001
BLOCO	3	331.250350	110.416783	1.155	0.3596
erro	15	1434.600250	95.640017		
Total corrigido	23	7266.372250			
CV (%) =	10.57				
Média geral:	92.4875000	Número de observações:	24		

Segunda Soca

GEN_TIPO	5	840.402083	168.080417	0.726	0.6144
BLOCO	3	2931.221250	977.073750	4.221	0.0237
erro	15	3471.816250	231.454417		
Total corrigido	23	7243.439583			
CV (%) =	21.29				
Média geral:	71.4458333	Número de observações:	24		

Terceira Soca

GEN_TIPO	5	5658.337083	1131.667417	9.846	0.0003
BLOCO	3	1748.261250	582.753750	5.070	0.0127
erro	15	1724.121250	114.941417		
Total corrigido	23	9130.719583			
CV (%) =	13.86				
Média geral:	77.3791667	Número de observações:	24		

No primeiro ciclo de cultivo e produção, cana-planta, na safra 2017/2018, o genótipo RB13403 foi o mais produtivo, com 127,3 t ha⁻¹, seguido pelo RB11999 que produziu 113,3 t ha⁻¹ e o RB0459, com produtividade de 113,0 t ha⁻¹, os menos produtivos foram as cultivares RB0442 (101,8 t ha⁻¹), RB92579 (99,2 t ha⁻¹) e RB951541 que fechou com 92,4 t ha⁻¹. Em média, a produtividade agrícola do primeiro ciclo de produção ou cana-planta foi 107,8 t ha⁻¹

Na colheita da primeira soca, segundo ciclo de produção, (safra 2018/19), houve redução de rendimentos dos genótipos, mas a ordem dos mais produtivos manteve-se

igual à da primeira colheita, com as seguintes produtividades e redução de rendimentos: RB13403 (112,2 t ha⁻¹, redução de 15,1 t ha⁻¹) RB11999 (101,7 t ha⁻¹, redução de 11,6 t ha⁻¹), RB0459 (98,4 t ha⁻¹, redução de 14,6 t ha⁻¹), RB0442 (98,2 t ha⁻¹, redução de 3,6 t ha⁻¹), RB92579 (74,8 t ha⁻¹, redução de 24,4 t ha⁻¹) e a cultivar RB951541 continuou como a menos produtiva, com produtividade de 69,7 t ha⁻¹ e redução de 22,7 t ha⁻¹. Em média, a produtividade da 1ª soca e a redução foram 92,5 e 15,3, respectivamente.

No terceiro ciclo de produção ou, como também é denominado pelos técnicos e produtores de cana, “terceira folha”, a produtividade agrícola foi na seguinte ordem: RB0459 (80,4 t ha⁻¹) RB13403 (79,1 t ha⁻¹) RB0442 (68,0 t ha⁻¹) RB92579 (67,6 t ha⁻¹) RB11999 (67,3 t ha⁻¹) e RB951541 (66,2 t ha⁻¹), média de 71,4 t ha⁻¹.

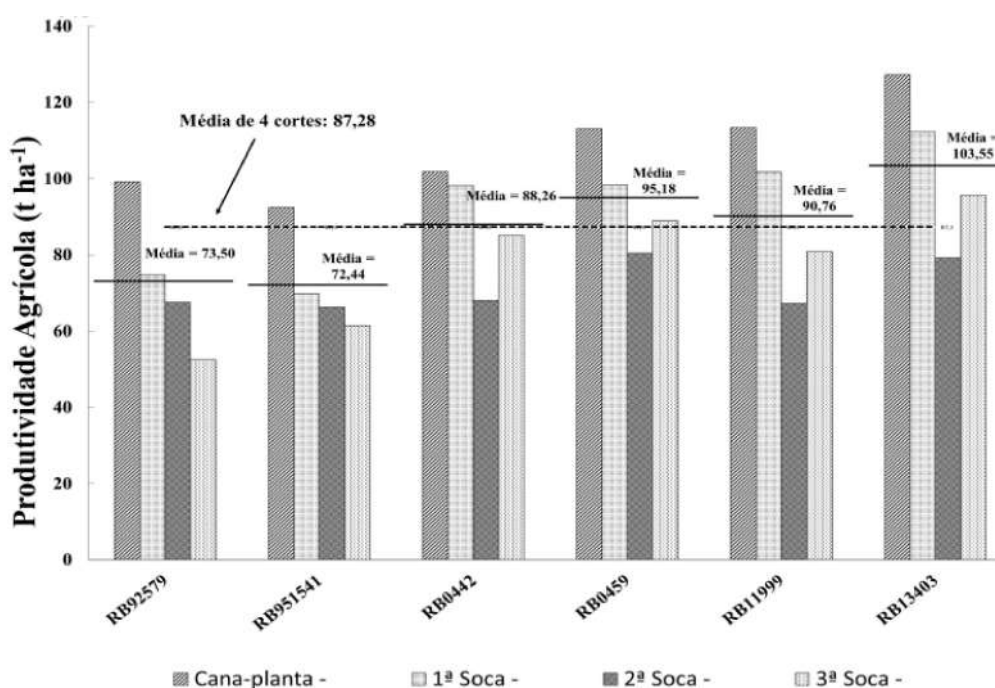
Na Figura 2.2, verifica-se que produtividade agrícola, na quarta safra (3ª soca), em 2021, com média de 74,4 t ha⁻¹, produziu em média 3,0 t ha⁻¹ de colmo a mais do que na terceira safra. O rendimento agrícola dos genótipos de cana, na quarta colheita (3ª soca), foram as seguintes: RB13403 (95,6 t ha⁻¹), RB0459 (88,9 t ha⁻¹), RB 0442 (85,0 t ha⁻¹), RB 11999 (80,8 t ha⁻¹), RB 951541 (61,4 t ha⁻¹) e RB92579 (52,5 t ha⁻¹). A produtividade média geral, nos quatro ciclos de produção foi 77,4 t ha⁻¹.

O terceiro ciclo de cultivo e produção, segunda soca, foi o menos chuvoso, apenas 1.243,0 mm de chuva, seguido do ciclo de 1ª soca em que choveu 1.336,0 mm. Além do mais, observando a Figura 2.1, verifica-se que na fase final de crescimento da cana, a chuva do terceiro ciclo de cultivo (Figura 2.1.c), apesar de só vir a ficar abaixo da ET₀ a partir do 3º decêndio de agosto e que no segundo ciclo (Figura 2.1.b), essa característica já começa no 1º decêndio de agosto, a diferença entre a evapotranspiração e a chuva, no 3º ciclo, foi bem mais elevada, 627,0 mm, e no 2º ciclo foi 503,0 mm. Consequentemente, a produtividade média da terceira safra foi a mais baixa, dentre as quatro safras analisadas, devido às irregularidades das chuvas.

Dias et al. (2021) observaram que a produtividade da cana-de-açúcar em Boca da Mata, município da zona central da região canavieira alagoana, no período de 1999 a 2018, variou de 55,67 (2018) a 75,40 (2015) e dentre as principais causas dessa variação, destacam-se a quantidade e a distribuição das chuvas durante as safras. Na região de Planaltina, DF, Rodolfo Júnior et al. (2016) conseguiram produzir até 182,3 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar, mas com irrigação.

Morais et. al. (2017), avaliaram 25 clones RB de cana-de-açúcar, na região de Jaguari, RS e conseguiram produtividades variando de 56,90 t ha⁻¹ (com o clone RB945177) a 118,0 t ha⁻¹ (com o clone RB987935), no ciclo de cana-planta e de 67,83 t ha⁻¹ (com o clone RB986419) a 140,50 t ha⁻¹ (com o clone RB845210), na colheita da primeira soca. Esses dados de produtividade agrícola indicam que as características edafo-climáticas, das localidades de cultivo, a genética da cultivares e o manejo agrônomo dos cultivos tem fortes influência sobre os rendimentos e sucesso financeiros dos plantios de cana-de-açúcar.

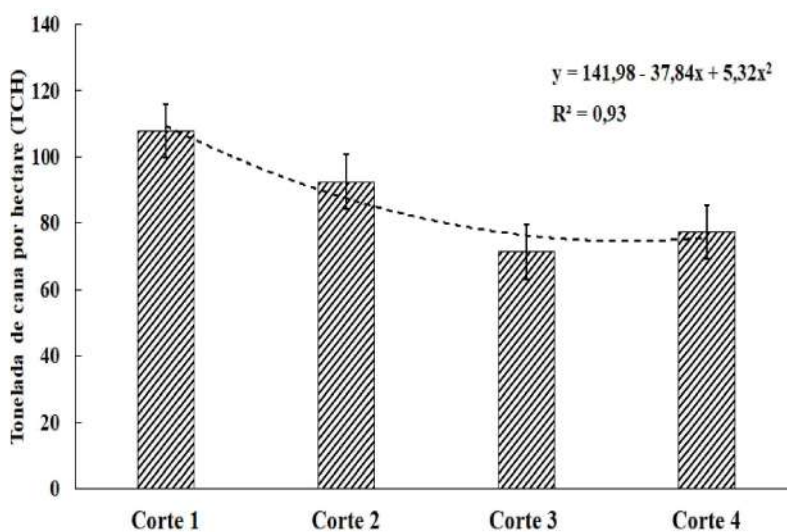
Figura 2.2 - Produtividade agrícola, em t ha⁻¹, de seis genótipos de cana em quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1^a, 2^a e 3^a socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana.



Fonte: Autor (2023)

Na Figura 2.3 consta a curva da produtividade agrícola média, em toneladas de colmo por hectare (TCH) dos seis genótipos de cana, nos quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1^a, 2^a e 3^a socas) e, pela primeira derivada da equação de regressão dessa curva, chega-se a uma redução média geral de 25,2 t ha⁻¹. Mas, nessa figura, é ver que, pelos dados observados, a produtividade média da quarta colheita foi maior do que a da terceira colheita. Isso aconteceu devido ao efeito da distribuição de chuvas, principalmente pelas poucas chuvas que ocorreram na fase final de crescimento das plantas, durante o ciclo de produção da segunda soca ou terceira colheita.

Figura 2.3 - Produtividade agrícola média de quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), de genótipos de cana, no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana.



Fonte: Autor (2023)

2.3.3 Açúcares totais recuperáveis (ATR)

Os valores dos CVs das ANAVAS de ATR, nos quatro ciclos de colheita (Tabela 2.2), ficaram abaixo de 15 %, assim como os resultados do teste “F” foram significativos a 1,0 % de probabilidade. Isso indica a eficiência dos resultados experimentais, exceto no terceiro ciclo de cultivo (segunda soca).

Os valores de açúcares totais recuperáveis (ATR), neste trabalho, são todos expressos em quilograma por tonelada de cana. E, nos quatro ciclos de produção, as cultivares de cana-de-açúcar convencionais, RB92579 e RB951541, tiveram valores ATR médios de 148,8 e 145,9 quilogramas por tonelada de cana, respectivamente (Figura 2.4).

Os valores médios de ATR dos genótipos de cana que têm como característica principal a resistência à seca, o RB0442 e o RB0459 foram, na mesma ordem, 129,0 e 124,5 quilogramas por tonelada de cana. Enquanto nos genótipos de cana-energia tipo I, os valores médios ATR por tonelada de colmo foram: no RB11999 igual a 129,0 kg e no RB13403 igual a 94,3 kg. Esses valores estão de acordo com os resultados esperados porque as canas de açúcar convencionais sempre são mais ricas em açúcares do que as tolerantes à seca que são, geralmente, mais rústicas que são mais ricas do que as canas-energia do tipo I, cuja característica principal são os altos teores de fibra.

Tabela 2.2 - Análise de Variância Açúcares Totais Recuperáveis – ATR**CANA-PLANTA**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
GEN_TIPO	5	11341.642083	2268.328417	96.643	0.0000
BLOCO	3	42.987917	14.329306	0.611	0.6185
erro	15	352.069583	23.471306		
Total corrigido	23	11736.699583			
CV (%) =	4.11				
Média geral:	117.7458333	Número de observações:	24		

PRIMEIRA SOCA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
GEN_TIPO	5	8994.365371	1798.873074	19.006	0.0000
BLOCO	3	325.427046	108.475682	1.146	0.3626
erro	15	1419.698079	94.646539		
Total corrigido	23	10739.490496			
CV (%) =	8.31				
Média geral:	117.0870833	Número de observações:	24		

SEGUNDA SOCA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
GEN_TIPO	5	10485.972083	2097.194417	42.303	0.0000
BLOCO	3	84.271250	28.090417	0.567	0.6454
erro	15	743.636250	49.575750		
Total corrigido	23	11313.879583			
CV (%) =	4.99				
Média geral:	141.1208333	Número de observações:	24		

TERCEIRA SOCA

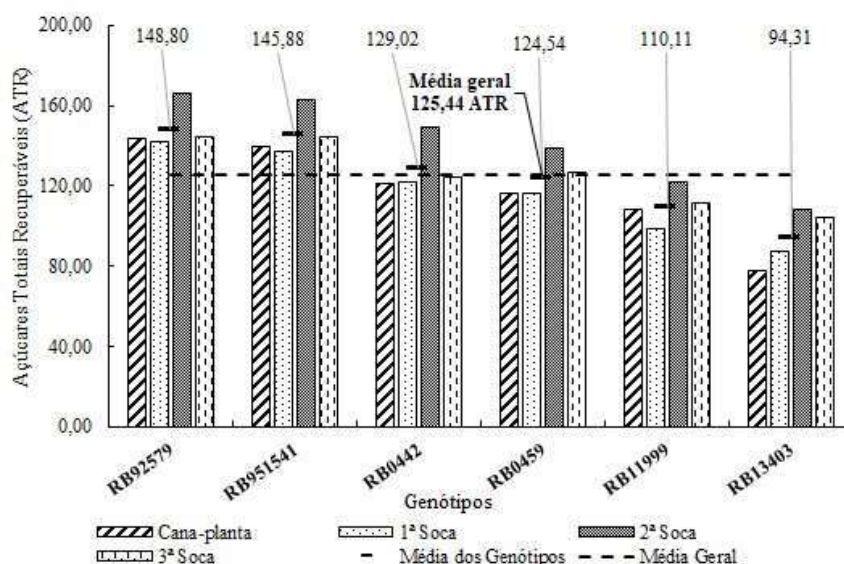
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
GEN_TIPO	5	5395.107083	1079.021417	22.569	0.0000
BLOCO	3	164.057917	54.685972	1.144	0.3634
erro	15	717.144583	47.809639		
Total corrigido	23	6276.309583			
CV (%) =	5.50				
Média geral:	125.8291667	Número de observações:	24		

A cultivar RB92579, no ciclo de cana-planta produziu (143,3 kg t⁻¹ de ATR), na primeira soca, esse valor foi praticamente igual 141,6 kg t⁻¹. Na segunda soca, o ATR dessa cultivar foi bem mais elevado (166,3 kg t⁻¹) e na terceira soca reduziu novamente para 144,0 kg t⁻¹. A RB951541, nos quatro ciclos de produção, teve os seguintes valores de ATR por tonelada de cana: 139,7, 137,0, 162,5 e 144,4, em cana-planta, 1ª soca, 2ª soca e 3ª soca, respectivamente. Enquanto na RB0442, os valores de ATR observados,

em ordem cronológica dos quatros primeiros ciclos de produção, analisados neste trabalho, foram: 121,1, 121,5, 148,9 e 124,5 quilogramas por tonelada de colmo. E, a RB0459, que tem o mesmo perfil da RB0442, produziu 116,2, 116,5, 139,1 e 126,4 kg. Esses dois últimos genótipos têm valores de ATR inferiores aos dois primeiros porque são mais rústicos e a característica principal, esperada neles, é a resistência à seca ou tolerância ao estresse hídrico.

Os índices de ATR dos genótipos de cana-energia tipo I, nos quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª soca) foram: da RB11999, 108,4, 98,5, 122,0 e 111,5 kg e da RB13403 foram 77,7, 87,3, 107,9 e 104,3 kg. Esses genótipos, como já havia sido previsto, foram ao mais pobres em açúcares porque foram gerados por cruzamentos genéticos direcionados para produção de fibra para serem utilizadas na produção de etanol de segunda geração e bagaço para produção de eletricidade.

Figura 2.4 - Açúcares totais recuperáveis (ATR,) de seis genótipos de cana, em quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana.



Fonte: Autor (2023)

Um detalhe a ser observado, nos quatro ciclos de produção, foi que no terceiro ciclo de produção (2ª soca), os valores de ATR, dos seis genótipos de cana, foram

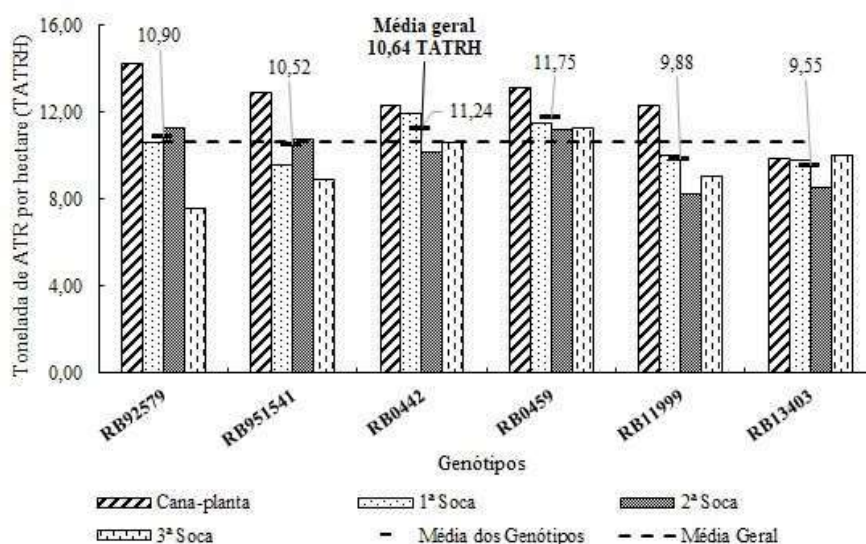
significativamente mais elevados. Isso aconteceu devido à redução da chuva, a partir do terceiro decêndio de agosto de 2019 que provocou uma diferença de 627,0 mm a mais de evapotranspiração que favoreceu a maturação acentuada dos canaviais da região como um todo. E, pelo mesmo motivo, no quarto e último ciclo analisado (3ª soca), os valores de ATR, no geral, ficaram em segunda colocação. Isso caracteriza, mais uma vez, nessa pesquisa, a influência da falta de chuva ou estresse hídrico nos teores de açúcares dos canaviais.

2.3.4 Rendimento de açúcares totais recuperáveis

Os rendimentos industriais de açúcar, expressos em toneladas de ATR por hectare (TATRH), variaram de 7,6 a 14,2, média geral de 10,6 toneladas de ATR por hectare (Figura 2.5). Nesse contexto, as cultivares de cana, com perfil de tolerância à seca, foram as mais produtivas da pesquisa. A RB0459, com média de 11,8 TATRH, ficou em primeira colocação. Na primeira safra (cana-planta), produziu 13,1 TATRH e depois reduziu para 11,5, 11,2 e 11,2 TATRH nas safras subsequentes (1ª, 2ª e 3ª socas). O outro genótipo desse perfil (RB0442) ficou em segunda colocação, com média 11,2 TATRH, nas quatro colheitas, começou produzindo 12,3 TATRH, em cana-planta e depois caiu para 11,9, 10,1 e 10,6 TATRH, na 1ª, 2ª e 3ª soca, respectivamente.

As produções das cultivares utilizadas como padrões de cana-de-açúcar convencionais, foram: a RB92579, com produção média de 10,9 TATRH, nas quatro colheitas, foi a terceira mais produtiva. No ciclo de cana-planta, produziu 14,2 TATRH e nas outras três, 1ª, 2ª e 3ª soca, produziu, na mesma ordem, 10,6, 11,2 e 7,6 TATRH e a RB951541, foi a quarta mais produtiva, saindo de 12,9 TATRH, na primeira colheita, passou para 9,5, 10,8 e 8,9 TATRH, nas três colheitas subsequentes que resultou em um rendimento médio de 10,5 TATRH. E, como já era previsto, os genótipos de cana-energia tiveram os menores rendimentos de ATR. O clone RB11999, entre os genótipos avaliados nessa pesquisa, foi o penúltimo colocado com produção de 12,3 TATRH, na colheita da cana-planta, e, na sequência, 10,0, 8,2 e 9,0 de TATRH, na 1ª, 2ª e 3ª soca, média de 9,9 TATRH. Por fim, o RB13403 foi o menos produtivo, com média de 9,5 TATRH, produziu 9,9 toneladas de ATR por hectare na primeira colheita e nas demais (1ª, 2ª e 3ª soca), a produção foi respectivamente, 9,8, 8,5 e 10,0 TATRH.

Figura 2.5 – Rendimento de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR), em Toneladas de ATR por Hectare (TATRH) de seis genótipos de cana, em quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana.



Fonte: Autor (2023)

2.3.5 Teores de fibra

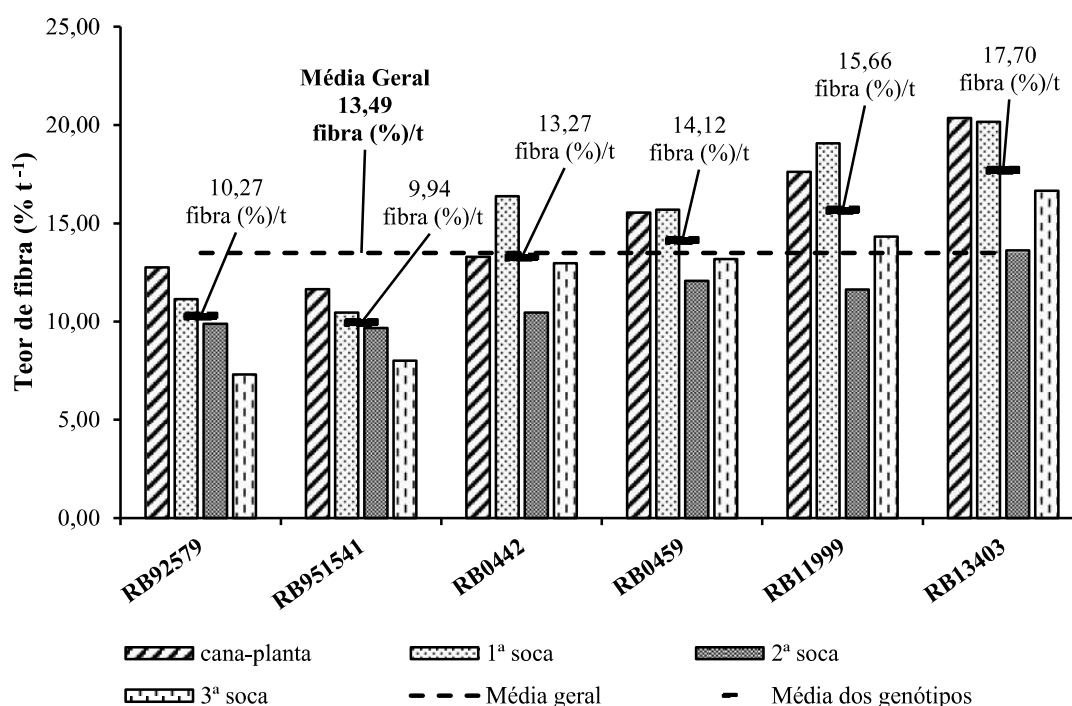
A média geral dos teores de fibra dos seis genótipos de cana, nos quatro ciclos de produção, avaliados nessa pesquisa, foi 13,5 % da massa total de colmos a ser moída na indústria. Isso significa que para cada tonelada de cana processada ou industrializada, foram disponibilizados 135,0 kg de bagaço para de etanol de segunda geração e/ou energia elétrica. Apenas para esclarecimento, essa energia, gerada nas usinas de açúcar e álcool, é produzida por turbinas movidas a vapor produzidos pela queima do bagaço da cana, em caldeiras de potências variadas. No decorrer dos ciclos de produção, o percentual de fibra médio, dos seis genótipos, foi 15,2 %, ciclo de cana-planta, no segundo ciclo de produção (1ª soca) aumentou para 15,5 %, depois, na segunda soca ou terceiro ciclo, houve uma redução significativa de 27,7 %, em relação ao percentual observado na 1ª soca, de modo que fechou em apenas 11,2 %. E, no quarto e último ciclo (3ª soca) o teor de fibra aumentou para 12,1 %.

Na Figura 2.6, observa-se que, na cultivar RB92579, o teor de fibra começa com 12,8 %, em cana-planta e depois reduz para 11,1, 9,9 e 7,3 %, respectivamente nas 1ª, 2ª

e 3ª socas, média de 10,3 %. A RB951541, nos quatro ciclos de cultivo, foi a que teve o menor percentual de fibra (9,9 %), começando com 11,6 %, em cana-planta, depois reduziu para 10,5, 9,7 e 8,0 %, nos outros três ciclos.

Nos genótipos de cana tolerantes à seca, os teores de fibra foram: o RB0442, com média de 13,3 %, começou com 13,3 %, no primeiro ciclo, mas diferente das cultivares de cana-de-açúcar convencionais, subiu, no segundo ciclo, para 16,4 % e depois reduziu para 10,4 e 13,0 %, nas duas últimas colheitas. E, no genótipo RB0459, a fibra média foi 14,1 %, com 15,6 %, no ciclo de cana-planta, 15,7, na 1ª soca, 12,1 e 13,2 % na 2ª e 3ª socas, respectivamente. E teores de fibra mais elevados, são indicadores de que os genótipos de cana tolerantes à seca são mais rústicos do que as cana-de-açúcar convencionais.

Figura 2.6 - Percentual de Fibra, de seis genótipos de cana, em quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana.



Fonte: Autor 2023

Por fim, observa-se, ainda na Figura 2.6, que o genótipo RB11999, teve o segundo maior teor de fibra médio, 15,7 %. No primeiro ciclo de produção, teve 17,6, no segundo ciclo 19,1 % e nos outros dois, 11,6 e 14,3 %. E o RB13403 foi que teve o maior percentual

de fibra, média de 17,7 %, com 20,3, 20,2, 13,6 e 16,7%, no primeiro, segundo, terceiro e quarto ciclo de produção, respectivamente.

Um resultado que chama à atenção, é que: nos genótipos de cana tolerante à seca e cana-energia, nos ciclos de cultivo com melhores disponibilidades hídricas, os teores de fibra são mais elevados. De modo que aumentam, na 1ª soca (segundo ciclo de cultivo), diminui na 2ª soca e depois aumenta na terceira soca ou quarto ciclo de cultivo. Enquanto, que nas cultivares de cana-de-açúcar convencionais, diminui com a idade do canavial, do primeiro ao quarto e último ciclo de produção.

2.3.6 Rendimento de fibra

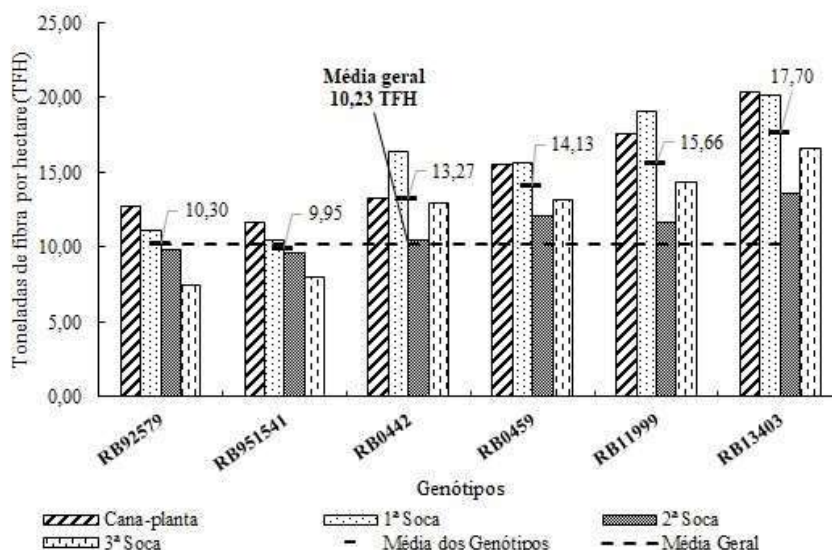
O rendimento ou produtividade de fibra por hectare (TFH), média geral, nos quatro ciclos de produção foi 13,5 toneladas. E, conforme o esperado, os genótipos de cana-energia do tipo I, RB13403 e RB11999, foram os mais produtivos, com médias de 17,7 e 15,7 de TFH, respectivamente (Figura 2.7). Nos quatro ciclos de produção, a RB13403 produziu 20,3, 20,2, 13,6 e 16,7 TFH, nos ciclos de cultivo de cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas, na mesma ordem. O RB11999, produziu, no primeiro ciclo de cultivo (cana-planta), 17,6 TFH e nos três ciclos seguintes, produziu, na mesma sequência, 19,1, 11,6 e 14,3 toneladas de fibra por hectare.

Os genótipos cana-de-açúcar, tolerantes à seca foram menos produtivas do que os genótipos de cana-energia: o RB0459, produziu 15,6 TFH, no primeiro ciclo de produção e 15,7, 12,1 e 13,2 TFH, nos três ciclos subsequentes e; o RB0442, no ciclo de cana-planta, produziu 13,3 TFH e na 1ª, 2ª e 3ª soca, produziu, na mesma ordem 16,4, 10,4 e 13,0 TFH.

A cultivar RB92579, cujo perfil é de cana-de-açúcar convencional, produziu: 12,8 TFH, no ciclo de produção de cana-planta, 11,1 TFH, na 1ª soca, 9,9 e 7,3 TFH, na 2ª e 3ª socas. E, a outra cultivar de cana-de-açúcar convencional, RB951541, foi a menos produtiva, com 11,6 TFH, no primeiro ciclo de produção, 10,5, 9,7 e 8,0 TFH, na 1ª, 2ª e 3ª socas, respectivamente.

Os genótipos de cana-energia, com produções de fibra mais elevadas, devem ser recomendadas para indústrias que priorizam, no mix de produção, a geração de energia elétrica e etanol de segunda geração.

Figura 2.7 - Rendimento de Fibra, em Toneladas de Fibra por Hectare (TFH) de seis genótipos de cana, em quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana.



Fonte: Autor (2023)

2.4. CONCLUSÕES

Na zona da Mata alagoana, durante a estação seca da região, de setembro a março do ano seguinte, os valores de evapotranspiração de referências são sempre mais elevados do que os de chuva e isso causa deficiência de água no solo que prejudica o crescimento e os rendimentos agrícolas dos canaviais.

A produtividade agrícola e de fibra dos genótipos de cana-energia, de modo geral, são maiores do que a dos genótipos de cana tolerantes à seca que, por sua vez, são maiores do que a dos genótipos de cana-de-açúcar convencionais. Mas, os rendimentos industriais de açúcar dos genótipos de cana tolerantes à seca são maiores do que os de cana convencionais que também produzem mais do que os genótipos de cana-energia. Por isso, os genótipos RB0449 e RB0442 são mais recomendados para cultivos, em regime de sequeiro, voltados para produção de açúcar, e os genótipos de cana-energia, RB13403 e RB11999, para a produção de etanol de segunda geração e energia elétrica a partir do bagaço dos colmos. As cultivares RB92579 e RB951541 são mais apropriadas para os cultivos irrigados e ambientes de produção com menores restrições hídricas.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, G. V. S. et al. **Desempenho agroindustrial e censo de variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Estado de Alagoas**. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil - STAB, 9., 2008, Maceió. Maceió: STAB Regional Leste, 2008. p. 464-470.

BARBOSA, M.H.P., RESENDE, M.D.V., DIAS, L.A.S., BARBOSA, G.V.S., OLIVEIRA, R.A., PETERNELLI, L.A. e DAROS, E. **Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. Crop Breeding and Applied Biotechnology**. S2:87-98. 2012.

BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. S.; BARBOSA, G.V.S. **Contribuição do Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar para a indústria canavieira em Alagoas**, Curitiba 2014, 113f.il

BARBOSA, G. V. S. et al. Energy Cane Breeding. In: SANTOS, F. et al. (Eds.). **Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives**. Elsevier, 2020. p. 103-116

BRESSIANI, J. A. Variedades Vertix para ambientes restritivos. In: Integração da Pesquisa Pública com Cana-de-açúcar no Brasil. Ribeirão Preto, SP. 2018.

CARVALHO, L. C. C. Cenário sucroalcooleiro: as esperanças do ano novo. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v. 21, n.3, p. 8-9, 2003a.

DIAS, M. S.; CARTAXO, P. H. A.; SILVA, F. A.; FREITAS, A. B. T. M.; DANTAS, E. A.; MAGALHÃES, J. V. A.; SILVA, I. J.; ARAÚJO, J. R. E. S.; SANTOS, J. P. O. **Dinâmica produtiva da cultura da cana-de-açúcar em um município da zona da mata alagoana**, 2021. Scientific Electronic Archives, Issue ID: Sci. Elec. Arch.Vol. 13 n.5 p. 22 -28, 2021,

DINIZ, C.A. **Crescimento e desenvolvimento agroindustrial de diferentes perfis de cana em cultivo de sequeiro**. 2020. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Área de Concentração em Produção Vegetal), do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2020. 127p.

DUBEUX-TORRES, V. L **Gestão Sustentável da Reconversão Produtiva do Complexo Sucroenergético do Nordeste do Brasil: redimensionamento do espaço canavieiro de Alagoas**, Anais 10º Congresso da STAB, 375 – 378p. Ribeirão Preto, 2016.

DUBEUX-TORRES, V.L; DESCHAMPS (Dir)), **Séminaire international sur les énergies de la biomasse: EnerBiomassa'12**. Edufal, Maceió, 2017. Autres références: Brésil / Portugais Moyens de diffusion Imprimé/(www.seplande.al.gov.br)

DUBEUX-TORRES, V.L; DESCHAMPS, (Dir.) **Séminaire international sur les énergies renouvelable: RenovEnergie'14**. Edufal, Maceió, 2017. Autres références: Brésil / Portugais Moyens de diffusion Imprimé/ (www.seplande.al.gov.br)

DUBEUX-TORRES, V.L.; SANDEIRO, B. (org). **Balanço Energético do Estado de Alagoas - BEAL 2015 ano base 2016**, Edufal, 2017.

DUBEUX-TORRES, V.L; CARVALHO, B. M. (org). **Balanço Energético do Estado de Alagoas - BEAL 2021 ano base 2020**, Sedetur, 2021.

FERREIRA, P. V. **Estatística Experimental Aplicada às Ciências Agrárias**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2018. 588p.

MING, R.; MOORE, P. H.; WU, K-K.; D'HONT, A.; GLASZMANN, J. C.; TEW, T. L.; MIRKOV, T. E.; DA SILVA, J.; JIFON, J.; RAI, M.; SCHNELL, R. J.; BRUMBLEY, S. M.; LAKSHMANAN, P.; COMSTOCK, J. C.; PATERSON, A. H. Sugarcane improvement through breeding and biotechnology. In: JANICK, J. (Ed.). **Plant Breeding Reviews**, v.27. New Jersey : John Wiley & Sons Inc, 2006. P. 15-118.

OLIVEIRA, R. A.; PETERNELLI, L. A.; DAROS, E. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.12, p. 87-98, 2012.

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

SACHS, I., In: BEKER, B.; BUARQUE, C.; NASCIMENTO, E.P.; (org.). **Dilemas e desafios do desenvolvimento sustentável no Brasil**, (Ed) Garamond, 2007. p. 21 – 41.

SINDAÇÚCAR-AL (Sindicato do Açúcar e do Alcool do Estado de Alagoas) disponível em <http://www.sindaucar.al.com.br/prodagricmedia.htm>., acesso em 23 de abril de 2023.

SOUZA, J.L.; MOURA FILHO, G.; LYRA, R.F.F. TEODORO, I.; SANTOS, E.A.; SILVA, J.L.; SILVA, P.R.T.; CARDIM, A.H.; AMORIN, E.C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do tabuleiro costeiro de Maceió, AL, período de 1972-2001. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.12, n.1, p.131-141, 2004.

TEW, T. L.; COBILL, R. M. Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum* spp.) as an energy crop. In: VERMERRIS, W. (Ed.). **Genetic Improvement of Bioenergy Crops**. New York, Springer, 2008. p. 249-272.

TOMAS¹, Daniel; BICHAT², Hervé; DUBEUX-TORRES³, Vera. **De la raffinerie de pétrole à la bioraffinerie : Un transfert de technologies au service du développement durable (des experiences en France et au Brésil)**, Seminário Internacional Energias Renováveis e Transição Energética, março/2014.1UTC; 2 PROSPECTIVE 2100, França;3 RIDESA, CECA, UFAL, Brasil.2014.www.renovenergia.2100.org.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 104p. 1955.

CAPÍTULO III

BALANÇO HÍDRICO DA CULTURA E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR, EM QUATRO CICLOS DE PRODUÇÃO NA ZONA DA MATA ALAGOANA

RESUMO - A demanda mundial por etanol, bioeletricidade, açúcar, e outros produtos oriundos da cultura da cana-de-açúcar exige do setor sucroenergético um complexo agroindustrial de alta eficiência produtiva, sustentabilidade ambiental e a necessidade de aumentos significativos de produtividade e produção para os próximos anos. Por isso, com o objetivo de avaliar genótipos RB de cana-de-açúcar, em quatro ciclos de produção, associadas às variáveis do balanço hídrico da cultura, na Zona da Mata alagoana foi instalado um experimento na região de Rio Largo, Alagoas, com seis genótipos de cana, classificados, inicialmente, em três perfis: I - Genótipos de cana-de-açúcar tradicionais (RB92579 e RB951541); II - Genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca (RB0442 e RB0459); e III - Genótipos de cana-energia (RB11999 e RB13403). As variáveis analisadas foram: evapotranspiração da cultura (ET_C), evapotranspiração real (ET_r), déficits (DEF) e excessos (EXC) hídricos, produtividade agrícola e produtividade da água. Nos quatro ciclos, a ET_C variou de 1.816,0 mm (nos 441 dias de cana-planta) a 1.510,0 mm (em 373 dias da primeira soca), a ET_r foi de 1.061,0 a 908,0 mm, em cana planta e 2ª soca, respectivamente. O DEF e EXC foram de 754,0 a 560,0 mm e 1.188,0 a 381,0 mm, respectivamente. A produtividade agrícola, média dos seis genótipos variou de 107,8 t ha⁻¹, em cana-planta, a 71,4 t ha⁻¹, na 2ª soca e produtividade da água, foi 10,2 e 7,9 toneladas para cada 100 mm de ET_r , em cana-planta e 2ª soca, na mesma ordem. A cultura da cana-de-açúcar, na Zona da Mata alagoana, em quatro ciclo de colheita ou quatro safras, passa por o estresse hídrico médio de 638,7 mm, com produtividade agrícola média de 87,3 t ha⁻¹ e produtividade da água de 9,0 toneladas para cada 100 mm de precipitação pluvial efetiva ou de evapotranspiração real da cultura.

Palavras chave: Produtividade da água; déficit hídrico; evapotranspiração da cultura; evapotranspiração real.

WATER BALANCE OF SUGARCANE CROP AND PRODUCTIVITY, IN FOUR PRODUCTION CYCLES IN THE FOREST ZONE OF ALAGOANA

ABSTRACT - The global demand for ethanol, bioelectricity, sugar and other products from sugarcane cultivation requires of the sugar-energy sector to have an agro-industrial complex with high productive efficiency, environmental sustainability and the need for significant increases in productivity and production for the next years. Therefore, with the objective of evaluating sugarcane RB genotypes, in four production cycles, associated with the variables of the crop's water balance, in the Forest Zone of Alagoas State, an experiment was set up in the Rio Largo, Alagoas, region, with six sugarcane genotypes, initially classified into three profiles: I - Traditional sugarcane genotypes (RB92579 and RB951541); II - Drought-tolerant sugarcane genotypes (RB0442 and RB0459) and; III – Energy-cane genotypes (RB11999 and RB13403). The variables analyzed were: crop evapotranspiration (ET_C), real evapotranspiration (ET_r), water deficits (DEF) and excesses (EXC), agricultural productivity and productivity of the water. In the four cycles, the ET_C varied from 1,816.0 mm (in the 441 days of sugarcane-plant) to 1,510.0 mm (in 373 days of the first ratoon), the ET_r was from 1,061.0 to 908.0 mm, in sugarcane planta and 2nd ratoon, respectively. The DEF and EXC were 754.0 to 560.0 mm and 1,188.0 to 381.0 mm, respectively. Agricultural productivity, the average of the six genotypes, ranged from 107.8 t ha⁻¹, in cane-plant, to 71.4 t ha⁻¹, in the 2nd ratoon and water productivity was 10.2 and 7.9 tons for every 100 mm of ET_r , in sugarcane and 2nd ratoon, in the same order. Sugarcane cultivation, in the Forest Zone of Alagoas, in four harvest cycles or four seasons, experiences an average water stress of 638.7 mm, with an average agricultural productivity of 87.3 t ha⁻¹ and productivity of water of 9.0 tons for every 100 mm of effective rainfall or real evapotranspiration of the crop.

Keywords: Water productivity; water deficit; crop evapotranspiration; real evapotranspiration.

3.1 INTRODUÇÃO

A demanda mundial por etanol, bioeletricidade, açúcar, e outros produtos oriundos da cultura da cana-de-açúcar exige do setor sucroenergético um complexo agroindustrial de alta eficiência produtiva, sustentabilidade ambiental e a necessidade de aumentos significativos de produtividade e produção para os próximos anos. Para suprir essas demandas, sem prejuízos ambientais, esses aumentos deverão ser alcançados sem aumentos de áreas cultivadas por desmatamento. Portanto, uma das alternativas para atender esses aumentos passa pela introdução de novas cultivares de cana e tecnologias de industrialização que possibilitem o aproveitamento integral dos colmos, palha e do bagaço, para produção de etanol e outros combustíveis renováveis (SACHS, 2007; TOMAS e DUBEUX-TORRES, 2014). Outra alternativa é o manejo agrônomo dos canaviais que aliado às novas cultivares podem aumentar significativamente os rendimentos agroindustriais dos canaviais.

O Brasil, maior produtor mundial de cana-de-açúcar, é também considerado o país mais competitivo por deter os maiores níveis de produtividade e rendimento industrial, com menores custos de produção. Na safra 2022/2023 foram colhidas, no Brasil, 610,1 milhões de toneladas de cana em uma área de 8,29 milhões de hectares, com uma produtividade média de 73,6 t ha⁻¹. Em Alagoas, foram colhidas 20,8 milhões de toneladas de cana em uma área de 304,3 mil hectares e produtividade média de 68,4 t ha⁻¹, 14,5% superior à obtida na safra anterior (SINDAÇÚCAR, 2023).

De acordo com Dubeux-Torres et Sandeiro (2017) e Dubeux-Torres e Carvalho (2021) com os resultados publicados no Balanço Energético do Estado de Alagoas – BEAL 2021 ano base 2020, a geração de energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional- SIN, disponibilizado pelo setor sucroenergético de Alagoas, sofreu grande variação nas últimas safras. E, isso foi reflexo da redução da produção da biomassa de cana-de-açúcar. Em 2017, com base nos dados da concessionária Equatorial Alagoas, foi gerado para o SIN 156.8 MWh, em 2018 (199.4 MWh), em 2019 (181.9 MWh) e em 2020 reduziu para 169.4 MWh. Essa redução, de 2018 a 2020, ocorreu devido à queda de produção de cana em consequência da redução de produtividade agrícola e da área plantada. (CONAB, 2020). Apesar da cana-de-açúcar ser uma planta de metabolismo fotossintético C4, com altas taxas fotossintéticas e elevada eficiência de conversão de

energia radiante em energia química (TEW e COBILL, 2008), essa cultura é significativamente influenciada pelo regime de chuva e outros elementos meteorológicos como temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar etc .

Inman-Bamber et al. (2005) e Teodoro et al. (2017) analisaram os impactos das deficiências hídricas na produção de cana-de-açúcar e concluíram que a variabilidade temporal das condições hídricas do solo causada pela irregularidade das chuvas é, isoladamente, o fator que exerce maior peso na oscilação dos rendimentos das agroindustriais canavieiras. Teodoro et al. (2017) também analisaram a produtividade da cana-de-açúcar nas safras agrícola de 2005/2006 a 2015/2016 e observaram que, em Alagoas, a deficiência hídrica nas últimas safras foi a grande responsável pela elevada redução da produtividade alagoana de cana-de-açúcar. Esses autores afirmam que, nas onze safras analisadas, choveu em média 1.688,0 mm. E, apesar desse total atender a demanda hídrica da cultura, que é da ordem de 1.600,0 mm, houve média de 593,0 mm de deficiência hídrica devido à irregularidade na distribuição das chuvas que provocam excesso hídrico, nos meses de abril a agosto, e déficit hídrico, de setembro a março do ano seguinte. Ainda de acordo com esses pesquisadores, os períodos de seca mais severas na região canavieira alagoana ocorreram nas safras 2012/2013 e 2015/2016, com déficit hídrico de 702,0 e 729,0 mm, respectivamente.

As alternativas para mitigar os efeitos da deficiência hídrica na cultura da cana-de-açúcar é a irrigação e a obtenção de cultivares tolerantes à seca. Mas a irrigação, além de demandar estruturas onerosas, demanda também volumes de água consideráveis que nem sempre estão disponíveis, sobretudo nos anos de estiagens prolongadas. Portanto, a alternativa mais sustentável é melhoramento genético para a produção de cultivares tolerantes aos déficits hídricos regionais e para atender aos diferentes mix de produção das agroindústrias do setor sucroenergético.

Nos trabalhos de seleção de cultivares de cana-de-açúcar, os genótipos ou clones (denominação dada antes do registro e proteção das cultivares ou variedades) passam por diversas fases e a última delas é a fase experimental, em que são avaliadas diversas características como tolerância à seca, resistência a doenças, rendimentos agroindustriais etc. E, uma das formas de analisar as características hídricas de um período de cultivo ou safra agrícola é através do balanço hídrico da cultura, com base nas variáveis:

evapotranspiração de referência (ET_0), evapotranspiração da cultura (ET_c), evapotranspiração real (ET_r), déficit hídrico (DEF) e excesso hídrico (EXC).

Portanto, com base no exposto, o objetivo desta pesquisa foi o de avaliar as produtividades agroindustriais de seis genótipos RB de cana, com diferentes perfis agronômicos (cana-de-açúcar tradicional, cana tolerante à seca e cana-energia), associadas às variáveis do balanço hídrico da cultura da cana-de-açúcar, principalmente, com base no déficit hídrico, na Zona da Mata alagoana, em quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1^a, 2^a e 3^a socas), no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Características da área experimental

O experimento foi conduzido no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, em uma área de aproximadamente 0,50 ha, no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), (9°27'58,7" S; 35°49'47,2" W; 127 m), região dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste brasileiro, município de Rio Largo, Alagoas.

De acordo com classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), o clima da região é úmido, megatérmico, com deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno. A precipitação pluvial, média anual, é 1.800 mm, a temperatura do ar varia de 19,3°C (agosto) a 31,7°C (janeiro), com média anual de 25,4 °C e a umidade relativa do ar média mensal fica acima de 70% (Souza et al., 2005). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Coeso Argissólico de textura médio-argilosa, com as características físico-hídricas e granulométricas seguintes: Capacidade de Campo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) 0,244 Ponto de Murcha Permanente ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) 0,147 Densidade Volumétrica (Mg m^{-3}) 1,50 Porosidade Total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) 0,423 (Carvalho, 2003).

3.2.2 Delineamento estatístico e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições, em parcelas de 8,0 linhas de 13,0 m de comprimento e espaçamento de 1,0 m entre linhas, 104,0 m² de área para cada unidade experimental (Croqui no Anexo 1). As análises estatísticas foram realizadas seguindo as recomendações de Ferreira (2017), através do Sisvar versão 5.3 e (FERREIRA, 2018). O teste F, ao nível de 5% de probabilidade, foi usado para avaliar a significância dos tratamentos sob as variáveis.

Os tratamentos foram seis genótipos de cana, classificados, inicialmente, em três perfis: I - Genótipos de cana-de-açúcar tradicionais (RB92579 e RB951541); II - Genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca (RB0442 e RB0459); e III - Genótipos de cana-energia (RB11999 e RB13403).

3.2.3 Preparo do solo e plantio

A instalação do Experimento e condução dos dois primeiros ciclos de produção (cana-planta e primeira soca) foram realizadas por Diniz (2020) que também disponibilizou os dados desses ciclos para a elaboração deste trabalho. Antes do preparo do solo, de acordo com Diniz (2020), foi realizada a calagem, com base nos resultados da análise química do solo (Tabela 2.1). De modo que, para corrigir a acidez e falta de cálcio e magnésio do solo, 30 dias antes do plantio, foram aplicados, em área total, de $3,5 \text{ t ha}^{-1}$ do calcário mix (70% de calcário dolomítico mais 30% de gesso), com a seguinte composição: 28% CaO, 16% MgO e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 70%. Em seguida, foi feito o preparo do solo com: uma gradagem pesada para destruição dos inços e incorporação do calcário, subsolagem, mais uma gradagem para nivelamento do terreno e por fim a abertura dos sulcos (sulcamento).

O plantio foi realizado manualmente em 01 de novembro de 2016, colocando-se 5 rebolos de 3 gemas, total de 15 gemas por metro. Após a distribuição dos rebolos foram aplicados 200 g ha^{-1} do inseticida Fipronil nos sulcos de plantio para combater pragas como diversas espécies de cupins.

Obs. No plantio, houve a necessidade da aplicação de uma lâmina de 60 mm de irrigação para garantir a brotação e estabelecimento do canavial. Essa prática cultural ou agrônômica foi extremamente necessária, devido à grande seca ocorrida em todo Estado de Alagoas em 2016.

A adubação, assim como a calagem, também foi realizada de acordo com a análise química do solo e executada em duas etapas: na primeira, concomitante ao plantio, foram colocados, no fundo dos sulcos, 60 kg ha^{-1} de N, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 150 kg ha^{-1} de K_2O , além de 100 kg ha^{-1} do fertilizante Fertimicro (2% Bo + 4% Cu + 7% Mn + 10% Zn); e na segunda (adubação de cobertura), aos 150 dias após o plantio (DAP), foram aplicados 20 kg ha^{-1} de N, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e 50 kg ha^{-1} de K_2O . A adubação dos três ciclos seguintes (primeira, segunda e terceira soca) foi feita com 90 kg ha^{-1} de N, 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 140 kg ha^{-1} de K_2O , sempre no período de 15 a 30 dias após a colheita.

O controle das plantas daninhas foi feito com os herbicidas 2,4-D e Tebuthiuron, ambos na dose de $2,0 \text{ L ha}^{-1}$. E, também foram feitas capinas manuais, na medida que foi diagnosticado sua necessidade.

A colheita do primeiro ciclo de produção (cana-planta) foi feita em 16 de janeiro de 2018, período de 441 dias; a primeira soca foi colhida em 24 de janeiro de 2019, com

373 dias de idade. A duas colheitas seguintes (segunda e terceira socas) foram realizadas em 06/02/2020 de e 16/02/2021, com 378 e 376 dias de cultivos, respectivamente.

3.2.4 Variáveis agrometeorológicas e balanço hídrico da cultura

As variáveis agrometeorológicas utilizadas: precipitação pluvial (Chuva - mm) e Evapotranspiração de Referência (ET_0 - mm) foram cedidas pelo Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) que possui uma estação meteorológica automática de aquisição de dados Micrologger, CR10X (Campbell Scientific, Logan, Utah) instalada a aproximadamente 500,0 m do experimento.

O balanço hídrico foi feito pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), com os cálculos de evapotranspiração da cultura (ET_c), negativos acumulados (NEG. ACUM.), armazenamento de água no solo (ARM), evapotranspiração real (ET_r), déficits (DEF) e excessos (EXC) hídricos, realizados em sequência, passando os valores finais de um ciclo de produção ou colheita para o próximo, finalizando ou zerando o balanço somente ao final dos quatro ciclos. Os valores de ET_r , que também são considerados como a precipitação pluvial ou chuva efetiva, que corresponde à quantidade de chuva que fica retida no solo e disponível para as plantas e é calculada pela subtração da chuva total menos o excesso hídrico.

3.2.5 Produtividade agrícola e da água

O rendimento ou produtividade agrícola, em tonelada de cana por hectare, que entre os técnicos, produtores e demais profissionais do setor sucroenergético, normalmente o abreviam como 'TCH' foi obtido pelo peso das quatro primeiras linhas de cada parcela (área útil de 52 m²), contadas no sentido Sul-Norte. E, a estimativa foi feita pela Equação 3.1.

$$TCH = \frac{P}{\varepsilon \cdot n \cdot c} \cdot 10 \dots\dots\dots 3.1$$

Em que, **TCH** é a produtividade agrícola (t ha⁻¹), **P** é o peso total da parcela, **ε** é o espaçamento entre linhas (1,0 m), **n** é a quantidade de linhas (4 linhas), **c** é o comprimento das linhas (13,0 metros) e 10 é um fator para converter o resultado para toneladas por hectare (t ha⁻¹).

A pesagem dos colmos foi realizada com dinamômetro digital (Técnica balanças, modelo WT3000-I, com capacidade para pesar até uma tonelada), com o auxílio de uma carregadeira, no mesmo dia ou no dia seguinte ao corte das canas,

A produtividade da água para cada 100 mm de água evapotranspirada foi calculada dividindo-se a produtividade agrícola pela ETr, que também corresponde a chuva efetiva, dividida por 100.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Balanço hídrico da cultura

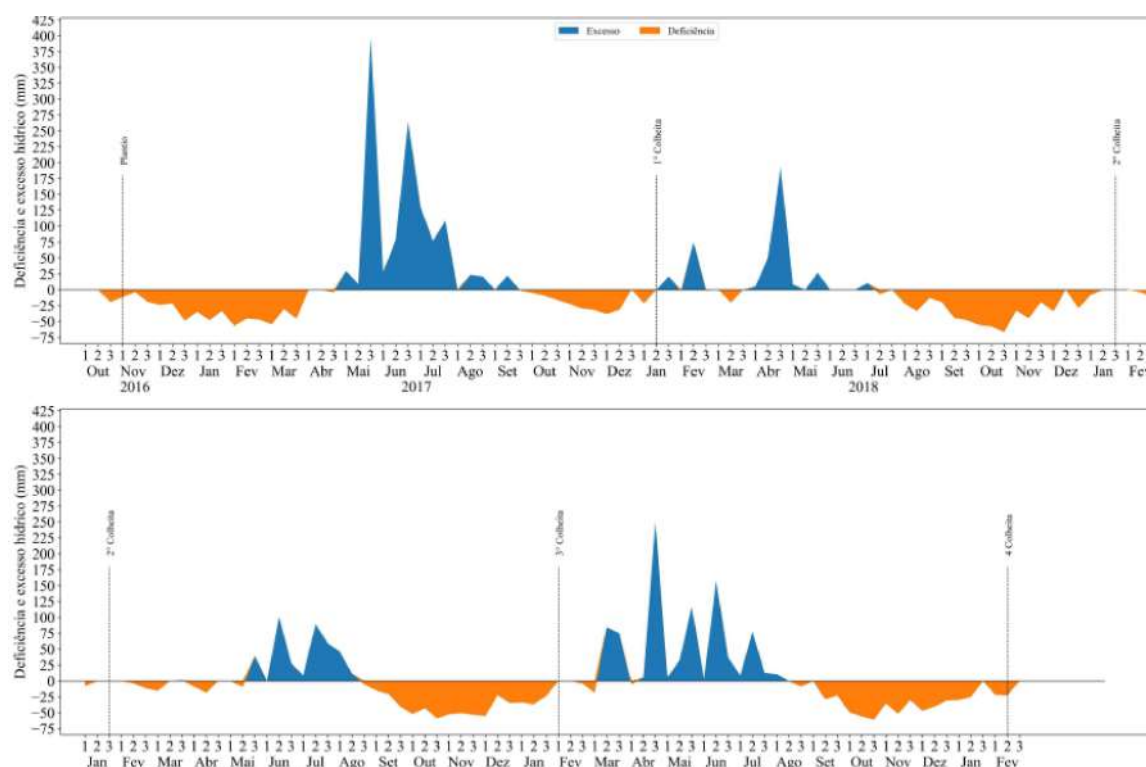
Do plantio, no primeiro decêndio de novembro de 2016, até seis dias antes da primeira colheita, primeiro decêndio de janeiro de 2018, choveu 2.189,0 mm, mais uma lâmina de irrigação de 60mm, que totalizou 2.249,0 mm de água que entrou no sistema. Mesmo assim, devido ao excesso hídrico (1.188,0 mm) que aconteceu de abril a até o final de setembro, houve déficit de 736,0 mm. A irrigação de 60,0 mm, no início do ciclo de cultivo da cana-planta, no primeiro decêndio de novembro de 2016, foi feita para viabilizar a brotação, emergência e estabelecimento da cultura. Mesmo assim, do plantio até o terceiro decêndio de março de 2018 (15 decêndios), foi contabilizado um déficit hídrico de 522,00 mm que prejudicou o crescimento inicial das plantas (Figura 3.1). E do terceiro decêndio de setembro de 2017 até o primeiro decêndio de 2018, ainda houve um déficit hídrico de 214 que ainda causou pequena redução na produtividade agrícola da cultura (Figura 3.1).

No segundo ciclo, do 2º decêndio de janeiro de 2018 ao segundo decêndio de março, do mesmo ano, a deficiência hídrica foi baixa, apenas 24 mm e o excesso hídrico da primeira colheita até o início de agosto de 2018 foi 388,0 mm. Nos 17 decêndios, de 20 de agosto de 2018 até o segundo decêndio de janeiro de 2019, quatro dias antes da colheita, foram contabilizados 529,0 mm de deficiência hídrica. Essa deficiência já foi bastante significativa e muito prejudicial para o crescimento das plantas e produtividade do canavial.

Nos três primeiros decêndios do início do terceiro ciclo de cultivo ou produção, não houve deficiência hídrica. Portanto, a brotação e o perfilhamento inicial da socaria não foram prejudicados. Somente a partir do segundo decêndio de fevereiro até o segundo de maio de 2019, foi que ocorreu uma deficiência de 68,0 mm, em 10 decêndios, o que vai dar em média 6,8 mm de deficiência para cada dez dias. Porém, a partir do terceiro decêndio de agosto de 2019 ao terceiro decêndio de janeiro de 2020, durante a fase de crescimento final das plantas, o déficit hídrico calculado foi 601,0 mm. Nas quatro safras avaliadas, essa foi a que teve a maior deficiência hídrica, na fase final de crescimento. E, se para igualar o tempo de cultivo de cada ciclo de produção, descontar os 126,0 mm de déficit hídrico ocorridos do plantio a até dezembro de 2017, é como se tivesse ocorrido

uma deficiência hídrica de 610,0 mm, nos 12 meses do ciclo de cana-planta. Observa-se também que, a deficiência hídrica total da 2ª soca ou terceira folha, foi a maior (669,0 mm), nas quatro safras analisadas. Nesse terceiro ciclo de produção, apesar da grande deficiência hídrica, ainda houve 381,0 mm de excesso hídrico, detalhe que comprova a má distribuição da chuva no decorrer do ano civil ou até mesmo do ano safra.

Figura 3.1 – Balanço hídrico da cultura da cana-de-açúcar, na zona da Mata alagoana, no período de 2016 a 2021.



Autora: 2023

No quarto ciclo de cultivo (3ª soca), a deficiência hídrica total foi 565,0 mm. Mas, na fase de brotação e perfilhamento da socaria, nos três primeiros decêndios (de 01 a 29 de fevereiro de 2020), choveu 101,0 mm e a deficiência hídrica foi de apenas 4,2 mm, valor insignificante que não prejudicou o desenvolvimento inicial das plantas. No primeiro decêndio de março e no primeiro decêndio abril, houve deficiências hídricas de 18,6 e 5,3 mm, respectivamente. Nesse ciclo de produção, também devido a má distribuição da chuva, houve um excedente hídrico de 872,0 mm, com 159,0 mm no segundo e terceiro decêndios de março, e o restante (713,0 mm), do segundo decêndio de

abril ao primeiro decêndio de agosto de 2020. Na fase final de crescimento da cultura, do terceiro decêndio de agosto de 2020 ao primeiro decêndio de fevereiro de 2021, ocorreu uma deficiência de água no solo de 542,0 mm.

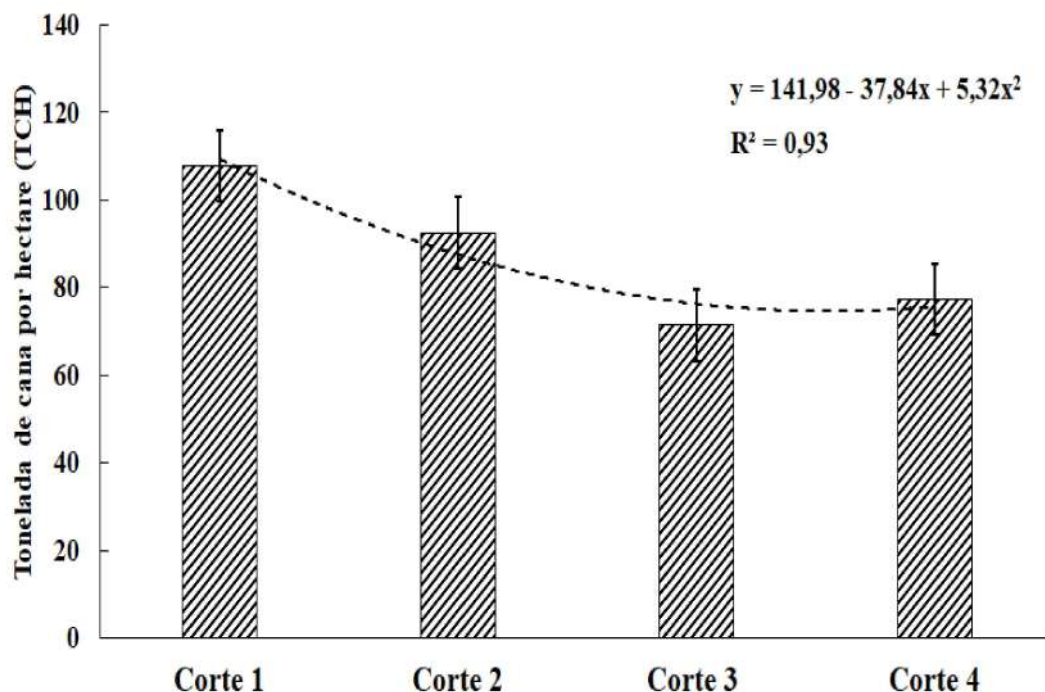
Ao final dos quatro ciclos de produção a deficiência hídrica média de 12 meses de cultivo foi 638,7 mm.

3.3.2 Produtividade agrícola

A produtividade agrícola, média geral, no primeiro corte (cana-planta) foi 107,8 t ha⁻¹ (Figura 3.2). E, na primeira soca, esse índice foi reduzido para 92,5 t ha⁻¹, diferença de 15,3 toneladas a menos. Na segunda soca ou terceira folha, a redução foi mais significativa (21,1 t ha⁻¹) que resultou em um rendimento de apenas 71,4 t ha⁻¹. Essa foi a menor produtividade observada nos quatro ciclos de produção avaliados e isso aconteceu devido ao maior déficit hídrico, ocorrido durante o período analisado, tanto no total (669,0 mm) como na fase final de crescimento das plantas (601,0 mm). Na terceira soca, a produtividade agrícola de 77,4 t ha⁻¹, foi 5,9 toneladas superior à produtividade da segunda soca. Isso aconteceu porque as condições hídricas dessa safra foram melhores do que a segunda soca, com quantidade de chuva maior (1.243,0 mm na 2ª soca e 1.832,9 mm, na terceira soca) e mais bem distribuída. De modo que resultou em déficit hídrico de 104,0 mm a menos e ETr de 951,0 mm, 44,0 mm acima do estimado no ciclo de cultivo anterior. Outro fator que contribuiu para o aumento de produtividade no quarto ciclo de produção foi a rusticidade dos genótipos de cana tolerantes à seca e dos genótipos de cana-energia que não perderam perfilhos, mantiveram a população por unidade de área (estande ou densidade populacional) e, com a melhora das condições hídricas, recuperaram significativamente a produtividade agrícola, enquanto as cultivares de cana-de-açúcar convencional não recuperaram os rendimentos agrícola, devido a perda ou mote de soqueiras durante a estiagem ocorrida no final do terceiro ciclo de cultivo.

Na Figura 3.2, observa-se também, a curva da produtividade agrícola média, dos seis genótipos de cana, nos quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas) e a equação de regressão dessa curva. Pela primeira derivada da equação de regressão dessa curva, chega-se a uma redução média geral de 25,2 t ha⁻¹. Mas, pelos dados observados a redução média do primeiro para o terceiro ciclo de produção foi de 18,2 toneladas por hectare. Essa diferença de redução de produtividade entre os dados observados e a estimativa se dar devido as variações nas características hídricas das safras e reações dos genótipos de cana às deficiências de água no solo.

Figura 3.2 - Produtividade agrícola média de quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), de genótipos de cana, no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana.



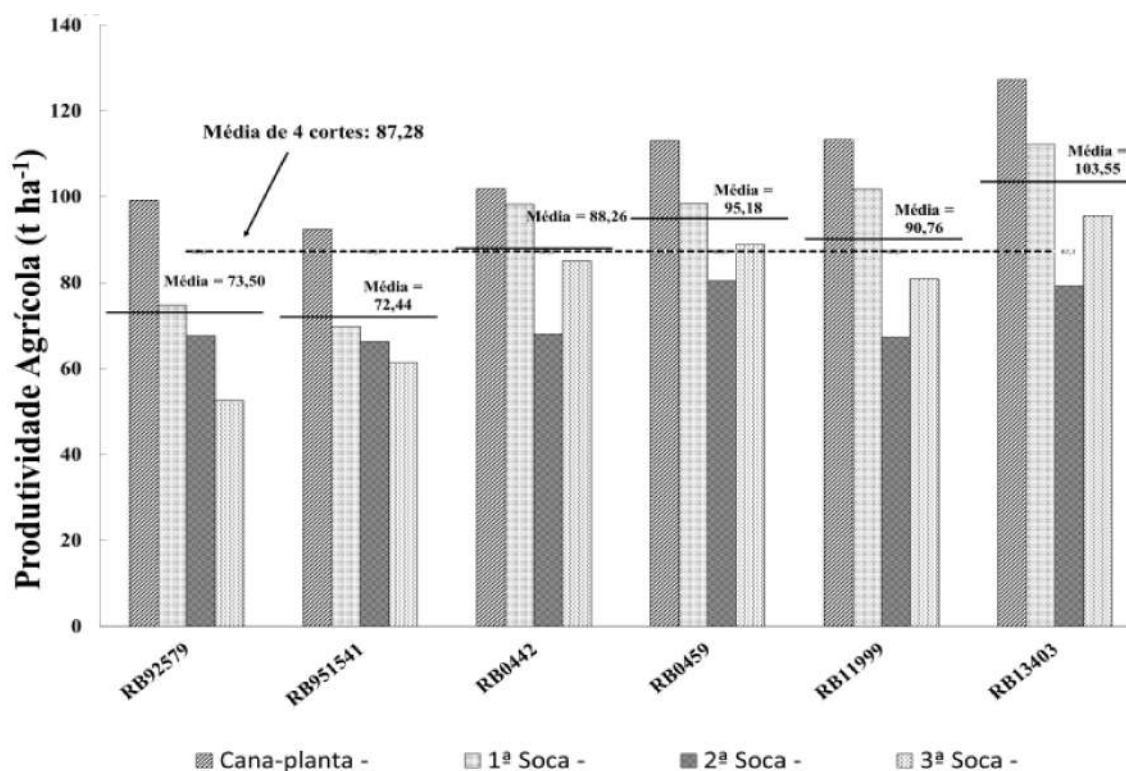
Autora: 2023

A produtividade agrícola média individual de cada genótipo foram: da RB92579, média dos quatro ciclos de colheita, foi 73,5 t ha⁻¹, com variação de 99,2 t ha⁻¹, em cana-planta a 52,5 t ha⁻¹, na terceira-soca e na primeira e segunda-soca, esse índice foi 74,8 e 67,6 t ha⁻¹, respectivamente. A outra cultivar de cana-de-açúcar convencional, RB951541, produziu, em média 72,4 t ha⁻¹, com 92,4 t ha⁻¹, em cana-planta e 69,7, 66,2 e 61,4, na primeira, segunda e terceira-soca, respectivamente. Os rendimentos agrícolas dos genótipos considerados tolerantes à seca foram: a RB0459, teve em média 95,2 t ha⁻¹, com 113,0 em cana-planta, 98,4 (primeira-soca), 80,4 (segunda-soca) e 88,9 t ha⁻¹ na terceira-soca (Figura 3.3).

A RB0442, nos 4 ciclos de produção avaliados, produziu em média 88,3 t ha⁻¹, na primeira colheita (cana-planta) a produtividade foi 101,8 toneladas, na primeira-soca (98,2 toneladas), na segunda-soca (68,0 toneladas) e na terceira-soca a produtividade aumentou para 85,0 t ha⁻¹. A RB13403, genótipo de cana-energia do tipo I, produziu em média 103,5 t ha⁻¹, com os seguintes resultados: 127,3, 112,2, 79,1 e 95,6 t ha⁻¹, nos ciclos de produção de cana-planta, 1ª soca, 2ª soca e 3ª soca, respectivamente. E o outro genótipo

de cana-energia, utilizado nessa pesquisa (RB11999) nesses mesmos ciclos de cultivo, produziu 113,3, 101,7, 67,3 e 80,8 t ha⁻¹, média de 90,8 toneladas de cana por hectare.

Figura 3.3 - Produtividade agrícola média de quatro ciclos de colheita (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), de genótipos de cana, no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana.



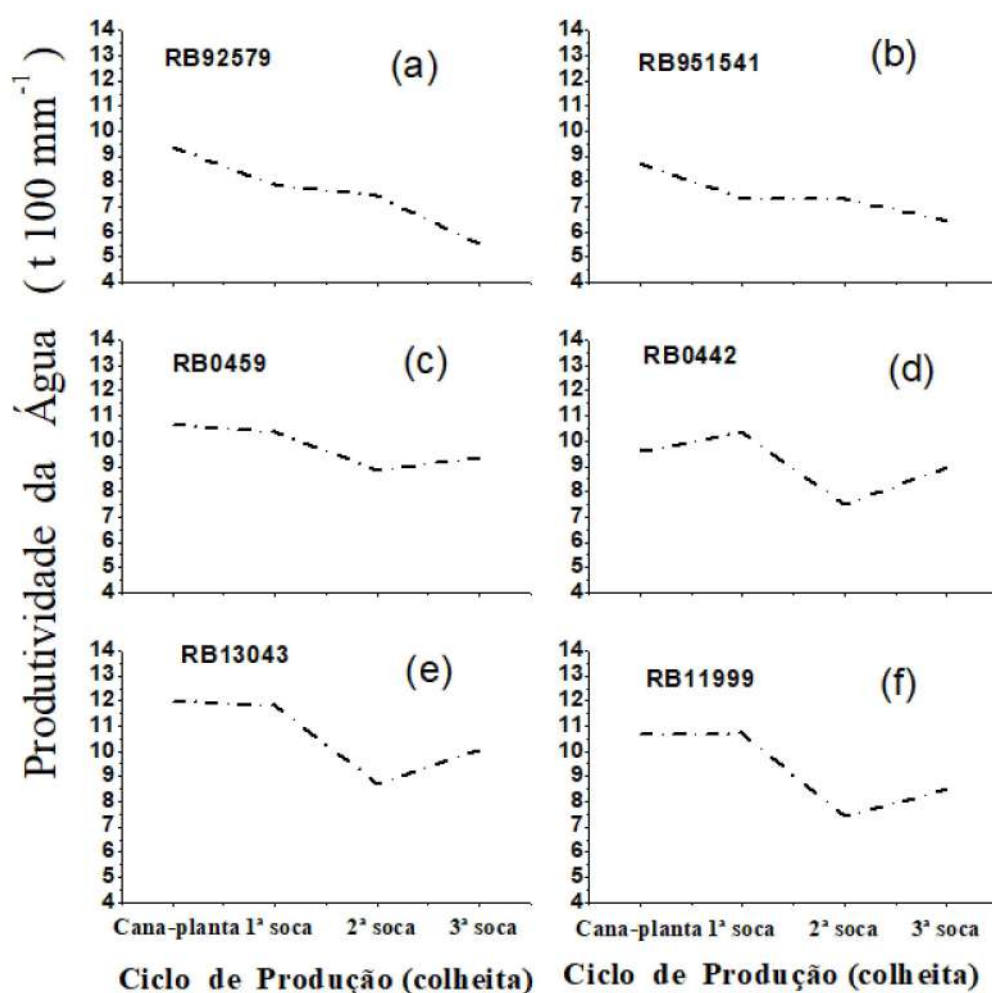
Autora: 2023

No ciclo de cana-planta, os genótipos de cana-energia produziram em média 120,3 t ha⁻¹, as canas tolerantes à seca produziram 107,4 e as cultivares de cana-de-açúcar convencional produziram 95,8. Na primeira soca as cultivares de cana-de-açúcar convencional produziram, em média, 72,2 t ha⁻¹, redução de 23,6 t ha⁻¹. Nos ciclos de produção seguintes (segunda e terceira socas), as produtividades médias dessas cultivares foram 66,9 e 56,9 t ha⁻¹, redução de 5,3 e 10,0 t ha⁻¹, respectivamente. Os genótipos de cana tolerantes à seca produziram 98,3, 74,2 e 87,0 t ha⁻¹, na 1ª, 2ª e 3ª socas. E, os dois genótipos de cana-energia, nas colheitas da 1ª, 2ª e 3ª socas, produziram, em média, 106,9, 73,2 e 88,2 toneladas de cana por hectare.

3.3.3 Produtividade agrícola da água

A produtividade agrícola variou de 12,0 toneladas por 100 mm de água consumida ou chuva efetiva ($t\ 100\ mm^{-1}$) do genótipo RB13403, em cana-planta, a 5,5 $t\ 100\ mm^{-1}$, da RB92579, na 3ª soca ou quarto ciclo de produção, com uma média geral de 9,0 $t\ 100\ mm^{-1}$. Isso indica que, em cultivos irrigados, para cada 100 milímetros de água aplicada há um aumento 9,0 toneladas de colmos ou cana por hectare (Figura 3.4).

Figura 3.4 - Produtividade da água (cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas), de genótipos de cana, no período de novembro de 2016 a fevereiro de 2021, na Zona da Mata Alagoana



Autora: 2023

Na Figura 3.4a, é possível que a produtividade da água na cultivar RB92 579, começa com 9,3 $t\ 100\ mm^{-1}$, em cana-planta, e cai até 5,5 $t\ 100\ mm^{-1}$, na terceira soca, média de 7,5 toneladas para cada 100 mm de água consumida ou precipitação pluvial

efetiva. A outra cultivar de cana-de-açúcar convencional RB951541 (Figura 3.4b) produziu $8,7 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$, em cana-planta e reduziu para $6,5 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$, mas fechou com a mesma média ($7,5 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$) da RB92579. A produtividade da água do clone de cana-de-açúcar, com perfil de tolerância à seca, RB0459, em cana-planta, foi $10,6 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$, diminuiu até $8,9 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$, na segunda soca e depois volta a subir para $9,3 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$ (Figura 3.4c), fechando com média $9,8 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$, nos quatro ciclos de produção. A cultivar de cana RB0442 (Figura 3.4d), que tem como principal característica, a tolerância à seca, começou com uma produtividade de $9,6 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$, aumentou para $10,3$, na primeira soca, reduziu para $7,5$, na segunda soca e também voltou a crescer para $8,5 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$, na terceira soca, de maneira que nos quatro ciclos de produção ficou com uma média de $9,1$ toneladas de colmos para cada 100 mm de chuva efetiva.

O clone resultante de um cruzamento voltado para produção de fibra, classificado como cana-energia, o RB13403 (Figura 3.4e) foi que favoreceu a maior produtividade da água, com média de $10,6 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$ de água utilizada, começou com $12,0 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$, em cana-planta, reduziu para $11,8$ e $8,7 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$, na 1ª e 2ª soca, respectivamente e depois aumentou para $10,6 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$, na 3ª soca. E, o outro clone de cana-energia, RB11999 (Figura 3.4f), com média de $9,3$ toneladas de colmo para cada 100 mm de água aplicada, nas quatro colheitas. Em cana-planta produziu $10,7 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$, repetiu o mesmo desempenho, na 1ª soca, diminuiu para $7,4 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$ e depois, assim como os genótipos de cana tolerantes à seca e o outro genótipo de cana-energia, subiu para $8,5 \text{ t } 100 \text{ mm}^{-1}$. O aumento de da produtividade ou eficiência no uso da água, verificado nos genótipos de canas tolerantes à seca e cana-energia, entre a 2ª e 3ª soca, aconteceu porque esses tipos de cana resistem melhor aos déficits hídricos e conseguem manter o número de perfilho e a redução da deficiência hídrica, na 3ª soca, a produtividade da água voltou a crescer.

3.4. CONCLUSÕES

A cultura da cana-de-açúcar, na Zona da Mata alagoana, em quatro ciclo de colheita ou quatro safras, passa por o estresse hídrico médio de 639,0 mm, com produtividade agrícola média de 87,3 t ha⁻¹ e produtividade da água de 9,0 toneladas para cada 100 mm de precipitação pluvial efetiva ou de evapotranspiração real da cultura.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, O. M. **Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de Rio-largo, cultivados com cana-de-açúcar**. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB) **Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-açúcar, 2020**. Disponível no site: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-açucar>.

DUBEUX-TORRES, V.; SANDEIRO, B. **Balanço Energético do Estado de Alagoas - BEAL 2015 ano base 2016**, Edufal, 2017.

DUBEUX-TORRES, V.; CARVALHO, B. **Balanço Energético do Estado de Alagoas - BEAL 2021 ano base 2020**, Sedetur, 2021.

DINIZ, C.A. **Crescimento e desenvolvimento agroindustrial de diferentes perfis de cana em cultivo de sequeiro**. 2020. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Área de Concentração em Produção Vegetal), do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2020. 127p.

D'HONT, A.; GRIVET, L.; FELDMANN, P.; RAO, S.; BERDING N.; GLASZMANN, J.C. Characterisation of the double genome structure of modern sugarcane cultivars (*Saccharum* spp.) by molecular cytogenetics. **Molecular and General Genetics** **250**: 405-413, 1996.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**. Versão 5.3. DEX/UFLA, 2010. Disponível em: <http://www.dex.ufla.br/~danielff/sisvar.zip>. Acesso em: 15/11/2017.

FERREIRA, P. V. **Estatística Experimental Aplicada às Ciências Agrárias**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2018. 588p.

INMAN-BAMBER, N.G. et al. Sugarcane physiology: integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, v.92, p.115-117, 2005.

SACHS, I., In: BEKER, B.; BUARQUE, C.; NASCIMENTO, E.P. ; (org.). **Dilemas e desafios do desenvolvimento sustentável no Brasil**, (Ed) Garamond, 2007. p. 21 – 41.

SINDAÇÚCAR-AL (Sindicato do Açúcar e do Alcool do Estado de Alagoas) disponível em <http://www.sindaçucar.al.com.br/prodagricmídia.htm>., acesso em 23 de abril de 2023.

SOUZA, J.L.; MOURA FILHO, G.; LYRA, R.F.F. TEODORO, I.; SANTOS, E.A.; SILVA, J.L.; SILVA, P.R.T.; CARDIM, A.H.; AMORIN, E.C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do tabuleiro costeiro de Maceió, AL, período de 1972-2001. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.12, n.1, p.131-141, 2004.

TEODORO, I. et al. Análise Agrometeorológica de Safras de Cana-de-açúcar no Estado de Alagoas. **STAB Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.36, p. 38-41, 2017.

TEW, T. L.; COBILL, R. M. Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum* spp.) as an energy crop. In: VERMERRIS, W. (Ed.). **Genetic Improvement of Bioenergy Crops**. New York, Springer, 2008. p. 249-272.

TOMAS, D.; BICHAT, H.; DUBEUX-TORRES, V. **De la raffinerie de pétrole à la bioraffinerie : Un transfert de technologies au service du développement durable (des experiences en France et au Brésil)**, Seminário Internacional Energias Renováveis e Transição Energética, março / 2014.1UTC ; 2 PROSPECTIVE 2100, França; 3 RIDESA, CECA, UFAL, Brasil.2014.www.renovenergia.2100.org.

THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 104p. 1955.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 – Croqui do experimento

