



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



CARLOS ASSIS DINIZ

**CRESCIMENTO E DESEMPENHO AGROINDUSTRIAL DE DIFERENTES PERFIS
DE CANA EM CULTIVO DE SEQUEIRO**

Rio Largo, AL

2020

CARLOS ASSIS DINIZ

**CRESCIMENTO E DESEMPENHO AGROINDUSTRIAL DE DIFERENTES PERFIS
DE CANA EM CULTIVO DE SEQUEIRO**

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, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Vilma Marques
Ferreira

Coorientador: Prof. Dr. Geraldo Veríssimo de
Souza Barbosa

Rio Largo, AL

2020

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

D585c Diniz, Carlos Assis
Crescimento e desenvolvimento agroindustrial de diferentes perfis de cana em cultivo de sequeiro. / Carlos Assis Diniz – 2020.
127 f.; il.

Tese (Doutorado em Agronomia: Produção vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Vilma Marques Ferreira

Coorientação: Prof. Dr. Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa

Inclui bibliografia

1. Melhoramento genético. 2. Cana – de - açúcar. 3. Cana – energia.
I. Título.

CDU: 633.61

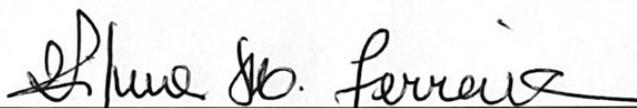
TERMO DE APROVAÇÃO

CARLOS ASSIS DINIZ

(Matrícula 16140031)

**CRESCIMENTO E DESEMPENHO AGROINDUSTRIAL DE DIFERENTES PERFIS
DE CANA EM CULTIVO DE SEQUEIRO**

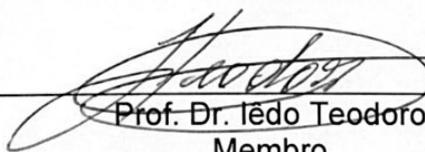
Tese apresentada e avaliada pela banca examinadora em trinta e um de março de 2020, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-Graduação em Agronomia "Produção Vegetal" do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.



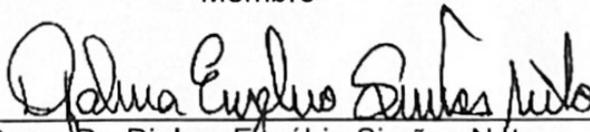
Prof.ª Dr.ª Vilma Marques Ferreira
Presidente



Prof. Dr. Geraldo Verissimo de Souza Barbosa
Membro



Prof. Dr. Iêdo Teodoro
Membro



Pesq. Dr. Djalma Euzébio Simões Neto
Membro

Rio Largo – AL

Março/2020

Aos meus pais, Carlos Roberto dos Santos Diniz e Verônica Maria da Silva Diniz, que durante toda minha vida me deram amor, educação, conselhos e que nunca mediram esforços para a realização dos meus objetivos e sonhos.

A minha amada esposa Thaysa Alves Tavares Diniz por todo amor, incentivo, companheirismo, paciência, dedicação e por todas as palavras de conforto nos momentos mais difíceis.

DEDICO

As minhas queridas avós (in memoriam): Josefa Júlia Diniz e Edite Olimpio da Silva.

Aos meus saudosos avôs (in memoriam): José Euzébio Diniz e José de Assis da Silva, homens do campo que não tiveram a oportunidade que tive, mas, certamente, se sentiriam realizados e orgulhosos com essa conquista.

As minhas queridas irmãs: Cinthia Verônica Assis Diniz e Carla Patrícia de Lima Diniz, pelo apoio, carinho e admiração.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado a graça da vida, saúde, família e amigos e, por sempre me guiar para o caminho do bem;

Aos meus familiares e amigos que me apoiaram, torceram e acreditaram que este sonho seria alcançado;

Ao reitor da Universidade Federal de Alagoas, Prof. Dr. Josealdo Tonholo, por meio do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) pela oportunidade de realização do Curso de Doutorado;

À minha orientadora Professora Dr.^a Vilma Marques Ferreira, pela amizade, ensinamentos, conselhos, dedicação e orientação durante todo o Doutorado;

Ao estimado amigo e coordenador do PMGCA/UFAL Professor Dr. Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa, pela amizade, conselhos, valiosas sugestões, ensinamentos, confiança e, por permitir que me ausentasse quando necessário das atividades do PMGCA/UFAL durante a realização do Doutorado;

Ao querido amigo Professor Dr. Marcelo de Menezes Cruz pela amizade, ensinamentos, confiança, incentivo e pelas valiosas revisões;

Ao estimado amigo Professor Dr. Iêdo Teodoro pela amizade, ensinamentos e, principalmente pelo apoio fundamental na implantação do experimento de campo;

Ao estimado amigo Professor Dr. João Messias dos Santos, pela amizade, esclarecimentos e incentivo;

Ao estimado amigo Edinaldo Martins da Silva pela amizade e valiosa ajuda no plantio e colheitas do experimento;

Ao casal de amigos Dr. Sebastião de Oliveira Maia Júnior e Dr.^a Jailma Ribeiro pela amizade e ajuda inestimável na condução do ensaio em casa de vegetação;

Aos Professores Dr. Laurício Endres e Dr. José Vieira da Silva pelos ensinamentos e por viabilizar os equipamentos utilizados no ensaio em casa de vegetação;

Aos Professores Msc. Vera Dubeux e Dr. Lailton Soares pelos ensinamentos e amizade;

A técnica Isabella Cardoso P. da Silva do Laboratório de Fisiologia Vegetal e ao técnico José Alex C. de Farias do Laboratório de Propagação de Plantas do CECA/UFAL pelo auxílio no manejo dos equipamentos de laboratório;

Ao Prof. Gilson Moura Filho, coordenador do Laboratório de Solos do CECA/UFAL pela análise química e física do solo do experimento;

A todos os Professores da Pós-Graduação do CECA/UFAL que contribuíram com seus conhecimentos;

Ao PMGCA/CECA/UFAL, por fornecer os insumos, equipamentos, materiais e mão-de-obra para a realização desse trabalho;

Aos amigos (as) do PMGCA: 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, 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, Eduardo Jorge G. de Almeida, Petrônio Walquírio de Barros e Eliene Lima dos Santos;

À Professora Dr.^a Edjane Gonçalves de Freitas pela sua disponibilidade para tirar dúvidas referente as análises estatísticas;

Ao Sr. José Cícero Gomes e a toda equipe de apoio do PMGCA, pelo auxílio nas atividades complementares desta pesquisa;

Aos estagiários do PMGCA: Amanda Rodrigues, Beatriz Gomes, Pablo Henrique, José Djalma, Emanuel Araújo e Thaliny Cavalcante pelo fundamental auxílio na execução dos ensaios;

Aos graduandos: Lucas Teles, Jônatas Rodrigo, Marcos Barrozo, Nathaly Silva, João Raphael e Alex pelo auxílio nas análises fisiológicas e bioquímicas;

Aos Eng.º Agrônomos (as): Vicente Silva, Karolyne Priscila, Jhulyanne Christiny pela contribuição nas análises fisiológicas e bioquímicas;

A todos os funcionários da Pós-Graduação, em especial ao Secretário Gustavo Luiz Nepomuceno Lage pela atenção e prestatividade;

A todos os colegas da Pós-Graduação pela agradável companhia durante o curso;

Ao técnico agrícola José Venício Correa da Silva, da Usina Santo Antônio pelo apoio nas análises laboratoriais de amostras da cana-de-açúcar;

Ao Eng. Agrônomo Pedro Luã Vieira de S. Sarmento, da Usina Santa Clotilde pelo apoio nas pesagens das parcelas experimentais;

A FAPEAL/CAPES pela concessão da bolsa de pesquisa;

Enfim, a todos aqueles que contribuíram para a realização do curso.

BIOGRAFIA

Carlos Assis Diniz, filho de Carlos Roberto dos Santos Diniz e Verônica Maria da Silva Diniz, nasceu em Maceió, Alagoas, em 09 de agosto de 1988.

Concluiu o ensino básico e fundamental no extinto Colégio Santa Lúcia e o ensino médio no Colégio Atheneu, ambos na cidade de Maceió, Alagoas.

Em 2009 ingressou no Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias (atual Campus de Engenharias e Ciências Agrárias) da Universidade Federal de Alagoas, obtendo a primeira colocação no processo seletivo deste curso. Durante a graduação teve a oportunidade de estagiar no Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA), no período de março de 2010 a maio de 2013, o qual despertou interesse pela pesquisa científica. Neste período, também executou atividades de iniciação à docência, como monitor da disciplina de Genética. Em maio de 2013 recebeu o grau de Engenheiro Agrônomo.

Em setembro de 2013 foi contratado como pesquisador pela Fundação Universitária de Desenvolvimento de Extensão e Pesquisa (FUNDEPES) para integrar a equipe de melhoristas do PMGCA, que integra a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA).

Em março de 2014, iniciou o Curso de Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, do Campus de Engenharia e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Em janeiro de 2016 concluiu sua dissertação, recebendo o título de Mestre em Agronomia.

Em março de 2016, iniciou o Curso de Doutorado em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, do Campus de Engenharia e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Em março de 2020 concluiu o referido curso de Doutorado.

RESUMO

No Nordeste do Brasil, Alagoas destaca-se como o maior produtor de cana-de-açúcar. Nessa região, tem sido frequente a ocorrência de secas sazonais nos últimos oito anos, causando elevados déficits hídricos nos solos e drásticas reduções na produtividade da cultura. Diante desses problemas, os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar têm adotado a estratégia de desenvolver cultivares de cana com perfis diferentes das atuais cultivares, focando principalmente no aumento da produção de biomassa, elevação dos teores de fibra e tolerância à seca. Esse trabalho teve o objetivo de avaliar os padrões de crescimento e os rendimentos agroindustriais de diferentes perfis de cana, nas condições ambientais de Alagoas, Nordeste do Brasil. Com os resultados desse trabalho, foi elaborada uma tese com quatro capítulos: I) Introdução geral e revisão bibliográfica; II) Análise de crescimento de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, no Nordeste do Brasil; III) Rendimentos agroindustriais de diferentes perfis de cana, em dois ciclos de cultivo, na Região Nordeste do Brasil e; IV) RB0442: cultivar de cana-de-açúcar tolerante à seca. Para atender aos objetivos dos Capítulos II e III, foi instalado um experimento, no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Rio Largo, Alagoas, Brasil. Foram avaliados seis genótipos de cana, classificados 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). Além desse experimento, utilizou-se dados experimentais de 31 colheitas (treze de cana-planta, dez de primeira-soca e oito de segunda-soca) de ensaios conduzidos pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) do CECA/UFAL para avaliar a performance da cultivar RB0442 nas regiões canavieiras de Alagoas (Capítulo IV). Os resultados indicaram que os perfis de cana têm diferentes padrões de crescimento, destacando a cana-energia que teve crescimento vegetativo mais intenso, maior acúmulo de massa seca e maior índice de área foliar. Porém, no período de seca, a cana-energia foi o perfil que teve o crescimento mais prejudicado, com grandes reduções nas taxas de crescimento relativo e de assimilação líquida, além de maior área foliar específica. Em dois ciclos de cultivo, foi observado que a cana-de-açúcar tolerante à seca apresentou rendimento agrícola semelhante ao da cana-energia e superior a cana-de-açúcar tradicional. Apesar da cana-energia ser muito produtiva, a qualidade da sua matéria-prima, para a produção de açúcar é inferior à dos outros dois perfis. Portanto, o perfil de cana-de-açúcar tolerante à seca, em especial a cultivar RB0442, é uma boa opção para cultivo no Nordeste do Brasil, principalmente em ambientes com restrição hídrica.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Cana-de-açúcar tolerante à seca. Cana-energia.

ABSTRACT

In the Northeast of Brazil, Alagoas stands out as the largest producer of sugarcane. In this region, seasonal droughts have been frequent in the last eight years, causing high water deficits in soils and drastic reductions in crop yield. Faced with these problems, sugarcane breeding programs have adopted the strategy of developing sugarcane cultivars with different characteristics of current cultivars, focusing mainly on increasing the production of biomass, increase in fiber content and drought tolerance. This work aimed to evaluate the growth patterns and agroindustrial yields of different cane profiles, in the environmental conditions of Alagoas, Northeast of Brazil. With the results of this work, the doctoral thesis was elaborated in four Chapters: 1) General introduction and literature review; 2) Growth analysis of different cane profiles in the plant cane cycle in Northeast of Brazil; 3) Agroindustrial yields of different cane profiles in two crop cycles in the Northeast of Brazil; and 4) RB0442: drought tolerant sugarcane cultivar. In order to meet the objectives of Chapter II and Chapter III, a field experiment was installed at the Campus of Engineering and Agrarian Sciences from the Federal University of Alagoas, Rio Largo, Alagoas, Brazil. Six genotypes of cane were evaluated. These genotypes were 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). In addition, experimental data from 31 harvests (thirteen plant cane, ten first-ratoon and eight second-ratoon) from trials conducted by PMGCA/CECA/UFAL were used to evaluate the performance of cultivar RB0442 in the sugarcane regions of Alagoas (Chapter IV). The results indicated that the cane profile have different growth patterns, highlighting the energy cane that had the most intense vegetative growth, the highest accumulation of dry mass and the highest leaf area index. However, in the drought season, energy cane was the profile that had the most impaired growth, with large reductions in the relative growth rate and net assimilation rate, in addition to a greater specific leaf area. In two crop cycles, it was observed that drought tolerant sugarcane showed an agricultural yield similar to that of energy cane and superior to traditional sugarcane. Although energy cane is very productive, the quality of its raw material for sugar production is lower than that of the other two profiles. Therefore, the drought tolerant sugarcane, especially the RB0442 cultivar, is a good option for cultivation in Northeast of Brazil, especially in environments with water restriction.

Keywords: *Saccharum* spp. Drought tolerant sugarcane. Energy cane.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1.1 – Ciclo fenológico da cana-de-açúcar 27
- Figura 1.2 – Variação no uso e composição entre cana-de-açúcar tradicional e cana-energia Tipo I e Tipo II 36
- Figura 1.3 – Número de plântulas (*seedlings*) oriundos de cruzamentos genéticos da RB72910 (“pé-seco”) e de seus descendentes com genótipos de alto rendimento agroindustrial..... 39
- Figura 1.4 – a) Genótipo RB72910 ao lado da SP79-1011 em condição de seca, b) Sistema radicular da RB72910 e, c) Sistema radicular da SP79-1011 40
- Figura 1.5 – Evolução da deficiência hídrica (DEF) e da produtividade agrícola (TCH) da cana-de-açúcar, das safras 2005/2006 a 2015/2016 em Alagoas, Brasil 45

CAPÍTULO II

- Figura 2.1 – Croqui do experimento..... 60
- Figura 2.2 – Parcela com a separação das linhas 2 e 3 para a análise de crescimento não destrutiva e das linhas 6 e 7 para análise de crescimento destrutiva..... 61
- Figura 2.3 – Temperaturas do ar, mínima, média e máxima diárias, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018..... 68
- Figura 2.4 – Médias decendiais de precipitação pluvial (P) e evapotranspiração de referência (ET_o), na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018 69
- Figura 2.5 – Balanço hídrico decendial da cultura da cana-de-açúcar, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018..... 71

- Figura 2.6 – Comprimento do colmo (cm) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403)..... 72
- Figura 2.7 – A) Diâmetro do colmo (mm) e B) Número de perfilhos (perfilhos m⁻¹) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403)..... 74
- Figura 2.8 – Massa seca da parte aérea (g m⁻²) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403)..... 76
- Figura 2.9 – Massa seca dos colmos (g m⁻²) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403)..... 78
- Figura 2.10 – Índice de área foliar (IAF) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403)..... 80
- Figura 2.11 – A) Taxa de crescimento da cultura (TCC, g m⁻² dia⁻¹), B) Taxa de crescimento relativo (TCR, g g⁻¹ dia⁻¹) e C) Taxa de assimilação líquida (TAL, g m⁻² dia⁻¹) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403)..... 82

Figura 2.12 – A) Razão de área foliar (RAF, em $m^2 g^{-1}$), B) Razão de massa foliar (RMF, em $g g^{-1}$) e C) Área foliar específica (AFE, em $m^2 dia^{-1}$) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403)..... 84

CAPÍTULO III

Figura 3.1 – Médias decendiais de precipitação pluvial (P) e evapotranspiração de referência (ETo), na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019 94

Figura 3.2 – Temperaturas do ar, mínima, média e máxima diárias, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019..... 95

Figura 3.3 – Balanço hídrico decendial da cultura da cana-de-açúcar, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019 95

Figura 3.4 – Croqui do experimento..... 96

Figura 3.5 – Médias das variáveis de qualidade da matéria-prima: A) teor de sólidos solúveis totais - brix % caldo (BRIX), B) teor de sacarose aparente - pol % caldo (POL) e C) pureza - % (PZA) de genótipos de cana em cultivo de sequeiro, em ciclos de cana-planta e cana-soca, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e, Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403). 105

Figura 3.6 – Médias das variáveis de qualidade da matéria-prima: A) quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR) e B) teor de sólidos insolúveis em água - fibra % cana (FIBRA) de genótipos de cana em cultivo de sequeiro, em ciclos de cana-planta e cana-soca, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541),

Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e, Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403). 106

Figura 3.7 – Médias das variáveis de rendimento: A) toneladas de cana por hectare (TCH), B) toneladas de ATR por hectare (TATRH) e C) toneladas de fibra por hectare (TFH) de genótipos de cana em cultivo de sequeiro, em ciclos de cana-planta e cana-soca, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e, Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403). 107

CAPÍTULO IV

Figura 4.1 – Genealogia da RB0442..... 113

Figura 4.2 – Curvas de maturação das cultivares RB0442 e RB92579 (padrão) para a variável quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR) em Alagoas 116

Figura 4.3 – Médias de tonelada de cana por hectare (TCH) e tonelada de açúcar por hectare (TATRH) das cultivares RB0442 e RB92579 (padrão), com ajuste de regressão linear de acordo com o índice de ambiente de 12 experimentos (31 colheitas) em Alagoas..... 117

Figura 4.4 – Profundidade, distribuição e massa seca do sistema radicular das cultivares RB0442 (a) e RB92579 (b) 117

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 2.1 – Resultados da análise química do solo da área experimental, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.....	59
Tabela 2.2 – Resultados da análise física do solo da área experimental, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.....	60

CAPÍTULO III

Tabela 3.1 – Resultados da análise química do solo da área experimental, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.....	93
Tabela 3.2 – Resultados da análise física do solo da área experimental, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.....	94
Tabela 3.3 – Quadrados médios da análise de variância, coeficientes de variação e média geral das variáveis: teor de sólidos solúveis totais - brix % caldo (BRIX), teor de sacarose aparente - pol % caldo (POL), pureza - % (PZA), quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR), teor de sólidos insolúveis em água - fibra % cana (FIBRA), toneladas de cana por hectare (TCH), toneladas de ATR por hectare (TATR) e toneladas de fibra por hectare (TFH) de genótipos de cana em cultivo de sequeiro durante dois cortes (cana-planta e cana-soca), na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019.....	100
Tabela 3.4 – Estimativas dos contrastes da média de dois cortes (cana-planta e cana-soca) das variáveis: teor de sólidos solúveis totais - brix % caldo (BRIX), teor de sacarose aparente - pol % caldo (POL), pureza - % (PZA), quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR), teor de sólidos insolúveis em água - fibra % cana (FIBRA), toneladas de cana por hectare (TCH), toneladas de ATR por hectare (TATR) e toneladas de fibra por hectare (TFH) de genótipos de cana em cultivo de sequeiro durante dois cortes, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019. Perfil I: CA ¹ (Cana-de-açúcar tradicional:	

RB92579 e RB951541), Perfil II: CS ² (Cana-de-açúcar tolerante à seca: RB0442 e RB0459) e, Perfil III: CE ³ (Cana-energia: RB11999 e RB13403).....	101
--	-----

CAPÍTULO IV

Tabela 4.1 – Médias de tonelada de cana por hectare (TCH) e tonelada de ATR por hectare (TATR _H) das cultivares RB0442 e RB92579 de acordo com o tipo de ambiente e corte. Estimativa de ganho de rendimento da cv. RB0442 em relação a cv. RB92579. Resultados médios de 31 colheitas em Alagoas	115
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Área foliar (m ²)
AR	Açúcares redutores
AFE	Área foliar específica (m ² g ⁻¹)
ATR	Açúcares totais recuperáveis (kg de açúcar por tonelada de cana)
BRIX	Teor de sólidos solúveis totais (%)
BSES	Bureau of Sugar Experiment Stations
C	Corte
CA	Cana-de-açúcar tradicional
CE	Cana-energia
CECA	Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
CMC	Comprimento médio do colmo (mm)
Co	Coimbatre
COPERSUCAR	Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo
CP	Canal Point
CS	Cana-de-açúcar tolerante à seca
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
CV	Coefficiente de variação (%)
DAP	Dias após o plantio
DMC	Diâmetro médio dos colmos (mm)
ETc	Evapotranspiração da cultura (mm)
ETo	Evapotranspiração de referência (mm)
FIBRA	Teor de sólidos insolúveis em água (%)
G	Genótipo
IAF	Índice de área foliar
IM	Índice de maturação

MS	Massa seca
MSC	Massa seca dos colmos (g)
MSFV	Massa seca das folhas verdes (g)
MSIRI	Mauritius Sugarcane Industry Research Institute
MSPA	Massa seca da parte aérea (g)
NP	Número de perfilhos (perfilhos m ⁻¹)
PMGCA	Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar
P	Precipitação pluvial (mm)
POJ	Proefstation Oost Java
POL	Teor de sacarose aparente (%)
PRNT	Poder relativo de neutralização total
PZA	Pureza do caldo (%)
QTLs	Quantitative Trait Loci
RAF	Razão de área foliar (m ² g ⁻¹)
RB	República do Brasil
RIDESA	Rede Interuniversitária para o desenvolvimento do setor sucroenergético
RMF	Razão da massa foliar (g g ⁻¹)
S.	<i>Saccharum</i>
SASEX	South African Sugar Experiment Station
SBI	Sugarcane Breeding Institute
TAL	Taxa de assimilação líquida (g m ⁻² dia ⁻¹)
TATR	Tonelada de ATR por hectare
TCC	Taxa de crescimento da cultura (g m ⁻² dia ⁻¹)
TCH	Tonelada de cana por hectare
TCR	Taxa de crescimento relativo (g g ⁻¹ dia ⁻¹)
TFH	Tonelada de fibra por hectare
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFV	Universidade Federal de Viçosa

SUMÁRIO

	CAPÍTULO I	22
1	INTRODUÇÃO GERAL	22
2	REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1	A cana-de-açúcar	24
2.1.1	Aspectos gerais.....	24
2.1.2	Taxonomia, centro de origem e domesticação da cana-de-açúcar	24
2.1.3	Características botânicas da cana-de-açúcar	25
2.2	Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar.....	26
2.3	Análise de crescimento	29
2.3.1	Análise de crescimento da cana-de-açúcar.....	31
2.4	Melhoramento genético da cana-de-açúcar	33
2.4.1	Melhoramento para obtenção da cana-energia.....	35
2.4.2	Melhoramento para obtenção de cana-de-açúcar tolerante à seca	38
2.5	Necessidades hídricas da cana-de-açúcar.....	42
2.6	Déficit hídrico	43
2.6.1	Aspectos gerais.....	43
2.6.2	Déficit hídrico e seus impactos no crescimento e produtividade da cana-de-açúcar .	44
	REFERÊNCIAS	46
	CAPÍTULO II - ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE DIFERENTES PERFIS DE CANA, EM CICLO DE CANA-PLANTA, NO NORDESTE DO BRASIL	56
1	INTRODUÇÃO	57
2	MATERIAL E MÉTODOS	59
2.1	Caracterização do ambiente experimental.....	59
2.2	Tratamentos e delineamento experimental.....	60
2.3	Práticas culturais e condução do experimento	61
2.4	Variáveis agrometeorológicas	62
2.5	Análise de crescimento	62
2.5.1	Análise não destrutiva	63
2.5.2	Análise destrutiva	63
2.5.3	Índices morfofisiológicos	64
2.5.3.1	Índice de área foliar	65

2.5.3.2	Taxa de crescimento da cultura	65
2.5.3.3	Taxa de crescimento relativo.....	65
2.5.3.4	Taxa de assimilação líquida	66
2.5.3.5	Razão de área foliar	66
2.5.3.6	Área foliar específica.....	67
2.5.3.7	Razão da massa foliar	67
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
3.1	Variáveis agrometeorológicas	68
3.2	Análise de crescimento	71
3.2.1	Variáveis biométricas	71
3.2.2	Massa seca.....	75
3.2.3	Índices morfofisiológicos	79
4	CONCLUSÕES	86
	REFERÊNCIAS	87
	CAPÍTULO III - RENDIMENTOS AGROINDUSTRIAIS DE DIFERENTES PERFIS DE CANA, EM DOIS CICLOS DE CULTIVO, NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL	90
1	INTRODUÇÃO	91
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	93
2.1	Caracterização do ambiente experimental.....	93
2.2	Tratamentos e delineamento experimental.....	96
2.3	Práticas culturais e condução do experimento	97
2.3.1	Cana-planta.....	97
2.3.1	Cana-soca	97
2.4	Variáveis de produção.....	98
2.4.1	Qualidade da matéria-prima	98
2.4.2	Rendimentos agroindustriais	98
2.5	Análise estatística	99
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	99
3.1	Análise de variância	99
3.2	Estimativas dos contrastes.....	100
4	CONCLUSÕES	109
	REFERÊNCIAS	109

	CAPÍTULO IV - RB0442: CULTIVAR DE CANA-DE-AÇÚCAR TOLERANTE À SECA	112
1	INTRODUÇÃO	112
2	PEDIGREE DA RB0442 E METODOLOGIA DO MELHORAMENTO GENÉTICO	113
3	PERFORMANCE	115
4	OUTRAS CARACTERÍSTICAS.....	118
4.1	Morfologia.....	118
4.2	Reação às doenças	118
5	MANUTENÇÃO DO GERMOPLASMA E DISTRIBUIÇÃO DE MUDAS ...	119
	REFERÊNCIAS	119
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	121
	APÊNDICES	122

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma planta C4, com alta capacidade fotossintética, cultivada em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo (TEW; COBILL, 2008). O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e essa cultura agrícola é uma das mais importantes para o agronegócio brasileiro. Os indicadores da safra 2018/2019, foram: 8,59 milhões de hectares de canaviais colhidos; produtividade agrícola média de 72,23 toneladas de cana por hectare; moagem de 620,44 milhões de toneladas de cana; produção de 29,04 milhões de toneladas de açúcar e 33,14 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2019).

O cultivo de cana-de-açúcar no Brasil tem se expandido e ocupado áreas marginais, com características edafoclimáticas restritivas para a cultura. A maioria dessas áreas, encontram-se principalmente nas Regiões Centro-Oeste e Nordeste, onde o principal fator limitante para produção e expansão da cultura é a irregularidade na distribuição de chuvas e/ou disponibilidade hídrica (PIRES et al., 2008; TEODORO et al., 2017).

Na Região Nordeste do Brasil, Alagoas destaca-se como o maior produtor de cana-de-açúcar e os indicadores na safra 2018/2019 foram: 293,20 mil hectares de canaviais colhidos; produtividade agrícola média de 55,26 toneladas de cana por hectare; moagem de 16,20 milhões de toneladas de cana; produção de 1,19 milhão de toneladas de açúcar e 490,41 milhões de litros de etanol (CONAB, 2019). Nessa região, a ocorrência de secas sazonais nos últimos oito anos tem sido frequente, causando elevados déficits hídricos nos solos, e conseqüentemente, drásticas reduções na produtividade e produção de cana-de-açúcar (BARBOSA, 2018; TEODORO et al., 2017).

Para contornar a falta de chuva e amenizar os efeitos negativos do déficit hídrico, o uso da irrigação é uma alternativa muito eficiente para viabilizar o cultivo da cana-de-açúcar, principalmente no Nordeste brasileiro (TEODORO et al., 2009). No entanto, a adoção dessa tecnologia requer investimentos na construção de barragens, compra de equipamentos, contratação de mão-de-obra, alta demanda de energia e, conseqüentemente, aumento dos custos de produção. Outro entrave, é a escassez de água cada vez maior, em função das alterações climáticas, provocadas pelo aquecimento global (SILVA et al., 2011). Nesse cenário, a cultivar de cana-de-açúcar é a tecnologia de menor custo e que mais contribui para

a elevação da produtividade agrícola (BARBOSA et al., 2008) e, a tolerância à seca é vista como uma das características mais importantes para as culturas agrícolas superarem as adversidades impostas pelos estresses abióticos (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011; PIRES et al., 2008).

Diante dos problemas expostos, os programas de melhoramento genético têm adotado a estratégia de desenvolver cultivares de cana não somente com elevados rendimentos agroindustriais e resistente às principais pragas e doenças, mas também com maior conteúdo de fibra, elevada produção de biomassa, rápido crescimento, maior eficiência do uso da água, maior longevidade do canavial e principalmente tolerante à seca. Para alcançar esses objetivos, o Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA), do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) passou a direcionar suas estratégias de melhoramento no desenvolvimento de três perfis de cana, classificadas em: I) cana-de-açúcar tradicional, com alto rendimento agroindustrial e resistente às principais pragas e doenças; II) cana-de-açúcar tolerante à seca, com a mesma característica da cana-de-açúcar tradicional, mas com o diferencial de suportar maiores períodos de déficit hídrico; e III) cana-energia, com grande contribuição genética de *Saccharum spontaneum*, que conferem maior conteúdo de fibra, elevada produção de biomassa e sistema radicular profundo e profuso.

Esses novos perfis de cana necessitam de estudos que estimem as taxas de crescimento e os rendimentos agroindustriais, e assim inferir qual perfil de cana é mais viável para o cultivo em ambientes com restrição hídrica. Para tal, o presente estudo foi dividido em quatro capítulos: I) Revisão bibliográfica, abordando os principais temas dessa pesquisa; II) Análise de crescimento de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, no Nordeste do Brasil; III) Rendimentos agroindustriais de diferentes perfis de cana, em dois ciclos de cultivo, na Região Nordeste do Brasil e; IV) RB0442: cultivar de cana-de-açúcar tolerante à seca.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cana-de-açúcar

2.1.1 Aspectos gerais

A cana-de-açúcar tem grande importância para o Brasil, que é o maior produtor mundial dessa cultura agrícola, e dos produtos açúcar, etanol de cana e eletricidade (cogeração a partir do bagaço da cana). O país é também o maior exportador de açúcar e etanol. Na safra 2018/2019, o Brasil apresentou os seguintes indicadores: 8,59 milhões de hectares de canaviais colhidos; produtividade agrícola média de 72,23 toneladas de cana por hectare; moagem de 620,44 milhões de toneladas de cana; produção de 29,04 milhões de toneladas de açúcar e 33,14 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2019).

Por meio de produtos derivados, como o etanol e a eletricidade, a cana-de-açúcar representa atualmente a segunda mais importante fonte primária da matriz energética brasileira e o principal componente das energias renováveis. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, do Ministério de Minas e Energia, no ano de 2018 a biomassa da cana-de-açúcar participou com 17,4% na repartição da oferta interna de energia no Brasil, ficando atrás apenas do petróleo e seus derivados (34,4%) (EPE / MME, 2019).

Além dos produtos açúcar, etanol e eletricidade, a cana é matéria-prima para uma diversidade de produtos, tais como: melação, aguardente, bagaço, levedura, torta de filtro, vinhaça, composto fertilizante, gás carbônico, ácido cítrico, lisina, briquetes, aglomerados MDF etc (BNDES / CGEE, 2008; CARVALHO, 2003).

2.1.2 Taxonomia, centro de origem e domesticação 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*. Segundo Daniels e Roach (1987), nesse gênero ocorrem seis espécies: *S. 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=100-130), dos quais 80% são derivados de *S. officinarum*, 10 -

15% de *S. spontaneum* e o restante 5 - 10% são cromossomos recombinantes entre as duas espécies ancestrais, evidenciando ser uma cultura com genoma muito complexo (D'HONT et al., 1996).

A origem sugerida para *S. officinarum* oriunda de acessos de *S. robustum*, selecionados para colmos mais grossos, com maior teor de sacarose e baixo teor de fibra, após domesticação em Nova Guiné é aceita por grande parte dos melhoristas de cana-de-açúcar (DANIELS; ROACH, 1987). Partindo da Nova Guiné, os acessos de *S. officinarum* se espalharam pela Indonésia, China, Índia, Micronésia e Polinésia. Os melhoristas holandeses em Java chamaram os acessos de *S. officinarum* de “canas nobres”, e “nobilização” o processo de retrocruzamento entre os híbridos de *S. officinarum* com *S. spontaneum* (BERDING et al., 2004; EDMÉ et al., 2005; MING et al., 2006).

A espécie *S. spontaneum* é provavelmente a espécie mais primitiva de cana-de-açúcar, tendo a Índia como centro de origem e diversidade, com ampla distribuição para as regiões tropicais e subtropicais. 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 ancestrais de *S. sinense* cultivados na China e na Índia foram utilizados para a produção de melaço 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 entre híbridos naturais de *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. Foi a primeira variedade introduzida no Brasil, proveniente da Ilha da Madeira (LANDELL; BRESSIANI, 2008).

2.1.3 Características botânicas da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta perene de reprodução sexuada, preferencialmente por alogamia, no entanto, em cultivo comercial é multiplicada assexuadamente por meio de porções do colmo, denominados rebolo ou tolete (SEGATO et al., 2006). Por possuir metabolismo C4, apresenta alta capacidade fotossintética, elevado desenvolvimento e crescimento em regiões com temperaturas elevadas (LARCHER, 2004; MACHADO et al., 1982; TAIZ; ZEIGER, 2013). A cana-de-açúcar se desenvolve em forma de touceira. A parte aérea é constituída por colmos, folhas, inflorescências e frutos (cariopses); a parte subterrânea

é formada por raízes fasciculadas e rizomas, que são responsáveis pela formação dos perfilhos na touceira.

Os colmos representam em torno de 80% da parte área da cana-de-açúcar. São constituídos por “nós” e “entrenós” e possui a função de sustentar as folhas e as panículas. Seu porte pode ser 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. As folhas são 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 (CASAGRANDE, 1991; CESNIK; MIOCQUE, 2004). Sob o aspecto tecnológico, os colmos são constituídos de caldo e os sólidos insolúveis em água (fibra). O caldo contém a água (umidade da cana) e os sólidos solúveis totais (açúcares e não-açúcares). Cita-se como exemplo, a composição tecnológica da variedade RB72454 nas condições ambientais do Estado de São Paulo: 71,1% de umidade, 15,5% de sacarose, 10,9% de fibra, 0,5% de açúcares redutores – AR (glicose e frutose) e 2% de não-açúcares. A composição dos colmos é muito variável devido a vários fatores, tais como: variedade, idade cronológica e fisiológica da cultura, sanidade das plantas, estágio de corte, época de amostragem, tipo de solo, adubação, condições ambientais durante o desenvolvimento e maturação (FERNANDES, 2003).

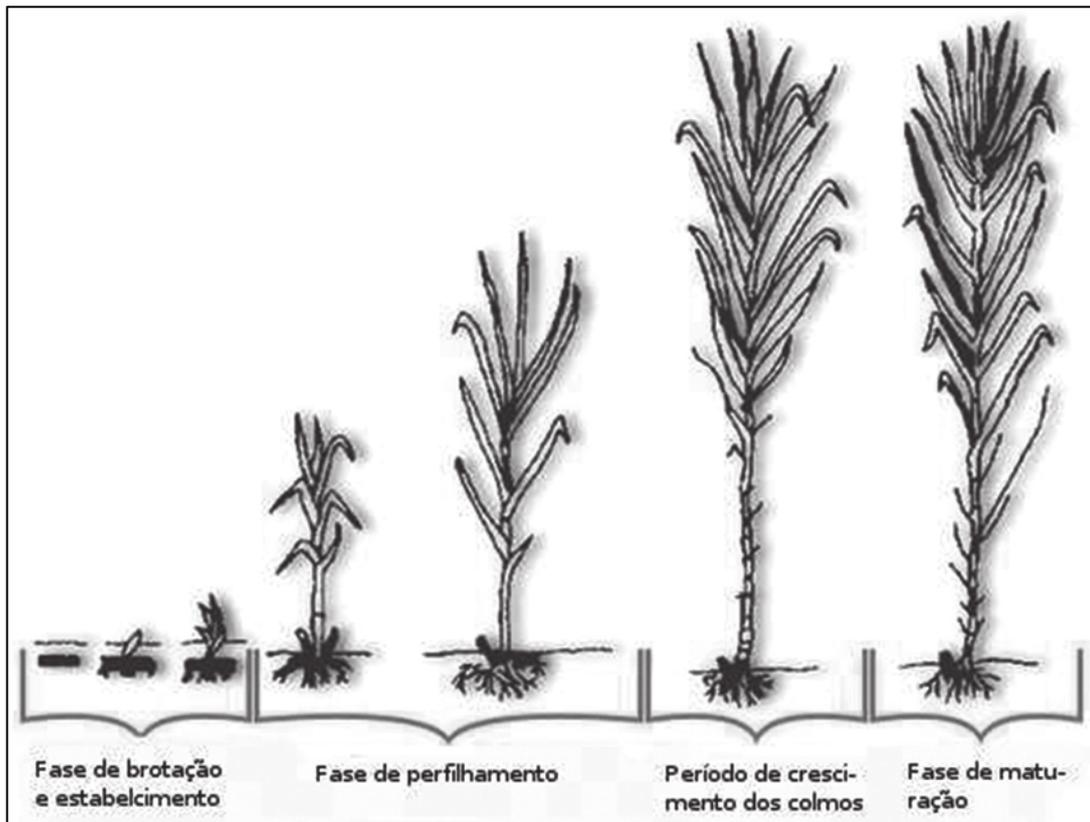
A cana-de-açúcar apresenta um sistema radicular altamente ramificado e do tipo fasciculado. Segato et al. (2006) afirmam que 85% da massa de raízes total encontram-se nos primeiros 50 cm de profundidade e 60% dessa massa encontra-se na camada de 20 a 30 cm. Além disso, os aspectos morfológicos dessas raízes apresentam grandes variações na planta.

2.2 Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar

A fenologia pode ser definida como o estudo dos fenômenos periódicos da vida de um vegetal em relação às condições ambientais. Nesse estudo, pode-se observar que o crescimento e o desenvolvimento de um organismo resultam da ação conjunta de três níveis de controle: genético, hormonal e ambiental (LUCCHESI, 1987). Na literatura, existem várias divisões das fases fenológicas para a cultura da cana-de-açúcar. Santos et al. (2009) dividiram a fenologia da cana, ciclo de cana-planta, em três fases de crescimento: primeira fase - intenso perfilhamento (até 120 dias após o plantio - DAP); segunda fase - grande crescimento em altura, estabilização do índice de área foliar (IAF) e intenso acúmulo de material orgânico (120 a 240 DAP); terceira fase - maturação dos colmos (240 aos 360 DAP).

Doorenbos e Kassam (1979) definem três fases para a cana-de-açúcar: primeira fase – estabelecimento mais período vegetativo; segunda fase – formação da produção; terceira fase – maturação dos colmos. No entanto, uma classificação muito utilizada é a de Gascho e Shih (1983). De acordo com esses autores, as fases fenológicas podem ser subdivididas em: i) brotação e emergência dos brotos; ii) perfilhamento e estabelecimento; iii) crescimento dos colmos; iv) maturação dos colmos (Figura 1.1).

Figura 1.1 – Ciclo fenológico da cana-de-açúcar.



Fonte: Gascho e Shih (1983).

- i) Brotação e emergência dos colmos: em condições ambientes favoráveis, principalmente de umidade e temperatura, há a indução das atividades meristemáticas no poro da gema e nos primórdios radiculares, ocorrendo então a brotação e emergência. Nessa fase, o broto rompe as folhas da gema e se desenvolve rumo à superfície do solo e simultaneamente surgem as raízes do rebolo ou tolete, ocorrendo aproximadamente entre 20 a 30 dias após o plantio (GASCHO; SHIH, 1983). Ressalta-se que a brotação é dependente das reservas energéticas contidas no rebolo, porém é também influenciada por outros fatores, tais como: clima, qualidade

da muda, época e manejo do plantio. A temperatura do solo mais favorável à brotação dos rebolos é na faixa de 27 °C a 33 °C. De outra parte, temperaturas inferiores a 20 °C e superiores a 35 °C prejudicam a brotação e a emergência da cana-de-açúcar (AUDE, 1993; CASAGRANDE, 1991).

- ii) Perfilhamento e estabelecimento: define-se perfilhamento, como sendo o processo de emissão de colmos por uma mesma planta, os quais são denominados de perfilhos. A emissão ocorre a partir das gemas subterrâneas dos rizomas, originando novos colmos conhecidos como perfilhos primários. Os perfilhos primários podem originar perfilhos secundários e assim sucessivamente (SEGATO et al., 2006). Esse processo de perfilhamento é regulado por hormônios e resulta no crescimento dos brotos que vão em direção à superfície do solo, iniciando de 20 a 30 dias após a emergência do colmo primário. É por meio desse processo de perfilhamento que é formada a touceira da cana, e conseqüentemente da população de colmos industrializáveis que serão colhidos. O perfilhamento máximo é atingido quando a área do terreno é completamente coberto pelas folhas dos colmos (fechamento de entrelinhas), fase na qual cada touceira possui o máximo de perfilhos (GASCHO; SHIH, 1983), podendo algumas variedades produzir 25 ou mais colmos por touceira (SEGATO et al., 2006). Diversos fatores podem influenciar a intensidade do perfilhamento, como variedade, disponibilidade hídrica, radiação solar, temperatura (entre 26 °C e 30 °C), fertilidade do solo, densidade de plantio e competição com plantas daninhas (CASAGRANDE, 1991; SILVA et al., 2010).
- iii) Crescimento dos colmos: ocorre a partir do máximo perfilhamento. Nesta fase há intensa divisão, diferenciação e alongamento celular, com aumento exponencial na massa seca da parte aérea e raízes da cana (AUDE, 1993). Estimulados pela luz, umidade e temperaturas mais elevadas, os colmos que prosseguem o desenvolvimento, continuam crescendo, ocorrendo alongação dos entrenós, desenvolvimento das folhas, elevado incremento em altura e início do acúmulo de açúcar na base do colmo. Salienta-se, que nesse estágio, o crescimento do sistema radicular torna-se mais intenso tanto na superfície quanto nas camadas mais profundas, porém grande parte das raízes encontram-se na camada de 0 a 40 cm do solo; também é nessa fase que as folhas mais velhas começam a ficar amareladas e secam (GASCHO; SHIH, 1983). Fatores como a disponibilidade hídrica, radiação

solar e nutrientes são extremamente essenciais para o alongamento dos perfilhos, desenvolvimento das folhas e crescimento dos colmos. A faixa de temperatura do ar entre 20 °C e 35 °C favorece o crescimento vegetativo da cana-de-açúcar durante a fase de crescimento dos colmos (CASAGRANDE, 1991).

- iv) Maturação dos colmos: inicia-se junto com o crescimento intenso dos colmos sobreviventes do perfilhamento das touceiras. Ressalta-se que o excesso de açúcar permanece armazenado na base de cada colmo. Na medida que as touceiras atingem altura igual ou superior a dois metros, é possível observar amarelecimento e consequente seca das folhas que se encontram na altura mediana da planta, indicando que está sendo depositado açúcar nessa região. O princípio fundamental do início da maturação da cana-de-açúcar é a redução do crescimento em função da sua idade fisiológica ou por outros fatores, tais como deficiência hídrica ou térmica (SEGATO; PEREIRA, 2006). Na Região Nordeste do Brasil, a maturação da cana dá-se pelo estresse por deficiência hídrica. O acúmulo de sacarose inicia-se da base para o ápice da cana, que apresenta maturação completa quando o conteúdo de açúcar é uniforme em toda a longitude do colmo. Para determinar o ponto de maturação da cana-de-açúcar utiliza-se o refratômetro de campo, aparelho que fornece a porcentagem de sólidos solúveis do caldo (brix), que está correlacionado ao teor de sacarose. Portanto, estima-se a maturação da cana por meio do índice de maturação (IM), que fornece a relação entre os teores de brix do ápice e da base, ou seja, dos dois extremos ($IM = \text{Brix do ápice do colmo} / \text{Brix da base do colmo}$). Para a cana-de-açúcar, os valores de IM admitidos são: i) menor que 0,60 para cana verde ou imatura; ii) entre 0,60 e 0,85 para cana em processo de maturação; iii) entre 0,85 e 1 para cana madura; iv) maior que 1 para cana em processo de declínio de maturação. Salienta-se que a colheita é determinada em função de vários fatores, tais como: variedade, ambiente, época de plantio, duração do ciclo e manejo (GASCHO; SHIH, 1983; SEGATO; PEREIRA, 2006; STUPIELLO, 1987).

2.3 Análise de crescimento

Para o melhor entendimento da análise de crescimento, é preciso, inicialmente, definir e distinguir os termos crescimento e desenvolvimento. Apesar de serem confundidos e muitas vezes utilizadas como sinônimo, o termo “crescimento” difere-se de “desenvolvimento”, que

é um termo mais amplo e engloba não somente as mudanças quantitativas, mas também as qualitativas (diferenciação) experimentadas pela planta durante o seu ciclo (NOGUEIRA et al., 2006). De outra parte, o crescimento vegetal pode ser definido como o incremento de massa e/ou tamanho, registrado durante seu ciclo de vida, e possui natureza unicamente quantitativa (CAIRO et al., 2008). Para ser estimado, utiliza-se a técnica de análise de crescimento, que é considerado um método padrão para mensurar a produtividade biológica de uma determinada cultura em seu ambiente de produção (MAGALHÃES, 1985; OLIVEIRA et al., 2004).

A análise de crescimento se apresenta como uma ferramenta que descreve as condições morfo-fisiológicas da planta em diferentes intervalos de tempo, entre duas amostragens sucessivas. Essa técnica permite estudar as bases fisiológicas da produção, bem como verificar o efeito dos fatores climáticos (temperatura, precipitação pluvial, radiação solar etc), ecológicos, genéticos e de práticas agronômicas sobre o crescimento vegetal (BENINCASA, 2003; MAGALHÃES, 1985; PEREIRA; MACHADO, 1987). Sob o ponto de vista agrônomo, a análise de crescimento é um método fundamental para se avaliar as diferenças intervarietais das diversas características produtivas de uma mesma espécie (BENINCASA, 2003; GAVA et al., 2001).

A taxa de crescimento pode ser mensurada em função do peso de matéria fresca ou seca (g dia^{-1}), através de avaliações destrutivas; ou pelo comprimento do colmo (cm dia^{-1}), por meio de avaliações não destrutivas (OLIVEIRA, 2004). Para aprimorar essa técnica, pode-se adaptar uma função matemática do tipo logística ou de outra natureza (polinomial, logarítmica, exponencial etc.) aos dados de crescimento e a partir dela estimar os diversos parâmetros das equações de crescimento (SILVA et al., 2000). Conforme Silva et al. (2005), geralmente tem-se adotado para a análise de crescimento da cana, a utilização dos dados de massa seca (MS) e área foliar (AF) amostrados em intervalos sequenciais de tempo (t), que permite estimar diversos índices morfofisiológicos, como taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF), razão de massa foliar (RMF) e o índice de área foliar (IAF).

A taxa de crescimento da cultura (TCC) pode ser definida como o incremento ou variação de massa seca por unidade de solo, entre duas amostragens, representando o ganho de massa seca de uma comunidade de plantas (MARAFON, 2012). Outro índice morfofisiológico muito importante, é a taxa de crescimento relativo (TCR), que indica o ganho de massa seca por unidade de massa inicial, num dado intervalo de tempo, ou seja, é

dependente da quantidade de material acumulado gradativamente. Esse índice é considerado por muitos fisiologistas como o mais apropriado para avaliação do crescimento vegetal. É importante ressaltar, que no decorrer do ciclo da planta, ocorre diminuição nos valores da TCR, em função do autossombreamento das folhas. De acordo com Benincasa (2003), as variações da TCR são devidas à influência de dois outros índices morfofisiológicos: a razão de área foliar (RAF) e a taxa de assimilação líquida (TAL).

A TAL representa o acúmulo de matéria seca por unidade de área foliar durante a estação de crescimento. É, portanto, uma medida da eficiência fotossintética de uma planta, representando o balanço entre o material produzido pela fotossíntese e aquele perdido através da respiração (BENINCASA, 2003), ou seja, é uma estimativa da fotossíntese líquida, e assim dependente de fatores ambientais, principalmente da radiação solar (MAGALHÃES, 1985). Também relacionada a fotossíntese, está a razão de área foliar (RAF), que pode ser desmembrada em outros dois componentes: área foliar específica (AFE) e a razão de massa de folha (RMF). A RAF representa a área foliar útil da planta para realizar fotossíntese (BENINCASA, 2003; SILVA et al., 2000), sendo obtida pelo quociente entre a área foliar (AF) e a massa seca total da planta. De outra parte, a área foliar específica (AFE) relaciona a AF com a massa seca da própria folha. Este índice representa a espessura da folha, sendo que quanto maior os valores da AFE, menos espessa é a folha. Em relação a partição de biomassa, um índice bastante utilizado pelos fisiologistas de plantas é a razão de massa foliar (RMF), que expressa a quantidade de massa seca retida nas folhas em relação a massa seca total da planta, ou seja, a massa seca produzida pelas folhas que não foi exportada para os demais órgãos da planta.

Dentre todos os índices morfofisiológicos estudados, o índice de área foliar (IAF) é um dos mais utilizados, sendo considerado um importante índice biométrico para avaliar respostas de plantas a diferentes condições ambientais (EVANS, 1972). Representa a área foliar total por unidade de área do terreno, funcionando como um importante indicador da superfície foliar disponível para captação e absorção de luz (BENINCASA, 2003). A interceptação da luz pelas folhas é influenciada pelo seu tamanho, forma e ângulo de inserção (MARAFON, 2012).

2.3.1 Análise de crescimento da cana-de-açúcar

Nas regiões tropicais e subtropicais, o crescimento da cana-de-açúcar pode acontecer durante todas as estações do ano (BARNES, 1974). Comumente, sua curva de crescimento

apresenta formato sigmoidal, com três fases distintas: crescimento logarítmico, crescimento linear e senescência (GAVA et al., 2001; SILVEIRA, 1985). Portanto, a taxa de crescimento da cana-de-açúcar também pode ser dividida em três fases em função da massa seca acumulada. Na primeira fase a planta apresenta tendência de um pequeno acúmulo de massa seca, na segunda fase, ocorre elevadas taxas de crescimento, sendo acumulados cerca de 70 a 80% da massa seca total, e a terceira fase, corresponde ao período de maturação, com acúmulo de 10 a 15% da massa seca total. Esse padrão de crescimento é típico das cultivares modernas, alterando-se apenas a duração de cada fase, devido às variações genéticas e ambientais (GAVA et al., 2001; MACHADO et al., 1982).

Vários pesquisadores têm realizado estudos de análise de crescimento da cana-de-açúcar, com o objetivo de estimar os índices morfofisiológicos da cultura. Hermann e Câmara (1999) relatam a importância de se estimar a área foliar das cultivares de cana-de-açúcar, enfatizando que essas estimativas permitem relacionar os genótipos de cana-de-açúcar com o seu potencial de produção, tais como a quantidade de massa seca, quantidade de açúcar ou pela taxa de assimilação líquida.

A partir dos dados de área foliar, pode-se determinar outra variável muito utilizada na análise de crescimento, que é o índice de área foliar (IAF). Conforme Machado et al. (1982), o valor ideal do IAF para cana-de-açúcar é em torno 4,0, que é suficiente para interceptar cerca de 95% da radiação solar incidente. Dependendo da distribuição espacial das folhas, pode ocorrer interferência na interceptação da radiação na faixa do visível quando o IAF atinge valores superiores a 4,0, ocasionando o fechamento quase completo do dossel, e desta forma valores de IAF superiores, praticamente não são assimilatórios. Portanto, o IAF é essencial na análise de crescimento da cana-de-açúcar, e de acordo com Leme et al. (1984) o IAF é um índice efetivo para avaliar a rendimento final dos genótipos de cana, e que os altos valores (em torno de 4,0) estimados durante o ciclo de desenvolvimento estão relacionados com o maior rendimento final de massa dos colmos.

Em relação a estimativa da fotossíntese líquida na cultura da cana-de-açúcar, Ramesh (2000), encontrou taxas de assimilação líquida (TAL) para a cultura da cana-de-açúcar, variando de 4,0 a 5,0 g m⁻² dia⁻¹. No Paraná, Brasil, Silva et al. (2005) estimaram TAL oscilando de 0 a 12,0 g m⁻² dia⁻¹, sendo os maiores valores observados na fase inicial de crescimento. No Estado da Bahia, Brasil, em condições de irrigação plena, foi constatado variação de 0,8 a 13,8 g m⁻² dia⁻¹ (SILVA, 2009).

Para o melhoramento genético da cana-de-açúcar, a análise de crescimento pode ter grande importância durante as fases de experimentação da cultura, auxiliando o melhorista a

selecionar cultivares com características de interesse, bem como utilizá-las como genitor em hibridações, e assim, atuar como uma importante ferramenta na criação de estratégias para obtenção de cultivares com alto potencial produtivo, alta adaptabilidade e estabilidade, tolerante as intempéries edafoclimáticas e resistente às principais doenças da cultura. A técnica de análise de crescimento pode ser também muito importante nos estudos de interação genótipo x ambiente, auxiliando na identificação de genótipos responsivos à melhoria do ambiente, bem como aqueles recomendados para ambientes restritivos ou desfavoráveis (OLIVEIRA, 2004).

2.4 Melhoramento genético da cana-de-açúcar

O desenvolvimento de cultivares, por meio do melhoramento genético da cana-de-açúcar tem possibilitado constantes incrementos de rentabilidade e lucratividade, gerando riquezas e aumento de divisas ao país (BARBOSA et al., 2008). Programas de melhoramento relatam ganhos de rendimento em açúcar entre 1 e 2% ao ano (BERDING et al., 2004; HEINZ, 1987). Estima-se que metade desses ganhos se deve ao melhoramento genético (HOGARTH, 1976). 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 em relação às cultivares plantadas anteriormente.

As hibridações com cana-de-açúcar se iniciaram em Java com os cruzamentos realizados por Soltwedel, e em Barbados por Bovell e Harrison, surgindo os primeiros híbridos durante o período de 1887-1888 (ETHIRAJAN, 1987; LANDELL; BRESSIANI, 2008). De acordo com Ming et al. (2006), as hibridações da cana-de-açúcar podem ser historicamente divididas em cinco períodos: i) primeiro período - cruzamentos entre canas nobres (*S. officinarum*), em que foram produzidas novas cultivares nobres, conservando as principais características das *S. officinarum*; ii) segundo período - nobilização da cana-de-açúcar a partir de cruzamentos entre *S. officinarum* e *S. spontaneum*, nos quais todos os cromossomos do genitor materno foram transmitidos aos descendentes, que aconteceu logo no F1 ou no retrocruzamento com *S. officinarum*; iii) terceiro período: cruzamentos entre as cultivares nobilizadas para produzir as cultivares híbridas; iv) quarto período: cruzamentos entre os híbridos para a produção dos híbridos atuais; v) quinto período: cruzamentos para aumentar a base genética. O processo de nobilização constituiu na hibridação entre canas da *S. officinarum* e *S. spontaneum*, seguida do respectivo retrocruzamento com a *S. officinarum*. O parental selvagem é nobilizado por meio do melhoramento e as progênes híbridas

selecionadas são as cultivares nobilizadas (BREMER, 1932). O evento mais marcante da nobilitação ocorreu em 1921, com a obtenção da POJ2878, obtida pela Proefstation Oost Java (JESWIET, 1929).

Os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar são responsáveis pelo desenvolvimento das cultivares modernas (híbridos atuais) - principais tecnologias causadoras da elevação dos rendimentos agroindustriais da cana-de-açúcar (LANDELL; BRESSIANI, 2008; MING et al., 2006). Dentre esses programas, merecem destaque: East Java Sugar Research Institute – variedades “POJ” (Proefstation Oost Java/Indonésia); Sugarcane Breeding Institute (SBI) – variedades “Co” (Coimbatre/Índia); Sugarcane Field Station – variedades “CP” (Canal Point, Flórida/EUA); Bureau of Sugar Experiment Stations (BSES) – variedades “Q” (Queensland/Austrália); South African Sugar Experiment Station (SASEX) – variedades “N” (KwaZulu, Natal/África do Sul); Mauritius Sugarcane Industry Research Institute (MSIRI) – variedades “M” (Moka Road-Réduit, Maurício); COPERSUCAR - Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo – variedades “SP” (Brasil); Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) – variedades “CTC” (Brasil); Rede Interuniversitária para o desenvolvimento do setor sucroenergético (RIDESA) – variedades “RB” (República do Brasil). Para o desenvolvimento de um programa de melhoramento da cultura, são condições necessárias: i) dispor de um Banco de Germoplasma com grande diversidade genética, entre acessos das espécies do gênero *Saccharum*, de espécies correlatas e de híbridos de diversas origens do mundo; ii) geração de variabilidade genética através de hibridação; iii) seleção de indivíduos superiores (BARBOSA, 2014; MING et al., 2006).

Em 2018, as principais variedades cultivadas no Brasil por sigla foram: RB (66%), CTC (14%), SP (13%), IAC (2%), CV (2%) e outras (3%). Destaca-se que dentre as cinco variedades mais cultivadas no Brasil, quatro são da sigla RB, sobressaindo-se a RB867515 (25%) que é a mais cultivada, RB966928 (12%) e RB92579 (10%) que vêm apresentando elevado crescimento em todo País (RIDESA, 2019). Em Alagoas, as variedades mais cultivadas foram: RB92579 (34%), SP79-1011 (14%), RB951541 (11%), RB867515 (6%) e VAT90-212 (6%).

Nas últimas décadas houve significativo ganho de rendimento de açúcar e aumento da rentabilidade das empresas do setor açucareiro brasileiro e alagoano com a adoção dos modernos genótipos desenvolvidos pelos programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar. Entretanto, à medida que toda a cana possa ser colhida (colmo, ponteiros e palhas), com o aproveitamento dos seus açúcares (sacarose, glicose e frutose) e das fibras (celulose, hemicelulose e lignina), o conceito de cana-energia passa ser fonte de enorme interesse

econômico (BARBOSA, 2014), surgindo a necessidade da criação de estratégias para o desenvolvimento desse tipo de cana. De outra parte, a ocorrência de secas frequentes, tem causado estresse hídrico e alta redução de produtividade da cultura (TEODORO et al., 2017). Desta forma, é de grande importância, a realização de pesquisas com foco no desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar que apresentem tolerância aos estresses abióticos, em especial ao estresse hídrico.

2.4.1 Melhoramento para obtenção da cana-energia

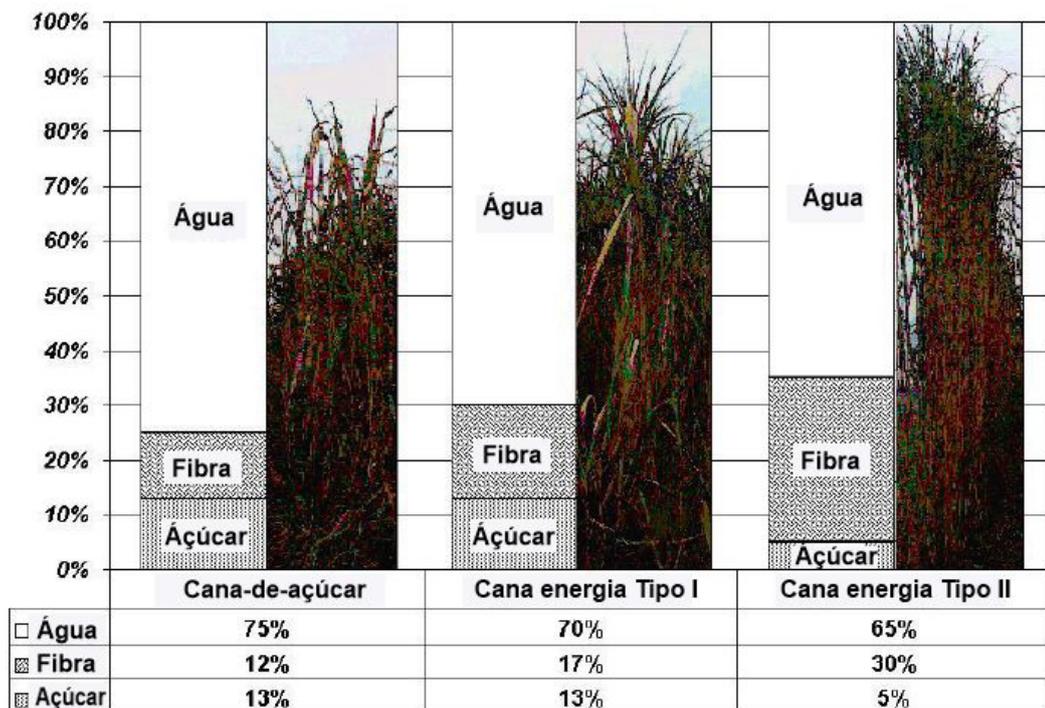
O crescente interesse pela bioenergia nas últimas décadas tem levado os pesquisadores a se aprimorarem no entendimento dos processos fisiológicos de captura da energia solar pela cana-de-açúcar e seu acúmulo de fotoassimilados (SOUZA et al., 2013; WACLAWOVSKY et al., 2010). Por ser uma planta C4, a cana-de-açúcar é muito eficiente no processo fotossintético, de modo que seu acúmulo de massa seca é um dos mais altos entre as plantas cultivadas (MING et al., 2006). A massa seca do gênero *Saccharum* spp. é composta de açúcares (principalmente sacarose) e fibras (celulose, hemiceluloses e lignina). Revela-se, que o melhoramento genético da cana-de-açúcar sempre focou no aumento de sacarose por meio de hibridações entre genótipos com alto teor de açúcar e baixa fibra, ou seja, com pequena contribuição genética da espécie *S. spontaneum*. Portanto, as atuais variedades tendem ter maior suscetibilidade aos estresses bióticos e abióticos, além de restrição na produtividade (MATSUOKA et al., 2014). Neste contexto, o melhoramento genético tem almejado novos desafios, em que a característica principal passa a ser o rendimento total de biomassa, com maior participação da fibra na composição da cana (MING et al., 2006; WACLAWOVSKY et al., 2010).

De acordo com Matsuoka et al. (2014), a cana-de-açúcar se destaca como uma das culturas de biomassa mais confiáveis devido à sua alta produtividade. No entanto, a contribuição positiva e significativa dessa cultura para a matriz energética pode ser aumentada ainda mais com a “cana-energia”. Esse conceito de cana foi criado pelo fisiologista vegetal Alexander, na década de 1980, em Porto Rico. Esse pesquisador a definiu como uma planta a ser colhida integralmente, aproveitando toda a biomassa lignocelulósica (colmos, ponteiros e folhas) para fins energéticos. Suas principais diferenças em relação a cana-de-açúcar são: maior número de colmos por área, plantas com colmos de diâmetro fino, de maior estatura e mais fibrosos, folhas estreitas e sistema radicular profundo e abundante, maior longevidade das socarias e maior de rendimento de biomassa (ALEXANDER, 1985; CARVALHO-NETO

et al., 2014; MATSUOKA et al., 2014). Essas características conferem algumas vantagens da cana-energia em relação à cana-de-açúcar, tais como: elevada taxa de multiplicação (duas e três vezes maior); maior eficiência no uso de água e nutrientes; possibilidade de cultivo em áreas marginais; e menor impacto ambiental, em função da colheita da cana ser integral, sem necessidade da prática de queima (BARBOSA et al., 2020).

Nos últimos anos, diversos pesquisadores têm dedicado esforços nas pesquisas com cana-energia, conceituando-a e comparando-a com a cana-de-açúcar em função da combinação dos teores de açúcar, fibra e água. Tew e Cobill (2008) apresentaram três tipos (Figura 1.2):

Figura 1.2 – Variação no uso e composição entre cana-de-açúcar tradicional e cana-energia Tipo I e Tipo II.



Fonte: Tew e Cobill (2008) traduzido pelo Autor (2020).

- i) Cana-de-açúcar tradicional - tipo de cana que contém em sua composição, cerca de 75% de água, 12% de fibra e 13% de açúcar. Essa matéria-prima fornece caldo para produção de açúcar e etanol e a fibra para produção de eletricidade. O foco do melhoramento genético para obtenção desse tipo de cana é maximizar o teor de açúcar;

- ii) Cana-energia Tipo I - variedade de cana desenvolvida para elevar o rendimento de açúcar e de fibra. Esse perfil de cana, que fora conceituada por Alexander em 1985, possui menor teor de água (70%), fibra de 13 a 17%, e manutenção ou pequena redução do teor de açúcar. Santchurn et al. (2014) classifica esse perfil de cana como a “cana de múltipla proposta”, assim, além de fornecer caldo para produção de açúcar e etanol, essa matéria-prima contribui com mais fibra para a maior produção de eletricidade, produção de etanol lignocelulósico, bem como de outros derivados de valor econômico para as usinas de setor sucroenergético;
- iii) Cana-energia Tipo II – material genético com foco na maximização do rendimento de fibra (teor de fibra acima de 30%), com baixo teor de açúcar e menor conteúdo de água (65%). Esse tipo de cana não tem sido atrativo ao setor canavieiro atual, no entanto, pode ser melhor aproveitada por outros setores agroindustriais que carecem de biomassa para a produção de vapor, calor, energia térmica, eletricidade, combustíveis sólidos (briquetes e pellets), entre outros.

A partir desses perfis de cana conceituados por Alexander (1985), Tew e Cobill (2008) e Santchurn et al. (2014), a maioria dos programas de melhoramento têm estabelecido suas estratégias com base na proporção relativa de açúcar e fibra que se deseja obter para esse novo tipo de cana.

Para iniciar um programa de melhoramento, com foco no desenvolvimento de cultivares de cana-energia que atendam às características de cada perfil (Tipo I e Tipo II), e que atenda o mercado, é necessário dispor de significativa diversidade genética, principalmente para teores de fibra e açúcar existentes nas espécies do complexo *Saccharum*. Para isso, é necessário dispor de híbridos modernos e acessos dos gêneros *Saccharum* (*S. officinarum*, *S. barberi*, *S. sinense*, *S. robustum*, *S. edule* and *S. spontaneum*), *Erianthus* e *Miscanthus*. É importante incorporar novos acessos ao germoplasma, por meio de convênios ou intercâmbio com as principais instituições, que dispõem de coleções com alta variabilidade genética (CARVALHO-NETO et al., 2014).

Em 2011, a RIDESA/UFAL 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, maior número de colmos por touceira, maior teor de fibra 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). Além da RIDESA, outros programas de melhoramento de cana-energia também surgiram nos últimos anos, a exemplo da BioVertis/GranBio e Vignis.

2.4.2 Melhoramento para obtenção de cana-de-açúcar tolerante à seca

Em regiões produtoras de cana-de-açúcar com ocorrência frequente de secas, é fundamental a atuação de programas de melhoramento genético com foco na obtenção de cultivares mais tolerantes à deficiência hídrica, visando reduzir os danos causados por esse estresse ambiental, principalmente por ser a precipitação pluvial o principal fator limitante da cultura (FERRÃO et al., 2015; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; SILVA et al., 2008).

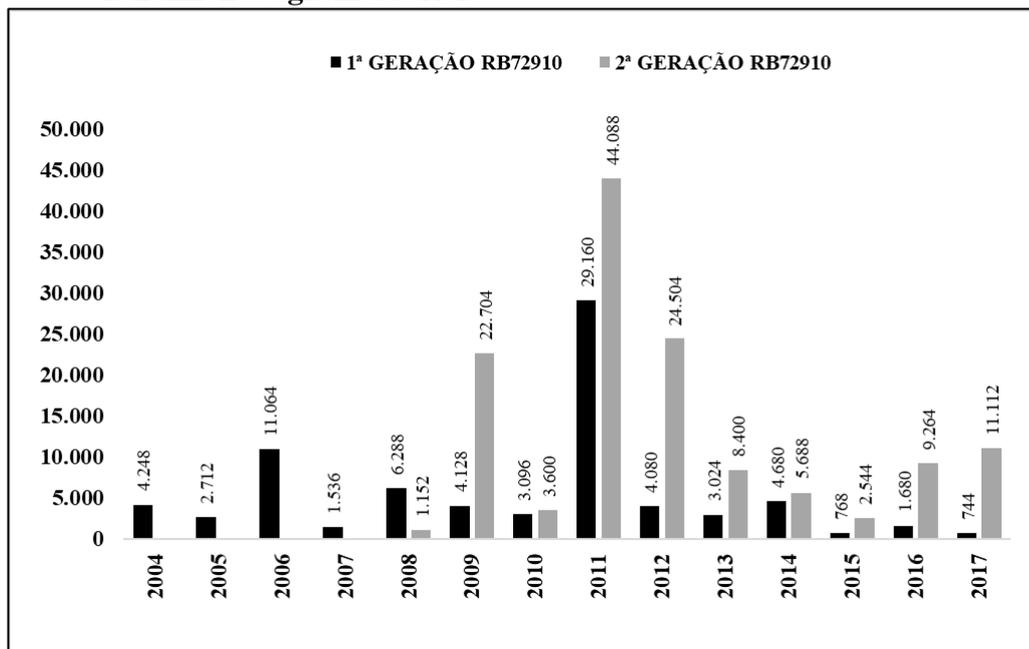
O desenvolvimento de estratégias e ações para obtenção de cultivares de cana-de-açúcar tolerante aos estresses abióticos, dentre eles a seca, têm sido debatidas por vários melhoristas ao redor do mundo. Prova disso, em 2018, o maior evento de melhoramento da cultura - 12º Germplasm & Breeding Workshop - organizado pela International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT), ocorrido em Okinawa, Japão, teve como tema: “Melhoramento da cana-de-açúcar para estresses ambientais”, revelando a grande preocupação dos pesquisadores com os efeitos das alterações climáticas, em especial a baixa disponibilidade de água.

Assim como todo programa de melhoramento, o primeiro passo no desenvolvimento de cana com o perfil de tolerância à seca é dispor de uma coleção de germoplasma com acentuada diversidade genética. No entanto, deve-se priorizar as hibridações entre clones com a característica almejada e clones com produtividade agrícola elevada, produzir grande quantidade de plântulas (*seedlings*) e testá-las em áreas com déficit hídrico; selecionar indivíduos superiores, e obter cultivares de cana-de-açúcar tolerantes à seca para a adoção do produtor.

A estratégia de realizar hibridações da cana utilizando genótipos que apresentem características de resiliência às intempéries climáticas, principalmente ao estresse hídrico tem-se mostrado muito exitosa (MATSUOKA, 2017). Exemplifica-se o sucesso do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar, da Universidade Federal de Alagoas, integrante da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (PMGCA/RIDESA/UFAL), que por meio do melhoramento clássico, tem obtido cultivares

com elevada rusticidade, apresentando excelente rendimento agroindustrial em ambientes com deficiência hídrica. Desde 2004, este programa de melhoramento tem intensificado os esforços para obtenção de cultivares RB tolerante à seca. A principal estratégia foi realizar hibridações utilizando genótipos comprovadamente tolerantes, a exemplo da RB72910, conhecida como “pé-seco” (Figura 1.3). Como resultado dessa estratégia, esse programa obteve, dentre outros, os seguintes clones de cana-de-açúcar tolerantes à seca: RB0442 (RB72910 x RB931013), RB0449 (RB72910 x RB931013), RB0459 (RB72910 x RB931011), RB04803 (RB72910 x RB931013), RB04808 (RB72910 x RB931011), RB04811 (RB931013 x RB72910) e RB05876 (RB72910 x RB863129).

Figura 1.3 – Número de plântulas (*seedlings*) oriundos de cruzamentos genéticos da RB72910 (“pé-seco”) e de seus descendentes com genótipos de alto rendimento agroindustrial.

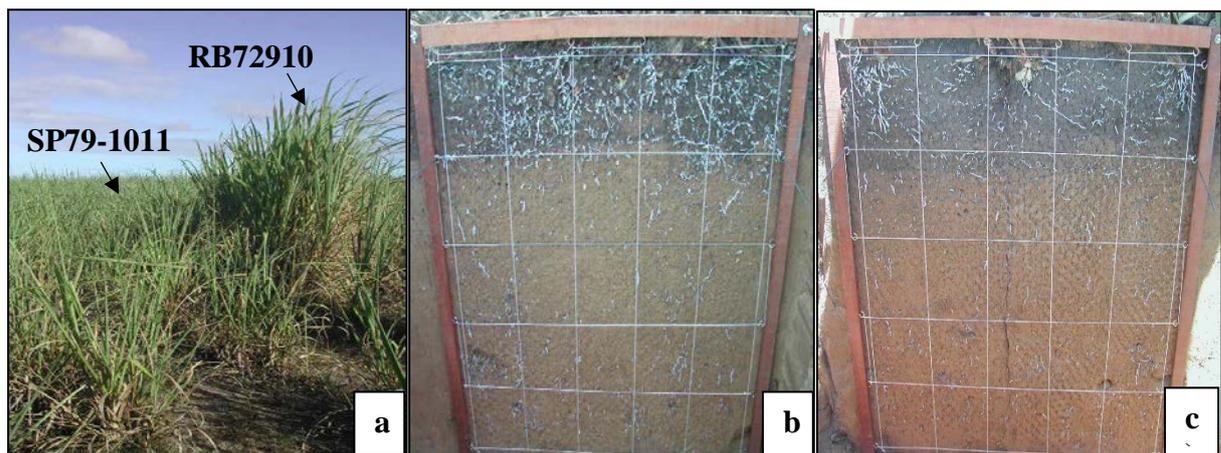


Fonte: PMGCA/RIDES/UFAL (2018).

A RB72910 apresenta alta rusticidade e sobrevivência em ambientes restritivos, onde a ocorrência de déficit hídrico é frequente (Figura 1.4a). No entanto, seu alto florescimento e baixo teor de açúcar prejudicam sua adoção pelos produtores de cana, logo, sua maior contribuição tem sido para o melhoramento genético, como fornecedora de genes nas hibridações para o desenvolvimento de cultivares tolerante à seca. Diversos trabalhos têm sido realizados com o intuito de identificar quais mecanismos fisiológicos e características que esse genótipo dispõe, que o confere maior tolerância à seca (MAIA JÚNIOR et al., 2017;

SILVA et al., 2012; SILVA, 2010). Em condições de estresse hídrico, a RB72910 juntamente com a RB92579 apresentou menores reduções das trocas gasosas, índice SPAD e menor área foliar específica, dentre as cultivares avaliadas, caracterizando-as como mais tolerantes à seca (MAIA JÚNIOR, 2017). Uma das principais características da RB72910 é sua capacidade fotoprotetora, que conserva o complexo fotossintético, capaz de manter sua eficiência mesmo sob baixa disponibilidade hídrica do solo (ANDRADE, 2010). Observa-se ainda que esse genótipo tem sistema radicular bem distribuído e profundo (Figura 1.4b), bem superior a cultivar SP79-1011 (Figura 1.4c), que é a segunda mais cultivada em Alagoas, devido a sua rusticidade e precocidade. Essas características do sistema radicular são importantes para genótipos que apresentam tolerância à seca (ENDRES et al., 2010).

Figura 1.4 – a) Genótipo RB72910 ao lado da SP79-1011 em condição de seca, b) Sistema radicular da RB72910 e, c) Sistema radicular da SP79-1011.



Fonte: Silva (2005).

Landell e Scarpari (2008) relatam a estratégia para desenvolver cultivares tolerantes ao estresse hídrico em São Paulo, utilizando a análise regionalizada do déficit hídrico segmentada em ciclos de outono, inverno e primavera. De acordo com esses autores, essa análise possibilitaria a criação de cenários bem fundamentados, com o objetivo de caracterizar e compreender o comportamento do crescimento das variedades e ainda permitiria a seleção direcionada de plântulas (*seedlings*) tolerantes ao estresse hídrico nas fases iniciais de seleção. Ferrão et al. (2015) corroboram com essa afirmação e relatam que para alcançar maior perspectiva de êxito no desenvolvimento de cultivares tolerantes à seca, é essencial que os melhoristas conheçam a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica, bem como suas características, como intensidade, duração e época de ocorrência, em função da fase

fenológica da cultura de interesse. Fritsche-Neto e Borém (2011) justificam a importância de se conhecer essas características, porque para esses autores, a resposta ao estresse depende da combinação entre características do estresse e os atributos da planta. A partir dessas informações, ratifica-se a grande importância da agrometeorologia e fisiologia vegetal no melhoramento genético da cana-de-açúcar, servindo como áreas de conhecimento essenciais ao desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar tolerantes à seca.

Outra estratégia mais recente que pode ser adotada pelos programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar para a obtenção de cultivares tolerantes ao estresse hídrico ou mais eficientes no uso da água, é a adoção da biotecnologia (FERRÃO et al., 2015). De acordo com Shinozaki e Yamaguchi-Shinozaki (2007), a característica de tolerância à seca é poligênica e seu estudo pode ser favorecido pela biologia molecular. Nesse cenário, a biotecnologia pode ter grande contribuição, por meio dos marcadores moleculares, que são importantes para estudos de divergência genética, cruzamentos assistidos, seleção assistida e mapeamento de loci de características quantitativas QTLs - Quantitative Trait Loci (SABADIN et al., 2012).

De acordo com Fritsche-Neto e Borém (2011) uma estratégia de melhoramento mais rápida para o desenvolvimento de cultivares tolerantes ao estresse hídrico, poderia ser por meio da introgressão de genes envolvidos na resposta ao estresse, via engenharia genética, incluindo genes de outras espécies sexualmente incompatíveis ou de fontes não vegetais. Esses autores também enfatizam a importância e os grandes avanços nos programas de melhoramento genético a partir dos estudos das “ômicas” (genômica, transcriptômica, proteômica, metabolômica e fisionômica) e suas interrelações.

Independentemente da estratégia a ser utilizada, os melhoristas anseiam que a cana com perfil de tolerância à seca apresente características morfofisiológicas que confirmem elevada capacidade em suportar maiores períodos com baixa disponibilidade de água. Nessas condições, esse perfil de cana deverá apresentar maior número de colmos e/ou maior altura em relação a um padrão sensível ao estresse hídrico. Além disso, espera-se a presença de alguns mecanismos de defesa, como enrolamento foliar, visando a redução da perda de água por transpiração; manutenção das folhas verdes; maior número de estômatos na face abaxial da folha; e sistema radicular abundante, profundo e bem distribuído. Fisiologicamente, almeja-se que a cana tenha menor necessidade hídrica, além de alto potencial hídrico em condições de seca, garantindo a conservação do turgor celular, necessário para realização da fotossíntese, e conseqüentemente para a produção de biomassa.

O uso de variedades de cana-de-açúcar com maior tolerância à seca tem sido praticado pelo setor sucroenergético brasileiro desde o início do século passado. Andrade (1985) cita algumas variedades importadas com essa característica, tais como: Co 213, Co 280, Co 281, Co 331, POJ-161, CP27-139 e Ferro. Dentre essas, a que teve maior importância foi a Co331. Essa variedade foi desenvolvida em Coimbatore, Índia, pelo programa de melhoramento SBI - Sugarcane Breeding Institute. Suas principais características são: alta produtividade agrícola, tolerância à seca e rusticidade (ANDRADE, 1985). Em 1975, a Co 331 ocupou 19% de área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil (BARBOSA et al., 2012) e liderou os canaviais de Alagoas na década de 1970 (65,6% de área cultivada na safra 1971/1972).

Nas últimas décadas, duas variedades se destacaram pelo seu bom desempenho em ambientes restritivos do Brasil: SP79-1011 e RB867515. A SP79-1011 foi desenvolvida pela COPERSUCAR. Essa variedade apresenta mediano rendimento agrícola, rusticidade, tolerância à seca e alto teor de sacarose. No Brasil, ocupou expressiva área cultivada, com 10,4% em 2005 (BARBOSA et al., 2012). Em Alagoas, atingiu o topo na safra 2003/2004, cerca de 35% da área (BARBOSA et al., 2008) e mesmo apresentando as doenças Ferrugem Marrom (*Puccinia melanocephala*) e Ferrugem Alaranjada (*Puccinia kuehnii*), ainda é muito cultivada no Estado, principalmente pela ocorrência de secas nos últimos anos. No entanto, com o surgimento de novas variedades resistentes à seca, com alta produtividade, alto teor de açúcar e resistente às Ferrugens, a tendência é ser substituída. A RB867515 foi desenvolvida pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar, da Universidade Federal de Viçosa (PMGCA/RIDESA/UFV). Suas principais características são: alta produtividade agrícola, alto teor de açúcar, rápida velocidade de crescimento e resistência ao carvão (*Sporisorium scitamineum*). Na safra 2017/2018, a RB867515 foi a variedade mais cultivada no Brasil, com 25% de área no País e ocupou a quarta colocação em Alagoas, com 6% de área cultivada (RIDESA, 2019).

2.5 Necessidades hídricas da cana-de-açúcar

A demanda hídrica das plantas cultivadas é regida principalmente pela fase de desenvolvimento do vegetal (fases fenológicas) e pela evapotranspiração da cultura (ETc), que recebe grande influência das condições climáticas. Para a cana-de-açúcar, a demanda hídrica também é afetada pelo ciclo da cultura (cana-planta e suas socarias) e da variedade cultivada (SCARDUA; ROSENFELD, 1987).

De acordo com Doorenbos e Kassam (1979), a cana-de-açúcar possui necessidade hídrica de 1.500 a 2.500 mm, dependendo principalmente do tempo de cultivo, que normalmente varia entre 12 e 18 meses. No entanto, alguns autores afirmam que de 1.200 (BISWAS, 1988) a 1.500 mm (WIEDENFELD; ENCISO, 2008) de chuva anual, com boa distribuição mensal, a exigência hídrica da cana-de-açúcar consegue ser suprida satisfatoriamente, favorecendo o seu crescimento. Na Região semiárida do Submédio do Vale do São Francisco, Nordeste brasileiro, tem sido relatado requerimento hídrico total de 1.710 mm da cana-soca irrigada com ciclo de aproximadamente 12 meses (SILVA et al., 2012). Almeida et al. (2008), avaliando os padrões de crescimento e de produção de variedades de cana-de-açúcar em Alagoas, Brasil, estimaram demanda hídrica de 1.448 mm na cana-planta e 1.584 mm na cana-soca, ambas com ciclo de 12 meses.

Na zona canavieira do estado de Alagoas, em 30 anos, a média da precipitação pluvial anual foi de 1.728 mm, com mínimo anual de 902 mm e máximo anual de 2.370 mm (SINDAÇÚCAR, 2018). Apesar dos totais anuais de chuva se enquadrarem dentro das exigências do suprimento de água da cultura, há um excedente no outono-inverno (abril a setembro) e uma deficiência na primavera-verão (outubro a março), coincidindo com a fase de grande crescimento e desenvolvimento da cultura, que demanda maior exigência hídrica (SOUZA et al., 2004). Teodoro et al. (2009) afirmam que tanto na zona canavieira alagoana, como em toda Região Nordeste, a precipitação pluvial é o principal fator limitante da produtividade agrícola da cultura, não pelos totais anuais, mas por conta da irregularidade ou má distribuição das chuvas. Aliada a esses fatores, nos últimos anos a ocorrência de secas na Região Nordeste têm sido frequente, causando elevados déficits hídricos nos solos, e consequentemente estresses hídricos nas plantas e significativas reduções da produção de cana e seus derivados (BARBOSA, 2018; TEODORO et al., 2017). Para solucionar esse problema, a adoção de cultivares com maior tolerância à seca é sem dúvida a principal prática agrônômica indicada.

2.6 Déficit hídrico

2.6.1 Aspectos gerais

O estresse é um fenômeno fisiológico e bioquímico das plantas, que envolve alterações estruturais e funcionais em todos os níveis de organização, desde grandes moléculas (proteínas e lipídios) até as organelas mais complexas (cloroplastos e

mitocôndrias), seguidas de células, tecidos e órgãos, através de toda a planta (LAWLOR, 2013; TAIZ; ZEIGER, 2013). As plantas estão sujeitas a vários estresses ambientais (abióticos) que afetam negativamente o crescimento, o metabolismo e a produtividade. Seca, salinidade, baixas e altas temperaturas, alagamentos, poluentes e radiação são importantes tipos de estresses que limitam a produtividade das culturas (LAWLOR, 2002). Porém, dentre todos os estresses abióticos, a seca é o mais limitante para a produção agrícola mundial (MANAVALAN et al., 2009; REDDY et al., 2004).

A seca pode ser definida em função de diferentes aspectos, sendo dividida normalmente de acordo com sua natureza (área de conhecimento) e efeitos, como secas meteorológicas, hidrológicas, agrícolas e socioeconômicas (WILHITE; GLANTZ, 1985). Em agricultura, particularmente no âmbito agrônomo e fisiológico, define-se seca como o déficit hídrico que prejudica o crescimento e a produção das plantas comparado com o suprimento de água requerido para o ótimo ou máximo crescimento (LAWLOR, 2013). Já o termo déficit hídrico, é definido como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que se encontra abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação, e sua ocorrência é iniciada quando a perda de água excede a absorção (TAIZ; ZEIGER; 2013).

Os efeitos ocasionados pela falta de água são sentidos em todas as partes da planta, variando em função da intensidade, frequência e duração do estresse (REDDY et al., 2004; SMIT; SINGELS, 2006). O estresse hídrico provoca nas plantas a diminuição do seu potencial hídrico e conteúdo de água, acarretando a perda de turgescência celular, fechamento estomático, e conseqüentemente, redução da atividade fotossintética, que é necessária para a produção de biomassa (LARCHER, 2004; MOLINARI, 2006).

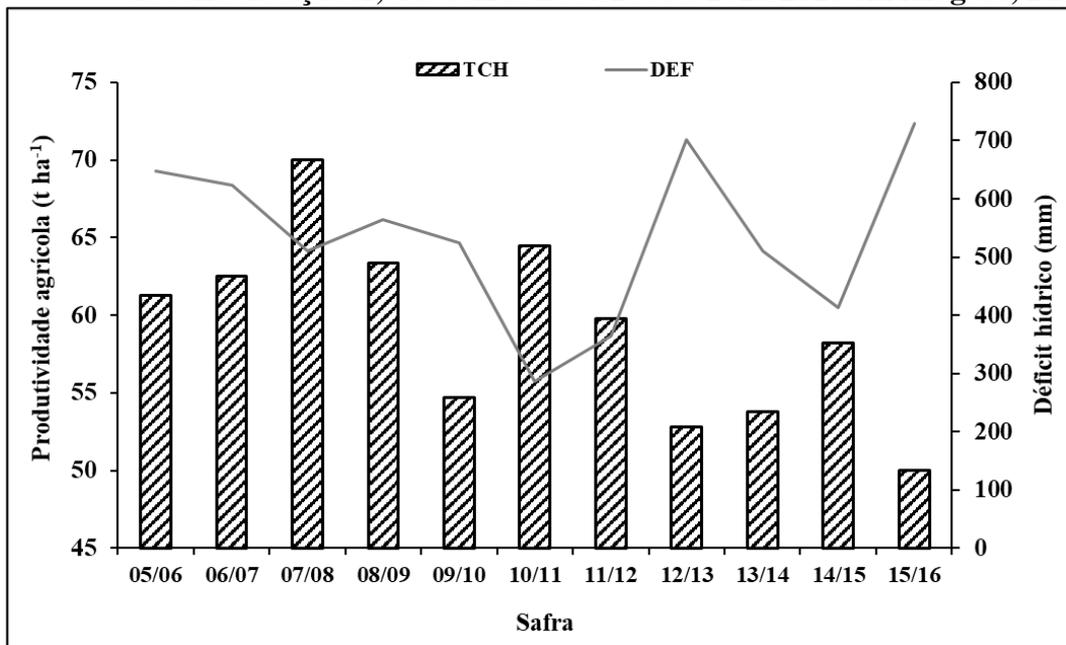
As plantas podem apresentar tolerância ou suscetibilidade ao estresse hídrico, dependendo da frequência e intensidade do estresse, bem como das características intrínsecas da própria planta, como espécie, genótipo, estágio de desenvolvimento, órgão ou célula. São caracterizadas como tolerantes, quando exibem aptidão para sobreviver às adversidades impostas pela seca (ambiente desfavorável), ou suscetíveis, quando reduzem seu crescimento ou morrem - em casos de alta restrição hídrica (ANJUM et al., 2016; CHAVES et al., 2003; LARCHER, 2004). Conforme Taiz e Zeiger (2013), a expressão “resistência ao estresse” é frequentemente empregada como sinônimo de “tolerância ao estresse”, embora esta última seja preferida. Como esses termos ainda não são bem definidos, considera-se a tolerância, como um mecanismo de resistência à seca.

2.6.2 Déficit hídrico e seus impactos no crescimento e produtividade da cana-de-açúcar

Nas últimas décadas, fenômenos que causam a deficiência hídrica em plantas têm aumentado e possivelmente estão associados às mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global e El Niño (HOERLING; KUMAR, 2003). Diversas regiões produtoras de alimento do mundo já sofrem sérios problemas com a escassez de água, como os três grandes produtores mundiais de grãos: EUA, China e Índia (ZHAO et al., 2010). Em culturas como o milho, arroz, trigo e soja, têm sido observadas perdas em torno de 50% na produtividade de grãos devido à deficiência hídrica (SILVA et al., 2011).

Em Alagoas-Brasil, que é o maior Estado produtor de cana-de-açúcar da Região Nordeste, tem sido observado quedas drásticas na produtividade agrícola da cultura em virtude das secas severas ocorridas nas últimas safras (TEODORO et al., 2017) (Figura 1.5).

Figura 1.5 – Evolução da deficiência hídrica (DEF) e da produtividade agrícola (TCH) da cana-de-açúcar, das safras 2005/2006 a 2015/2016 em Alagoas, Brasil.



Fonte: Teodoro et al. (2017), adaptado pelo Autor (2020).

De acordo com Teodoro et al. (2017), houve grande redução da produtividade da cana-de-açúcar em Alagoas a partir da safra 2012/2013, onde o principal fator, foi sem dúvida, o aumento do déficit hídrico. Com o efeito prolongado da seca, observou-se uma das menores produtividades registradas no Estado (50 toneladas de cana por hectare), que ocorreu na safra 2015/2016 (Figura 1.5).

Os impactos negativos na produtividade agrícola ocasionados pelo déficit hídrico é reflexo desse estresse abiótico durante as fases de crescimento da cultura. De acordo com a fase fenológica, o déficit hídrico pode ter menor ou maior impacto na produtividade agrícola

(INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; PIMENTEL, 2004; RAMESH, 2000). Na Índia, Ramesh (2000) avaliou o efeito do estresse hídrico em cana-de-açúcar nas três fases de crescimento, em função das taxas médias de acúmulo de massa seca da cultura. Na primeira fase, em condições de seca, foi observado maiores reduções no acúmulo de massa seca, de 46,3 a 60,8%, em comparação ao tratamento controle – com adequada disponibilidade hídrica; na fase de elevado crescimento, as reduções foram de 36,3 a 52,4%, e na fase de maturação, as reduções no acúmulo de matéria seca foram de 15,1 a 25,9%.

Conforme Pires et al. (2008), o período de maior suscetibilidade ao déficit hídrico é o de rápido crescimento da cultura. Nessa fase, as plantas apresentam grande área foliar e alta demanda hídrica para a realização das trocas gasosas. Inman-Bamber e Smith (2005) corroboram com essa afirmação, e relatam que na fase de intenso crescimento vegetativo, particularmente na fase de alongamento dos colmos, a suscetibilidade da cana-de-açúcar à deficiência hídrica é maior, acarretando sérios prejuízos nos rendimentos agrícola e de açúcar. Por outro lado, Ramesh (2000) relata que é durante a fase de formação da cultura (60 a 150 dias após o plantio), quando ocorre a maior demanda hídrica, a falta de água prejudica principalmente a formação dos perfilhos.

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.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, A. G. **The Energy Cane Alternative**, Amsterdam: Elsevier, 1985. 509 p.

ALMEIDA, A. C. S. et al. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1441-1448, 2008.

ANDRADE, J. C. F. **Análise de expressão gênica diferencial em genótipo de cana-de-açúcar tolerante ao estresse hídrico, usando *real-time* RT-PCR**. 2010. 57 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2010.

ANJUM, S. A. et al. Effect of progressive drought stress on growth, leaf gas exchange, and antioxidant production in two maize cultivars. **Environmental Science and Pollution Research**, v.23, p. 17132-17141, 2016.

AUDE, M.I.S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.23, n.2, p.241-248, 1993.

BNDES / CGEE. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL / CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316 p.

BARBOSA, G. V. S. **Contribuição do melhoramento genético da cana-de-açúcar para agroindústria canavieira de Alagoas**. 2014. 113 f. Tese (Doutorado em Produção vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BARBOSA, G. V. S. **Inovações tecnológicas desenvolvidas em Alagoas para o setor canavieiro**. Maceió: FAPEAL/Imprensa Oficial Graciliano Ramos. 2018. 136 p.

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. **Anais...** Maceió: STAB Regional Leste, 2008. p. 464-470.

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.

BARNES, A. C. **The sugar cane**. 2. ed. London: Leonar Hill Books, 1974. 572 p.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

BERDING, N. et al. Plant Improvement of Sugarcane, In: JAMES, G. L. (Ed.). **Sugarcane**. 2. ed., Victoria: Blackwell Science, 2004. p. 20-53.

- BREMER, G. On the somatic chromosome numbers of sugar-cane forms and the chromosome numbers of indigenous indian canes. In: INTERNATONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, v. 4, 1932, San Juan. **Proceedings...** San Juan: ISSCT, 1932. p.1-3.
- BISWAS, B.C. **Agroclimatology of the sugar-cane crop**. Geneva: Technical Note N° 193, WMO, 1988, n. 703. 90p.
- CAIRO, P. A. R. et al. **Análise de Crescimento de Plantas**. Vitória da Conquista: Edições UESB, 2008. 72 p.
- CARVALHO, L. C. C. Cenário sucroalcooleiro: as esperanças do ano novo. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v. 21, n.3, p. 8-9, 2003.
- CARVALHO-NETO, O. V. et al. The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v.1, n.1, p. 1-8, 2014.
- CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.
- CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa, 2004. 307 p.
- CHAVES, M.M.; MAROCO, J.P.; PEREIRA, J.S. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v.30, p. 239-264, 2003.
- CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A. et al. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): A reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**, v.4, p. 62-89, 2011.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Cana-de-açúcar. Primeiro levantamento Safra 2019/2020**. Brasília: CONAB, Maio 2019. 58 p.
- D'HONT, A. et al. Characterisation of the double genome structure of modern sugarcane cultivars (*Saccharum* spp.) by molecular cytogenetics. **Molecular and General Genetics**, v. 250, p. 405–413, 1996.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In: HEINZ, D. J. (Ed.). **Sugarcane Improvement Through Breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 7-84.

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

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Las necesidades de água de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 193p. (Estudios FAO: Yield response to water, paper 33).

EDMÉ, S. J. et al. Genetic contribution to yield gains in the Florida sugarcane industry across 33 years. **Crop Science**, Madison, v.45, p. 92-97, 2005.

EPE / MME. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA / MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional / Relatório Final**. Brasília: EPE / MME, 2019. 300 p.

ENDRES, L. et al. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. **Open Agriculture Journal**, v. 4, n. 3, p. 31-37, 2010.

EVANS, G. C. **The quantitative analysis of plant growth**. Londres: Blackwell Scientifics Publications, 1972. 734 p.

ETHIRAJAN, A. S. Sugarcane hybridization techniques. In: **COPERSUCAR International Sugarcane Breeding Workshop**. São Paulo: COPERSUCAR, 1987. p. 129-138.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: EME, 2003. 240 p.

FERRÃO, R. G. et al. Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. **Incaper em Revista**, Vitória, v.6 e 7, n.4, p. 51-71, 2015.

FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011, 250 p.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Eds.). **Crop water relations**. New York: John Willey, 1983. p. 445-479.

GAVA, G. J. C. et al. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

HEINZ, D. J. Sugarcane improvement: current productivity and future opportunities. In: **COPERSUCAR International Sugarcane Breeding Workshop**. São Paulo: COPERSUCAR, 1987. p. 55-70.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, p. 32-34, 1999.

HOERLING, M.; KUMAR, A. The perfect ocean for drought. **Science**, v. 299, p. 691-694, 2003.

HOGARTH, D. M. New varieties lift sugar production. **Producers Review**, v.66, p. 21-22, 1976.

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.

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

JESWIET, J. The development of selection and breeding of the sugarcane in Java. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, v. 3, 1929, Soerabaia. **Proceedings...** Soerabaia: ISSCT, 1929. p. 44-57.

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. 101-179.

LANDELL, M. G. A.; SCARPARI, M. S. Melhoramento genético deve priorizar estratégias de seleção regionais. **Visão agrícola**, n.8, p. 91-95, 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: PRADO, C. H. B. A. São Carlos: Rima, 2004, 531 p.

LAWLOR, D. W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Annals of Botany**, v.89, p.871-885, 2002.

LAWLOR, D. W. Genetic engineering to improve plant performance under drought: physiological evaluation of achievements, limitations, and possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v.64, n.1, p. 83-108, 2013.

LEME, E. J. A.; MANIERO, M. A.; GUIDOLIN, J. C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. **Cadernos Planalsucar**, Piracicaba, n.2, p.3-22, 1984.

LUCCHESI, A. A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Eds.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 1-11.

MACHADO, E. C. et al. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. São Paulo: Editoras EPU / EDUSP, 1985. p. 331- 350.

MAIA JÚNIOR, S. O. **Tolerância de cultivares de cana-de-açúcar ao déficit hídrico: relações hídricas, trocas gasosas, fluorescência da clorofila e metabolismo antioxidante**. 2017. 165 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2017.

MAIA JÚNIOR, S. O. et al. Respostas morfológicas e fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar sob estresse hídrico no segundo ciclo de cultivo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, nº.3, p. 2661 - 2672, 2017.

MANAVALAN, L.P. et al. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. **Plant and Cell Physiology** v.50, p. 1260-1276, 2009.

MARAFON, A. C. **Análise Quantitativa de Crescimento em Cana-de-Açúcar**: uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. (Documentos, 168).

MATSUOKA, S. et al. Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects. **Advances in Botany**, v. 2014, p. 1-13, 2014.

MATSUOKA, S. Free Fiber Level Drives Resilience and Hybrid Vigor in Energy Cane. **Journal of Scientific Achievements**, v.2, n.1, p. 1–35, 2017.

MING, R. et al. 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.

MOLINARI, H. B. C. **Expressão estresse-induzida do gene p5cs em plantas transgênicas de cana-de-açúcar submetidas ao déficit hídrico**. 2006. 109f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

NOGUEIRA, R. C. et al. Bases do crescimento e desenvolvimento vegetal. In: PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e Produção Vegetal**. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 17-29.

OLIVEIRA, R. A. **Análise de crescimento da cana-de-açúcar, na região noroeste do Paraná**. 2004. 80 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, PR, 2004.

OLIVEIRA, R. A. et al. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado do Paraná: taxas de crescimento. **Scientia Agraria**, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. IAC, 33p., (boletim técnico, 114), 1987.

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

PIRES, R.C.M.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDO-MIRANDA, L.L; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008, p. 631-670.

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

REDDY, A. R; CHAITANYA, K. V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, v.161, p. 1189-1202, 2004.

RIDESA. REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROENERGÉTICO. São Paulo. Disponível em: < <https://www.ridesa.com.br/censo-varietal>>. Acessado em 10 de fevereiro de 2019.

- SABADIN, P. et al. Studying the genetic basis of drought tolerance in sorghum by managed stress trials and adjustments for phenological and plant height differences. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 124, p. 1389-1402, 2012.
- SALIENDRA, N. Z. et al. Associations between partitioning of carboxylase activity and bundle sheath leakiness to CO₂, carbon isotope discrimination, photosynthesis, and growth in sugarcane. **Journal of Experimental Botany**, v.47, p.907-914, 1996.
- SANTCHURN, D. et al. From sugar industry to cane industry: evaluation and simultaneous selection of different types of high biomass canes, **Biomass and Bioenergy**, v. 61, p. 82-92, 2014.
- SANTOS, V. R. et al. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.389–396, 2009.
- SANTOS, J. M. et al. 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.
- SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, p. 373-431.
- 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, 2006. 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, 2006. p. 319-332.
- SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 221-227, 2007.
- SILVA, D. K. T. et al. Análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar em cana-soca no noroeste do Paraná na safra de 2002/2003. **Scientia Agraria**, v.6, n.1-2, p.47-53, 2005.

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. E. M.; AMORIM NETO, M. S. **Análise do crescimento de comunidades vegetais**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2000. 46 p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 34).

SILVA, P. B. **Aspectos fisiológicos de seis genótipos de cana-de-açúcar submetidos a estresse hídrico**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, 2010.

SILVA, P. P. et al. Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. **Industrial Crops and Products**, v.37, n.1, p.11-19, 2012.

SILVA, M. A. et al. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, v. 67, p. 656-661, 2008.

SILVA, M. A. et al. Fenologia da cana-de-açúcar. In: CRUSCIOL, C.A.C et al. (Eds.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF, 2010. p.8-21.

SILVA, M. A. et al. Melhoramento para eficiência no uso da água. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (Eds.). **Melhoramento de Plantas para Condições de Estresses Abióticos**. Editora UFV, 2011. p.127-149.

SILVA, T. G. F. **Análise de crescimento, interação biosfera-atmosfera e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no submédio do vale do São Francisco**. 2009.194 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

SILVA, T. G. F. et al. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.64-71, 2012.

SILVEIRA, J. A. G. **Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivada em condições de campo**. 1985.152 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1985.

SINDAÇÚCAR. SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS. Maceió. Disponível em: <<http://www.sindacucar-al.com.br/dados-estatisticos>>. Acessado em 05 de dezembro de 2018.

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

SOUZA, A. P. et al. Sugarcane as a bioenergy source: history, performance, and perspectives for second-generation bioethanol. **Bioenergy Research**, v.7, n.1, p. 24-35, 2013.

SOUZA, J. L. et al. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, p.131-141, 2004.

STUPIELLO, J. P. A cana-de-açúcar como matéria prima. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. 2º vol. Campinas: Fundação Cargill, 1987, p.761-804.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TEODORO, I. et al. Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.27, p. 46-49, 2009.

TEODORO, I. et al. Análise Agrometeorológica de Safras de Cana-de-açúcar no Estado de Alagoas. **STAB Açúcar, Álcool 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.

WACLAWOVSKY, A. J. et al. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, v.8, p. 263-276, 2010.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v.100, n.3, p. 665-671, 2008.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. **Water International**, v.10, n.3, p. 111-120, 1985.

ZHAO, J. et al. Difference in response to drought stress among Tibet wild barley genotypes. **Euphytica**, v.172, p. 395-403, 2010.

CAPÍTULO II

ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE DIFERENTES PERFIS DE CANA, EM CICLO DE CANA-PLANTA, NO NORDESTE DO BRASIL

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar os padrões de crescimento de genótipos de cana, de acordo com seus respectivos perfis, nas condições ambientais de Alagoas, Nordeste do Brasil. Para este fim, foi instalado um experimento, no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas (09°28'02"S; 35°49'43"W). Foram avaliados seis genótipos de cana, classificados 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). O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados com quatro repetições. Adotou-se as análises de crescimento: 1) não destrutiva (variáveis biométricas): comprimento médio do colmo, diâmetro médio do colmo e número de perfilhos; 2) destrutiva (variáveis de massa seca): massa seca dos colmos e massa seca da parte aérea; 3) índices morfofisiológicos: índice de área foliar, taxa de crescimento da cultura, taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida, razão de área foliar, área foliar específica e razão de massa foliar. Essas análises foram realizadas em sete épocas de amostragem: 65, 126, 184, 245, 307, 370 e 433 dias após o plantio. Observou-se diferenças nas variáveis biométricas e de massa seca dos diferentes perfis de cana, que resultou em distintos padrões de crescimento. Os genótipos de cana-energia têm maior comprimento do colmo, maior perfilhamento, maior acúmulo de massa seca e altos valores de índice de área foliar durante o ciclo de cultivo de cana-planta, em relação aos genótipos de cana-de-açúcar tolerante à seca e de cana-de-açúcar tradicional. A cana-de-açúcar tolerante à seca é o perfil com maior taxa de assimilação líquida em condições de estresse hídrico.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Cana-de-açúcar tolerante à seca. Cana-energia. Taxas de crescimento.

GROWTH ANALYSIS OF DIFFERENT CANE PROFILES IN THE PLANT CANE CYCLE IN NORTHEAST OF BRAZIL

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the growth patterns of cane genotypes, according to their respective profiles, in the environmental conditions of Alagoas, Northeast of Brazil. For this purpose, an experiment was installed in the field at the Engineering and Agrarian Sciences Campus from the Federal University of Alagoas, Rio Largo, Alagoas (09°28'02"S; 35°49'43"W). Six genotypes of cane were evaluated. These genotypes were 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 experimental design was randomized blocks with four replications. It was adopted the growth analysis: 1) non-destructive (biometric variables): stalk length and stalk diameter; 2) destructive (dry mass variables); stalks dry mass and aerial part dry mass; 3) morphophysiological indexes (growth rates): leaf area index, crop growth rate, relative growth rate, net assimilation rate, leaf area ratio, specific leaf area and leaf mass ratio. These analyzes were performed in seven sampling periods: 65, 126, 184, 245, 307, 370 and 433 days after planting. Differences were observed in the biometric and dry mass variables of the different sugarcane profiles, which resulted in different growth patterns. Energy cane genotypes have longer stalk length, greater tillering, greater accumulation of dry mass and high leaf area index values during the plant cane cycle, in relation to drought tolerant sugarcane genotypes and traditional sugarcane genotypes. Drought tolerant sugarcane is the profile with the highest net assimilation rate under water stress conditions.

Keywords: *Saccharum* spp. Drought tolerant sugarcane. Energy Cane. Growth rates.

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o cultivo da cana-de-açúcar tem sido fundamental para o desenvolvimento econômico do Nordeste brasileiro (CARVALHO, 2000). O Estado de Alagoas que é o maior produtor dessa região, apesar de já ter produzido 30,26 milhões de toneladas de cana na safra 1986/1987 (SINDAÇÚCAR, 2018), alcançou na safra 2018/2019, os seguintes indicadores: 293,20 mil hectares colhidos; produtividade agrícola média de 55,26 toneladas de cana por hectare; moagem de 16,20 milhões de toneladas de cana; produção de 1,19 milhão de toneladas de açúcar e 490,41 milhões de litros de etanol (CONAB, 2019).

O crescimento da cana-de-açúcar pode acontecer durante todas as estações do ano nas regiões tropicais e subtropicais (BARNES, 1974). Em Alagoas, o crescimento dessa cultura agrícola é prejudicado pela irregularidade da distribuição da chuva, tanto temporal como espacial. Na Costa Leste do Nordeste brasileiro, região climática em que se encontra a Zona Canavieira alagoana, há duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa, de abril a

setembro, e outra seca, de outubro a março (SOUZA et al., 2004). Nesta região, o setor sucroenergético tem adotado não somente cultivares modernas de cana-de-açúcar, mas também, cultivares com diferentes perfis de cultivo, principalmente com a característica de rusticidade para cultivo em ambientes restritivos.

As cultivares modernas de cana-de-açúcar apresentam padrão de crescimento bem definido em relação ao acúmulo de massa seca, com pequenas oscilações desse acúmulo durante as fases de crescimento, devido as variações genéticas e ambientais (GAVA et al., 2001). Na medida em que novos perfis de cana, como a cana-energia e cana-de-açúcar com mais rusticidade e tolerância à seca são desenvolvidas pelos programas de melhoramento genético, torna-se necessário identificar se os padrões de crescimento desses perfis são semelhantes ou diferentes das cultivares de cana-de-açúcar tradicionais. Para alcançar esses objetivos, é imprescindível realizar estudos de análise de crescimento.

A análise de crescimento é uma das técnicas utilizadas para estudar as bases fisiológicas da produção e diagnosticar a influência exercida pelas variáveis ambientais, genéticas e agronômicas. Esse método descreve as condições morfofisiológicas das plantas em diferentes intervalos de tempo, entre duas amostragens sucessivas, e propõe-se a acompanhar a dinâmica da produção fotossintética avaliada por meio do acúmulo de biomassa seca (BENINCASA, 2003).

Em termos de produção e partição da biomassa da cana, a análise de crescimento é muito útil para melhorar o entendimento dos mecanismos que promovem aumento de produtividade da cultura em resposta às condições ambientais. Com essa técnica, é possível estudar as interações entre as variáveis de crescimento, os estádios de desenvolvimento da planta e os fatores ambientais, e assim não só conhecer sua eficiência de crescimento, mas também a capacidade de adaptação da cana ao ambiente produtivo (MARAFON, 2012). Além do mais, a análise de crescimento pode ter grande importância para o melhoramento genético da cana-de-açúcar, principalmente durante as fases de experimentação da cultura, auxiliando o melhorista a selecionar cultivares com características de interesses agronômicos, ou até mesmo utilizá-las como genitores em hibridações.

Vários pesquisadores têm se dedicado à análise quantitativa do crescimento da cana-de-açúcar, destacando-se os trabalhos de Abreu et al. (2013), Oliveira et al. (2010), Tavares e Zonta (2010), Almeida et al. (2008), Oliveira et al. (2007), Oliveira et al. (2004) e Gava et al. (2001). No entanto, todas essas pesquisas foram realizadas nos mais diversos ambientes de produção de cana no Brasil, utilizando materiais genéticos com o mesmo perfil (cana-de-açúcar tradicional). Dessa forma, são escassos os trabalhos que avaliem o crescimento de

genótipos de cana com diferentes perfis agronômicos. Portanto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar os padrões de crescimento de genótipos de cana, com diferentes perfis (I - Genótipos de cana-de-açúcar tradicionais; II - Genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca; III - Genótipos de cana-energia), nas condições ambientais de Alagoas, Nordeste do Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do ambiente experimental

O experimento foi conduzido no período de 01 de novembro de 2016 a 16 de janeiro de 2018, no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), 09°28'02"S; 35°49'43"W, 127 m, localizado no município de Rio Largo, Alagoas. O clima da região é caracterizado, pela classificação de Thornthwaite e Mather (1955), como úmido, megatérmico quente, com deficiência de água moderada na primeira/verão e grande excesso de água no outono/inverno. O solo do local é classificado como Latossolo Amarelo Coeso Argissólico de textura médio-argilosa. A precipitação pluvial média anual é 1.688 mm (TEODORO et al., 2017). Nas Tabelas 2.1 e 2.2 são apresentados respectivamente, os resultados das análises química e física do solo, da área experimental.

Tabela 2.1 – Resultados da análise química do solo da área experimental, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.

Variáveis	Camada (cm)		Variáveis	Camada (cm)	
	0 - 20	20 - 40		0 - 20	20 - 40
pH em água	5,4	5,0	CTC efetiva - t (mmol _c dm ⁻³)	32,6	19,5
Na (mg dm ⁻³)	17,0	13,0	CTC a pH 7,0 - T (mmol _c dm ⁻³)	76,5	62,1
P (mg dm ⁻³)	3,0	2,0	V – Saturação por bases (%)	41,2	17,8
K (mg dm ⁻³)	29,0	20,0	m – Saturação por alumínio (%)	3,4	43,1
Ca + Mg (mmol _c dm ⁻³)	30,0	10,0	M. O. (g kg ⁻¹)	20,4	13,0
Ca (mmol _c dm ⁻³)	21,0	7,0	Fe (mg dm ⁻³)	310,7	485,9
Mg (mmol _c dm ⁻³)	9,0	3,0	Cu (mg dm ⁻³)	0,7	0,3
Al (mmol _c dm ⁻³)	11,0	84,0	Zn (mg dm ⁻³)	13,5	19,5
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	45,0	51,0	Mn (mg dm ⁻³)	7,7	3,0
S - Soma de bases (mmol _c dm ⁻³)	31,5	11,1			

Fonte: Autor (2020).

Tabela 2.2 – Resultados da análise física do solo da área experimental, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.

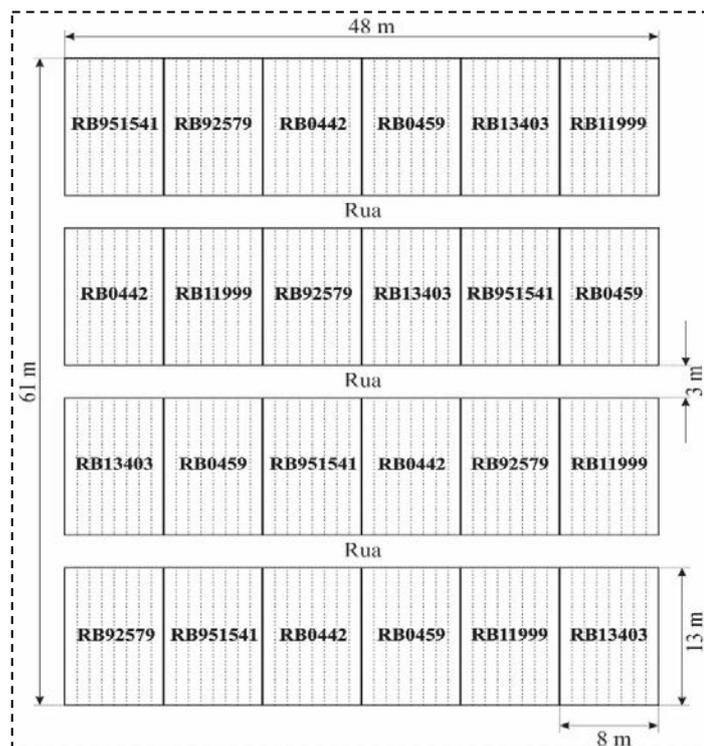
Variáveis	Camada (cm)	
	0 – 20	20 - 40
Areia (%)	59,4	53,3
Silte (%)	24,1	30,2
Argila (%)	16,6	16,6
Classe Textural	Franco Arenoso	Franco Arenoso

Fonte: Autor (2020).

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram representados por seis genótipos de cana: i) RB92579; ii) RB951541; iii) RB0442; iv) RB0459; v) RB11999; vi) RB13403, os quais foram classificados 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); III - Genótipos de cana-energia (RB11999 e RB13403). O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições. Na Figura 2.1 consta o croqui do experimento.

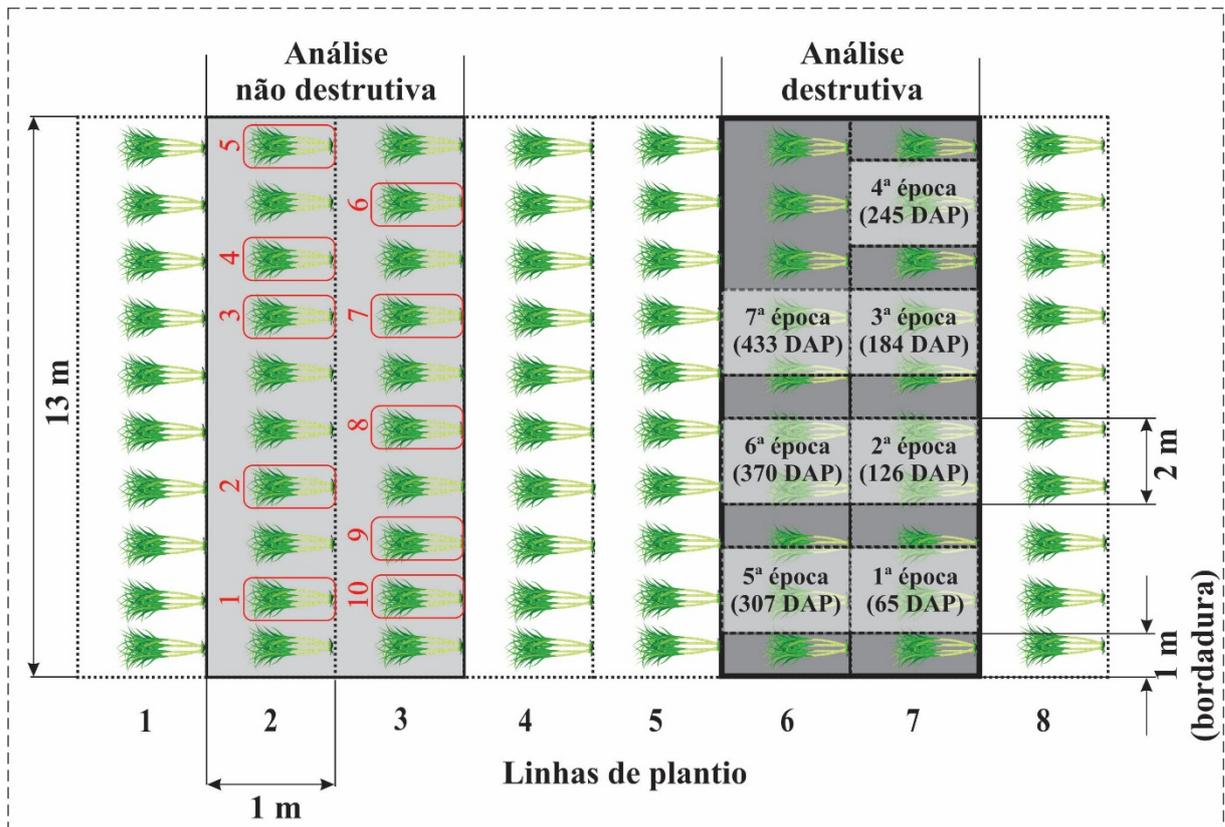
Figura 2.1 – Croqui do experimento.



Fonte: Autor (2020).

As parcelas consistiram de 8 linhas de 13 m de comprimento, espaçadas de 1,0 m entre linhas, perfazendo uma unidade experimental de 104 m². As linhas 2 e 3 foram utilizadas para as análises não destrutivas e as linhas 6 e 7 para as destrutivas (Figura 2.2).

Figura 2.2 – Parcela com a separação das linhas 2 e 3 para a análise de crescimento não destrutiva e das linhas 6 e 7 para análise de crescimento destrutiva.



Fonte: Autor (2020).

2.3 Práticas culturais e condução do experimento

O preparo do solo consistiu de gradagem pesada para destruição dos restos vegetais e torrões, subsolagem, mais uma gradagem para nivelamento do terreno, seguida da abertura dos sulcos. De acordo com a análise química do solo, foi realizada a calagem, aplicando-se 3,5 t ha⁻¹ do calcário mix (70% calcário dolomítico + 30% gesso), com a seguinte composição: 28% CaO, 16% MgO e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 70%. A aplicação do calcário ocorreu 30 dias antes do plantio, em área total, seguida de incorporação com grade aradora.

A adubação foi realizada de acordo com a análise química do solo (Tabela 2.1). Para melhor aproveitamento dos nutrientes, a adubação foi executada em duas etapas: a primeira

no fundo do sulco, no momento do plantio, em que foram colocados 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 a segunda (adubação de cobertura), foi realizada aos 150 dias após o plantio (DAP), com 20 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e 50 kg ha⁻¹ de K₂O.

No plantio, houve a necessidade da aplicação de uma lâmina de 60 mm de irrigação para garantir a brotação. Essa prática cultural foi extremamente necessária, devido à grande seca ocorrida em todo Estado de Alagoas em 2016. O plantio foi realizado manualmente, com colmos repartidos em rebolos contendo 3 gemas, sendo distribuídos dentro dos sulcos, num total de 15 gemas por metro linear. No momento da distribuição dos rebolos foi aplicado 200 g ha⁻¹ do inseticida Fipronil nos sulcos de plantio para combater pragas como diversas espécies de cupins. Para o controle de plantas daninhas, aplicaram-se os herbicidas 2,4-D e Tebuthiuron, ambos na dose de 2,0 L ha⁻¹. Também foram feitas capinas manuais, na medida que foi diagnosticado sua necessidade.

2.4 Variáveis agrometeorológicas

As variáveis agrometeorológicas: precipitação pluvial (mm), temperatura máxima do ar (°C), temperatura média do ar (°C) e temperatura mínima do ar (°C), foram coletadas durante todo o ciclo da cultura, por meio de uma estação meteorológica automática de aquisição de dados Micrologger, CR10X (Campbell Scientific, Logan, Utah) instalada a 500 m do experimento. Para o cálculo do balanço hídrico, adotou-se a metodologia de Thornthwaite e Mather (PEREIRA et al., 2002).

2.5 Análise de crescimento

Em cada época de amostragem foram realizadas análise não destrutiva (variáveis biométricas) e destrutiva (variáveis de massa seca), e estimativa dos índices morfofisiológicos, conforme Benincasa (2003).

As amostragens foram realizadas nos seguintes dias após o plantio (DAP): 65, 126, 184, 245, 307, 370 e 433, totalizando sete épocas de amostragem (avaliações) durante todo o ciclo. Adotou-se a classificação das folhas do sistema Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952).

2.5.1 Análise não destrutiva

Para a obtenção dos dados biométricos, utilizaram-se as linhas 2 e 3 da parcela, marcando-se cinco perfilhos primários em cada linha, totalizando dez perfilhos (Figura 2.2). A marcação foi feita com etiqueta plástica e barbante, sendo colocada na folha +1 de cada perfilho. Foram avaliadas as seguintes variáveis de crescimento: i) comprimento médio do colmo, ii) diâmetro médio do colmo, iii) número de perfilhos e iv) área foliar (comprimento e largura da folha +3).

- i) comprimento médio do colmo (CMC): foi mensurado em cm, com o auxílio de uma régua graduada com intervalos de cinco em cinco cm, medido do nível do solo até a primeira aurícula visível, classificada como folha +1;
- ii) Diâmetro médio do colmo (DMC): foi medido em mm, com um paquímetro digital. A medição foi realizada no terço médio dos colmos;
- iii) Número de perfilhos (NP): foi obtido por contagem dos perfilhos amostrados em dois metros lineares;
- iv) Área foliar (AF): foram mensurados o comprimento (C) e a largura (L) na porção mediana da folha +3 de cada perfilho identificado e calculada pela Equação 1 descrita por Hermann e Câmara (1999):

$$AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2) \dots\dots\dots (1)$$

Em que:

AF é a área foliar por colmo;

C é o comprimento da folha +3;

L é a largura da folha +3;

0,75 corresponde ao fator de forma;

N é o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde.

2.5.2 Análise destrutiva

Para obter os dados de massa seca, foram coletadas todas as plantas contidas numa área amostral de 2 m² em cada época de avaliação nas linhas 6 e 7 da parcela (Figura 2.2). Nessa amostragem, foram contados o número de perfilhos na área amostral. Em seguida, as plantas foram identificadas, com posterior envio para o laboratório de Fisiologia Vegetal do

CECA/UFAL, onde realizou-se a separação e identificação de cada perfilho em dois componentes estruturais: i) colmo e ii) folhas verdes, com posterior pesagem em balança digital. Em seguida, as amostras de cada componente foram trituradas em forrageira, homogeneizada e coletadas 300 g, as quais foram colocadas em estufa de ventilação forçada a uma temperatura média de 65 °C até peso constante, para determinação da massa seca dos colmos (MSC), massa seca das folhas verdes (MSFV) e massa seca da parte aérea (MSPA) (PEREIRA; MACHADO, 1987; BENINCASA, 2003). A partir dos dados do percentual de umidade e da massa verde total da parcela, estimou-se a massa seca, em gramas (g).

Para a análise das variáveis massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca dos colmos (MSC) e comprimento médio do colmo (CMC), utilizou-se o modelo de regressão logística:

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \left(\frac{DAP}{b}\right)^c}$$

Em que:

\hat{y} representa a variável de crescimento na época de avaliação *DAP* (*DAP* = 65, 126, 184, 245, 307, 370 e 433 dias após o plantio);

a representa a assíntota, ou seja, o valor máximo da variável de crescimento a ser atingido pelas plantas;

b indica o ponto de inflexão, representando os dias após o plantio em que ocorre a transição entre o período de intenso crescimento vegetativo e o início da maturação ou senescência.

c é o parâmetro que define seu crescimento, conferindo o formato sigmoidal da curva.

2.5.3 Índices morfofisiológicos

A partir dos valores de MSPA, MSFV, AF e do NP, estimaram-se os índices morfofisiológicos: índice de área foliar (IAF), taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e razão da massa foliar (RMF).

2.5.3.1 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF), foi calculado a partir da relação entre o total de área foliar pela área ocupada pelas plantas. Para analisar essa variável, utilizou-se o modelo de regressão quadrática:

$$\hat{y} = a + b (DAP) + c (DAP)^2$$

Em que:

\hat{y} representa a variável de crescimento observada na época de avaliação DAP ($DAP = 65, 126, 184, 245, 307, 370$ e 433 dias após o plantio);

a, b e c são os coeficientes estimados da regressão do segundo grau.

Utilizou-se ainda a correlação de Pearson (r) para verificar a relação entre as variáveis: Índice de área foliar máxima ($IAF_{m\acute{a}x}$) e Massa seca da parte área máxima ($MSPA_{m\acute{a}x}$).

2.5.3.2 Taxa de crescimento da cultura

A taxa de crescimento da cultura (TCC) representa o ganho de matéria seca de uma comunidade de plantas, entre duas amostragens. A TCC ($g\ m^{-2}\ dia^{-1}$) foi determinada conforme a Equação 2.

$$TCC = \frac{MSPA_{(n+1)} - MSPA_n}{DAP_{(n+1)} - DAP_n} \dots\dots\dots(2)$$

Em que:

$MSPA_n$ é a massa seca total da parte aérea (g), na n-ésima época de avaliação ($n = 1, 2, 3, \dots, 7$);

DAP_n são os dias após o plantio, na n-ésima época de avaliação ($n = 1, 2, 3, \dots, 7$).

2.5.3.3 Taxa de crescimento relativo

A taxa de crescimento relativo (TCR) expressa o incremento na massa seca, por unidade de massa inicial em um dado intervalo de tempo ($g\ g^{-1}\ dia^{-1}$), sendo estimada pela Equação 3.

$$TCR = \frac{\ln(MSPA_{(n+1)}) - \ln(MSPA_n)}{DAP_{(n+1)} - DAP_n} \dots\dots\dots(3)$$

Em que:

\ln é logaritmo neperiano

$MSPA_n$ é a massa seca total da parte aérea (g), na n-ésima época de avaliação (n = 1, 2, 3, ...,7);

DAP_n são os dias após o plantio, na n-ésima época de avaliação (n = 1, 2, 3, ...,7).

2.5.3.4 Taxa de assimilação líquida

A taxa de assimilação líquida (TAL) é o acúmulo de massa seca da planta por unidade de superfície assimilatória (folha) por unidade de tempo ($\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e foi estimada pela Equação 4.

$$TAL = \frac{MSPA_{(n+1)} - MSPA_n}{DAP_{(n+1)} - DAP_n} \times \frac{\ln(IAF_{(n+1)}) - \ln(IAF_n)}{IAF_{(n+1)} - IAF_n} \dots\dots\dots(4)$$

Em que:

\ln é logaritmo neperiano

$MSPA_n$ é a massa seca total da parte aérea (g), na n-ésima época de avaliação (n = 1, 2, 3, ...,7);

DAP_n são os dias após o plantio, na n-ésima época de avaliação (n = 1, 2, 3, ...,7);

IAF_n é o índice de área foliar, na n-ésima época de avaliação (n = 1, 2, 3, ...,7).

2.5.3.5 Razão de área foliar

A razão de área foliar (RAF) é quociente entre a área foliar (AF) e a massa seca total da planta (MSPA). Este índice morfofisiológico representa a área foliar disponível para realizar fotossíntese. A RAF ($\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$) foi calculada de acordo com a Equação 5.

$$RMF = \frac{AF_n}{MSPA_n} \dots\dots\dots(5)$$

Em que:

AF_n representa a área foliar (m^2), na n-ésima época de avaliação ($n = 1, 2, 3, \dots, 7$);

$MSPA_n$ é a massa seca total da parte aérea (g), na n-ésima época de avaliação ($n = 1, 2, 3, \dots, 7$).

2.5.3.6 Área foliar específica

A área foliar específica (AFE) é a razão entre área foliar (AF) com a massa seca da própria folha (MSFV). Refere-se à espessura das folhas, quanto maior o valor, menor será a espessura. A AFE ($m^2 g^{-1}$) foi estimada pela Equação 6.

$$AFE = \frac{AF_n}{MSFV_n} \dots\dots\dots(6)$$

Em que:

$MSFV_n$ é a massa seca das folhas verdes (g), na n-ésima época de avaliação ($n = 1, 2, 3, \dots, 7$);

AF_n representa a área foliar (m^2), na n-ésima época de avaliação ($n = 1, 2, 3, \dots, 7$).

2.5.3.7 Razão da massa foliar

A razão da massa foliar (RMF) é a fração da massa seca contida nas folhas em relação a massa seca total acumulada na planta, expressa em $g g^{-1}$. Foi determinada por meio da Equação 7.

$$RMF = \frac{MSFV_n}{MSPA_n} \dots\dots\dots(7)$$

Em que:

$MSFV_n$ é a massa seca das folhas verdes (g), na n-ésima época de avaliação ($n = 1, 2, 3, \dots, 7$);

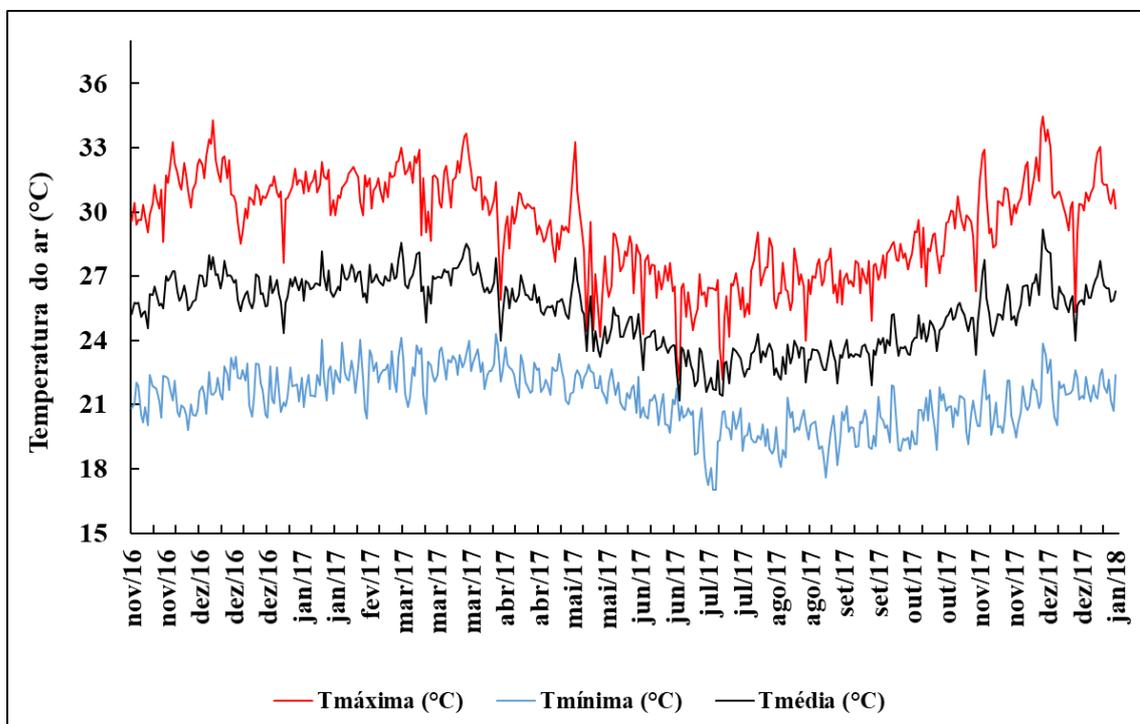
$MSPA_n$ é a massa seca total da parte aérea (g), na n-ésima época de avaliação ($n = 1, 2, 3, \dots, 7$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variáveis agrometeorológicas

Nos 441 dias de cultivo do ciclo de cana-planta, de 01 de novembro de 2016 a 16 de janeiro de 2018, observou-se que a temperatura mínima diária do ar, variou de 17,0 °C (16 e 17 de julho de 2017) a 24,3 °C (11 de abril de 2017), com média de 21,3 °C. De outra parte, a temperatura máxima diária do ar apresentou média de 29,4 °C, oscilando de 28,5 °C a 34,3 °C, nos dias 19 de dezembro de 2016 e 07 de dezembro de 2016, respectivamente. A temperatura média diária do ar foi 25,2 °C, variando de 21,2 °C a 29,2 °C, com média geral de 25,3 °C (Figura 2.3). Conforme Casagrande (1991), a faixa de temperatura do ar desejada para o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar seria entre 20 °C e 35 °C. Portanto, a variável temperatura do ar, não foi limitante para o crescimento dos genótipos de cana avaliados nessa pesquisa.

Figura 2.3 – Temperaturas do ar, mínima, média e máxima diárias, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018.

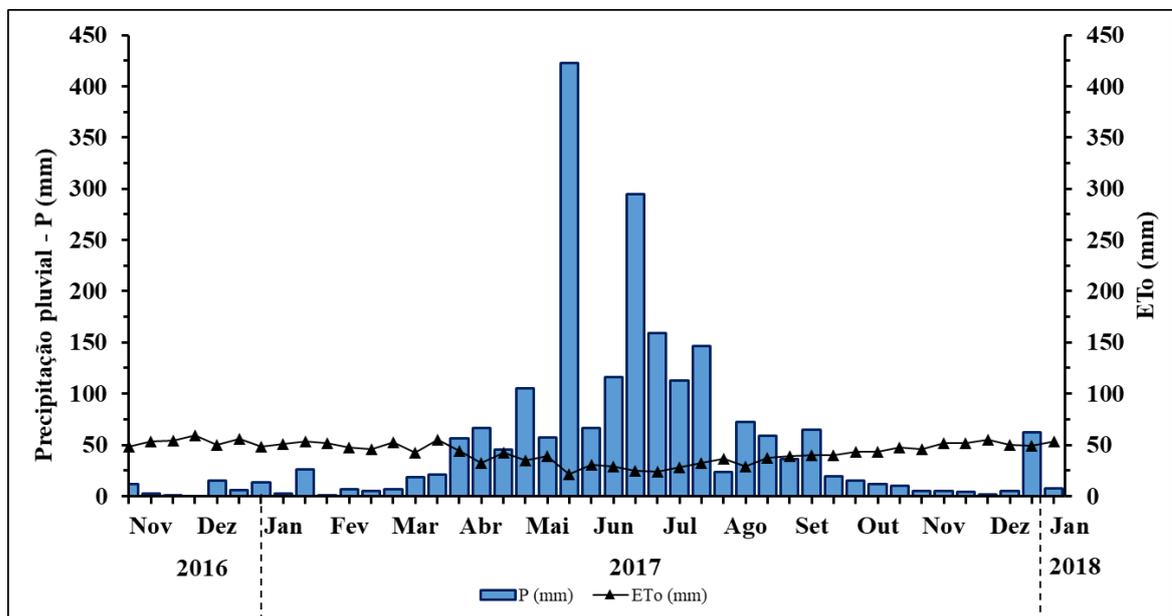


Fonte: Autor (2020).

A precipitação pluvial (P) durante o ciclo de cana-planta (441 DAP) foi 2.189,0 mm (Figura 2.4), sendo que nos primeiros dois meses (61 DAP), choveu apenas 36,6 mm,

quantidade de água insuficiente para o crescimento e desenvolvimento da cultura. No entanto, o crescimento inicial não foi muito prejudicado, porque foi aplicada uma lâmina de 60 mm de irrigação, que garantiu a brotação e amenizou os danos causados pela falta de chuva. No ano de 2017, a precipitação pluvial foi 2.144,3 mm, porém, nos primeiros três meses (151 DAP), entre 01 de janeiro e 31 de março desse ano, choveu apenas 99,8 mm, correspondendo a 4,7% da chuva do ano (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Médias decendiais de precipitação pluvial (P) e evapotranspiração de referência (ET_o), na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018.



Fonte: Autor (2020).

No período chuvoso, compreendido entre os meses de abril e agosto de 2017, a precipitação foi de 1.803,7 mm, equivalente a 84,1% do total de chuva de 2017. Destaca-se que nesse ano, o terceiro decêndio de maio foi o mais chuvoso, registrando 422,4 mm (Figura 2.4). De acordo com Souza et al. (2004), 70% das chuvas anuais da região da zona da mata alagoana ocorre entre abril e agosto (período chuvoso). Observou-se que em 2017, neste mesmo período, o percentual de chuva anual superou em 14,1% o percentual médio histórico dessa região, e conseqüentemente, agravando ainda mais a má distribuição da precipitação pluvial. Portanto, a cultura sofreu estresse hídrico por excesso de água no solo (encharcamento). E, de acordo com Teodoro et al. (2017) e Wiedenfeld; Enciso (2008) a irregularidade na distribuição das chuvas é um fator que pode restringir o crescimento e ocasionar reduções na produtividade da cana-de-açúcar.

Observou-se ainda, que entre os meses de setembro e dezembro de 2017, choveu 240,8 mm (11,2%), sendo que aproximadamente um quarto dessa chuva (62,5 mm), ocorreu no terceiro decêndio de dezembro, quantidade quatro vezes maior que a normal climática da região para esse decêndio, que conforme Souza et al. (2004) é 16,2 mm. Registra-se que a chuva atípica desse decêndio somada aos 7,9 mm do primeiro decêndio de 2018, certamente influenciou negativamente a maturação dos colmos. Porém, favoreceu o crescimento da cana.

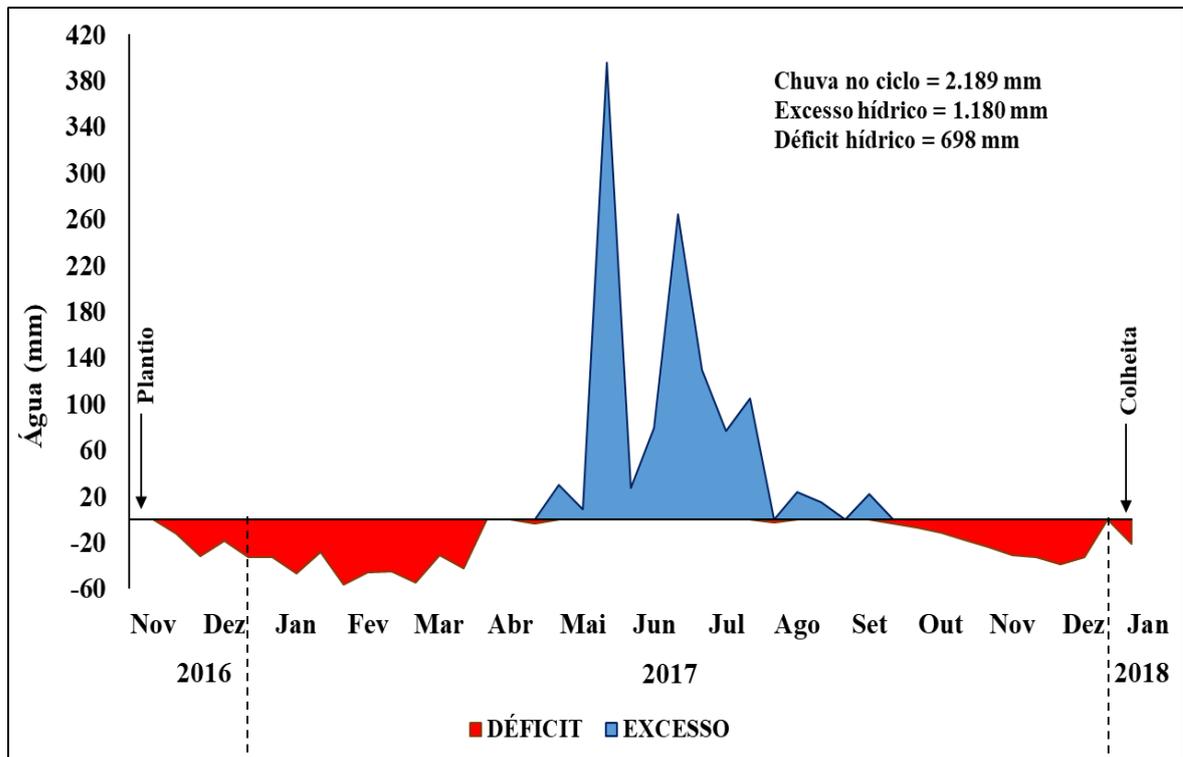
A evapotranspiração de referência (ET_o) total do ciclo da cana-planta (441 DAP) foi 1.866,8 mm. Do plantio até o final de 2016 a ET_o foi 321,0 mm; em 2017 foi 1.492,3 mm; e no primeiro decêndio de 2018 foi 53,5 mm. Durante o ciclo a ET_o variou de 21,3 mm (terceiro decêndio de maio de 2017) a 59,4 mm (primeiro decêndio de dezembro de 2016), com média de 2,1 a 5,9 mm dia⁻¹, respectivamente (Figura 2.4). Verificou-se que os menores valores de ET_o ocorreram entre abril e agosto (período chuvoso) e os maiores no período de setembro a março (período seco).

Na Figura 2.5, consta o balanço hídrico decencial da cultura da cana durante o ciclo de cana-planta, compreendido entre 01 de novembro de 2016 (plantio) a 16 de janeiro de 2018 (colheita), total de 441 dias. No ciclo, choveu 2.189,0 mm, porém 1.180,0 mm desse total (53,9%), foi perdido por excesso hídrico. Essa perda de água ocorreu por escoamento superficial ou percolação para as camadas mais profundas do solo. Logo, a precipitação pluvial efetiva foi 1.009 mm.

Observou-se que durante os 441 dias de cultivo da cana-planta ocorreu 698,0 mm de déficit hídrico, que só não foi maior devido a irrigação de 60 mm aplicada nos primeiros decêndios para garantir a brotação. Esse déficit hídrico foi dividido em dois períodos: o primeiro a partir do terceiro decêndio de novembro de 2016 até o terceiro decêndio de março de 2017 (478,7 mm); o segundo ocorreu do terceiro decêndio de setembro de 2017 ao primeiro decêndio de janeiro de 2018 (219,3 mm). Isso revela que nas fases iniciais do desenvolvimento vegetativo (primeiro período de déficit hídrico), que abrangeu as fases fenológicas: brotação, estabelecimento e início do perfilhamento, os genótipos sofreram estresse hídrico, com o crescimento praticamente estagnado pela falta de água. Nessa fase foi possível observar nos genótipos avaliados, a expressão de alguns sintomas de estresse por deficiência hídrica, como amarelecimento e perda de turgidez foliar (RB11999 e RB13403), enrolamento foliar (RB0442 e RB951541), secamento na ponta das folhas (RB92579) e maior senescência de folhas (RB0459). Ressalta-se que a ocorrência de déficit hídrico nas fases iniciais de crescimento e desenvolvimento vegetativo, provoca limitação no crescimento dos colmos, e conseqüentemente diminuição da produtividade da cultura (ALMEIDA et al.,

2008). Essas reduções de produtividade podem chegar a 60% em relação ao cultivo da cana-de-açúcar sem restrição hídrica entre os 60 e 150 dias após o plantio (RAMESH, 2000).

Figura 2.5 – Balanço hídrico decenal da cultura da cana-de-açúcar, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018.



Fonte: Autor (2020).

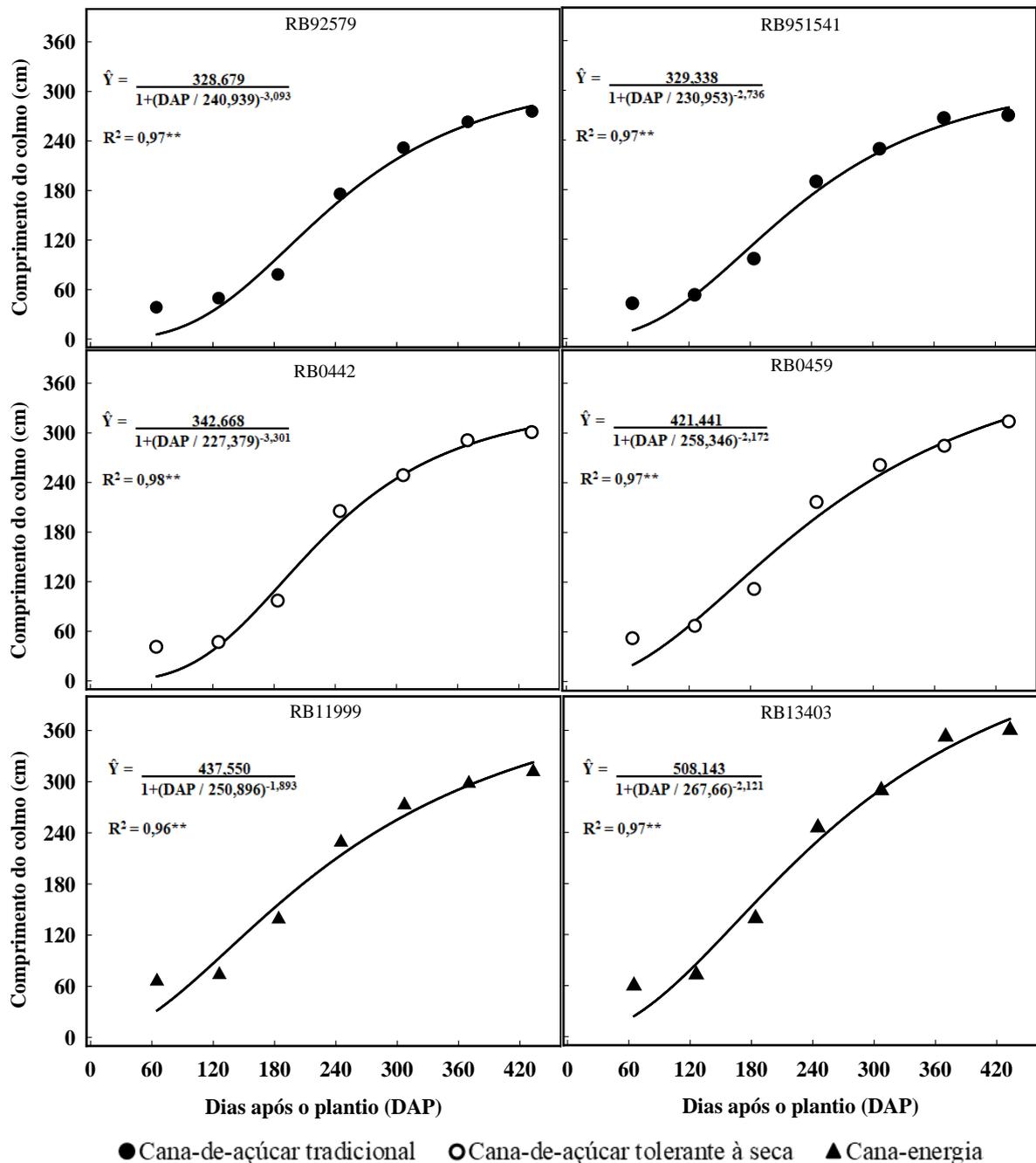
Teodoro et al. (2017) relatam que em Alagoas a deficiência hídrica nas últimas safras foi a grande responsável pela elevada redução da produtividade da cana-de-açúcar no Estado. Esses autores avaliaram onze safras da cana de Alagoas (2005/2006 à 2015/2016) e estimaram média de 1.688,0 mm de chuva, e apesar desse total atender a demanda hídrica da cultura, houve média de 593,0 mm de deficiência hídrica. Destaca-se, que os maiores períodos de seca ocorreram nas safras 2012/2013 e 2015/2016, com déficit hídrico de 702,0 e 729,0 mm, respectivamente. Nesse trabalho, durante os 441 dias de cultivo da cana-planta, o déficit hídrico calculado foi 698,0 mm, semelhante aos valores encontrados na literatura.

3.2 Análise de crescimento

3.2.1 Variáveis biométricas

Para a variável comprimento do colmo, o modelo logístico estimou diferentes coeficientes das equações de crescimento, dos genótipos de cana estudados nessa pesquisa (Figura 2.6).

Figura 2.6 – Comprimento do colmo (cm) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403).



Fonte: Autor (2020).

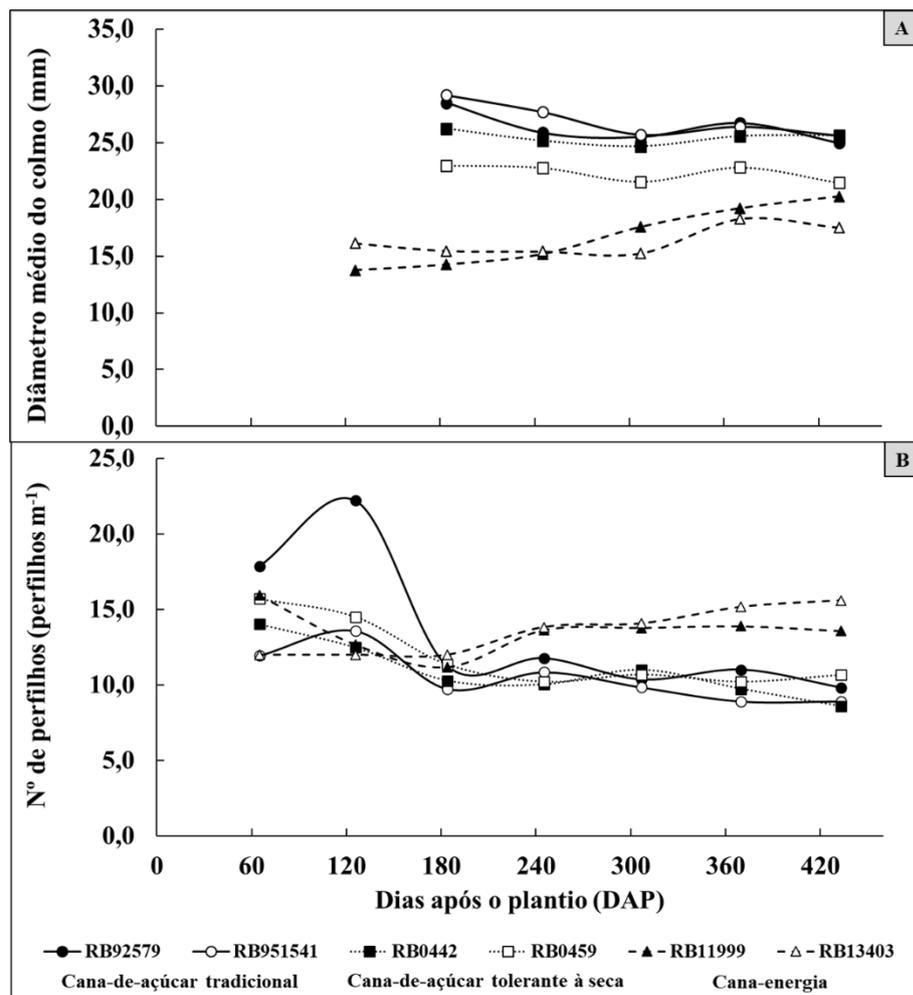
Os genótipos de cana-de-açúcar tradicionais apresentaram os menores valores estimados de comprimento máximo do colmo. A RB92579 alcançou 328,68 cm, enquanto a RB951541 atingiu 329,34 cm. Os genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca obtiveram comprimento máximo do colmo de 342,67 cm (RB0442) e 421,44 cm (RB0459). Esses genótipos superaram, em média, 16,12% a média dos valores alcançados pelos genótipos de cana-de-açúcar tradicionais. Observa-se ainda, que o intenso crescimento ocorreu até os 227 DAP para RB0442 e 258 DAP para a RB0459. No entanto, dentre os perfis de cana avaliados, destacou-se a cana-energia. Esse perfil de cana, suplantou em média, 23,76% e 43,72%, os valores de comprimento máximo do colmo em relação a cana-de-açúcar tolerante à seca e cana-de-açúcar tradicional, respectivamente. Dentre todos os genótipos, independentemente do perfil, merece destaque a RB13403, que teve crescimento máximo estimado em 508,14 cm e maior duração da fase de intenso crescimento vegetativo, que ocorreu até os 268 DAP (Figura 2.6).

Para a característica diâmetro do colmo, verificou-se o mesmo comportamento entre os perfis de cana-de-açúcar tradicional e cana-de-açúcar tolerante à seca (Figura 2.7a). Ambos perfis só apresentaram colmos aos 184 DAP, que também foi a época em que exibiram maior diâmetro. Aos 245 DAP, ocorreu estabelecimento dessa característica, apresentando os seguintes valores: RB951541 (27,71 mm), RB92579 (25,87 mm), RB0442 (25,16 mm), RB0459 (22,79 mm), RB13403 (15,40 mm) e RB11999 (15,17 mm). Os genótipos de cana-energia exibiram colmos aos 126 DAP, devido à rápida velocidade de crescimento que esses materiais apresentam. Além disso, esse perfil apresentou aumento de diâmetro durante o ciclo. A RB11999 teve aumento linear a partir dos 126 DAP, enquanto a RB13403 ocorreu aos 307 DAP (Figura 2.7a).

Observou-se diferentes comportamentos no perfilhamento dos perfis de cana avaliados (Figura 2.7b). Os genótipos de cana-de-açúcar tradicionais atingiram o perfilhamento máximo aos 126 DAP (RB92579 com 22,22 perfilhos m^{-1} e a RB951541 com 13,58 perfilhos m^{-1}) e o estabelecimento ocorreu aos 184 DAP (RB92579 com 11,25 perfilhos m^{-1} e a RB951541 com 9,75 perfilhos m^{-1}). Por outro lado, os genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca alcançaram o perfilhamento máximo aos 65 DAP, com valores de 14,05 e 15,72 perfilhos m^{-1} , para os genótipos RB0442 e RB0459, respectivamente. No entanto, semelhante a cana-de-açúcar tradicional, o estabelecimento do número de perfilhos (NP) também aconteceu aos 184 DAP, com valores de 10,30 perfilhos m^{-1} (RB0442) e 11,36 perfilhos m^{-1} (RB0459) (Figura 2.7b). De acordo com Oliveira et al. (2004) e Castro (2000), o perfilhamento na cana-de-açúcar é crescente até o sexto mês após o plantio e a partir deste período, se inicia uma

diminuição no NP, em função da competição, por luz, água, área e nutrientes, implicando na redução e paralisação do processo, além da morte dos perfilhos mais jovens.

Figura 2.7 – A) Diâmetro do colmo (mm) e B) Número de perfilhos (perfilhos m^{-1}) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403).



Fonte: Autor (2020).

Os genótipos de cana-energia atingiram o máximo perfilhamento em épocas diferentes. A RB11999 atingiu o máximo perfilhamento aos 65 DAP (15,95 perfilhos m^{-1}), reduzindo a população a partir deste período até os 184 DAP (11,20 perfilhos m^{-1}), quando retomou o crescimento de novos perfilhos até 245 DAP (13,65 perfilhos m^{-1}), época em que ocorreu estabelecimento (Figura 2.7b). Detectou-se aumento de 21,88% do NP entre 184 DAP

até os 245 DAP. Essa oscilação do NP da RB11999, pode ter sido influenciada pelos efeitos do déficit hídrico (Figura 2.5) durante a fase fenológica perfilhamento e estabelecimento.

A RB13403 apresentou dinâmica de perfilhamento diferente de todos os genótipos avaliados, independentemente do perfil de cana. Esse genótipo manteve constante o NP até os 184 DAP (12,00 perfilhos m^{-1}). Após esse período, a RB13403 passou a emitir novos perfilhos progressivamente até o momento da colheita. Foi observado também, que dos 184 DAP até o final do ciclo, houve aumento de 30% no NP, chegando a 15,60 perfilhos m^{-1} (Figura 2.7b). Essa característica contribuiu significativamente para o maior acúmulo de massa seca dos genótipos de cana-energia (Figura 2.8). De acordo com Matsuoka et al. (2014), o crescente perfilhamento (“perfilhos periféricos”) ao longo do ciclo, é típico da cana-energia, porque esse perfil de cana tem a capacidade de produzir rizomas, uma característica originária de *S. spontaneum*. De acordo com esses autores, os rizomas são órgãos encontrados em muitas famílias de gramíneas que ajudam a sua competitividade na natureza. Eles conferem às plantas a capacidade de superar condições de estresse abiótico, como déficit hídrico, proporcionando principalmente a capacidade de emitir novos brotos após a morte das partes aéreas da planta.

3.2.2 Massa seca

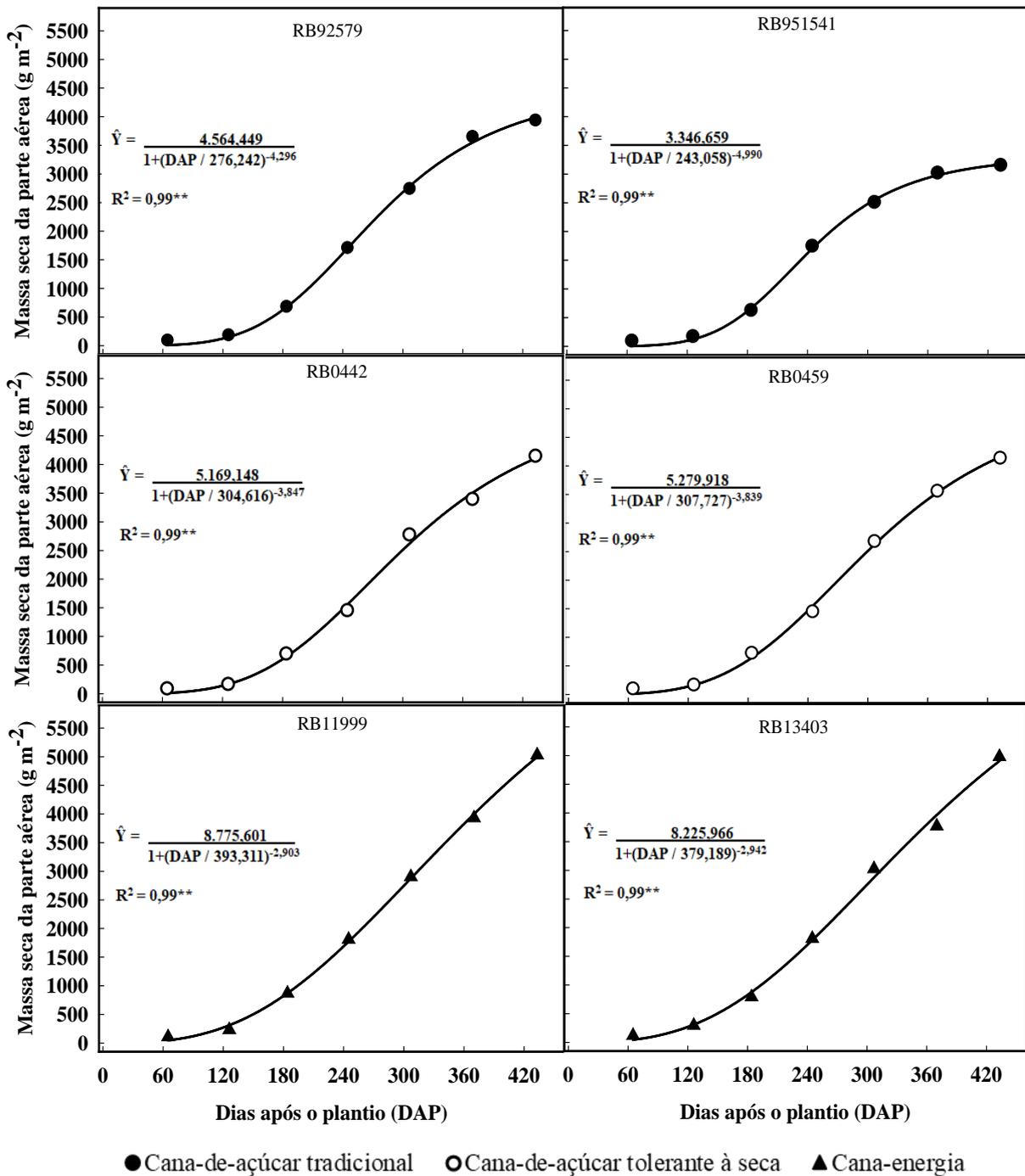
Nos resultados estimados com o modelo logístico, observou-se diferentes padrões de crescimento em relação ao acúmulo de massa seca da parte aérea (Figura 2.8) e massa seca dos colmos (Figura 2.9) dos diferentes perfis de cana.

Os genótipos de cana-de-açúcar tradicionais apresentaram os menores valores estimados de massas secas máximas, com valores de 4.564,45 (RB92579) e 3.346,66 $g m^{-2}$ (RB951541) (Figura 2.8). Além disso, esses genótipos exibiram também menor duração da fase de intenso crescimento vegetativo em relação aos genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca e cana-energia, ocorrendo aos 276 DAP para a RB92579 e 243 DAP para a RB951541. Iaia (2014) analisando o crescimento da cultivar RB92579 no Cerrado do Mato Grosso em função de lâminas de irrigação, estimou massa seca máxima semelhante ao desta pesquisa, com valor de 4.476,90 $g m^{-2}$ no tratamento sem irrigação.

Para os genótipos de cana-de-açúcar tolerantes a seca, foi observado superioridade em relação a cana-de-açúcar tradicional, tanto nas estimativas dos valores máximos de massa seca quanto no tempo de duração da fase de rápido crescimento. A RB0442 produziu 5.169,15 g

m⁻² de massa seca máxima da parte aérea, crescendo rapidamente até os 305 DAP, enquanto a RB0459 exibiu 5.279,92 g m⁻², reduzindo seu crescimento após 308 DAP.

Figura 2.8 – Massa seca da parte aérea (g m⁻²) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403).



Fonte: Autor (2020).

O maior acúmulo de biomassa seca foi constatado nos dois genótipos de cana-energia (RB11999 e RB13403). Nesse perfil de cana, em média, a massa seca máxima estimada dos dois genótipos foi maior que o dobro da média dos genótipos de cana-de-açúcar tradicionais. A RB11999 alcançou $8.775,60 \text{ g m}^{-2}$ e a RB13403 atingiu $8.225,97 \text{ g m}^{-2}$. Observou também que o crescimento vegetativo da cana-energia teve maior duração (superior a 12 meses), em relação aos genótipos dos demais perfis analisados. Provavelmente, isso ocorreu em função da manutenção de altos valores de índice de área foliar por todo ciclo (Figura 2.10), além das chuvas que ocorreram em dezembro de 2017 (Figura 2.4).

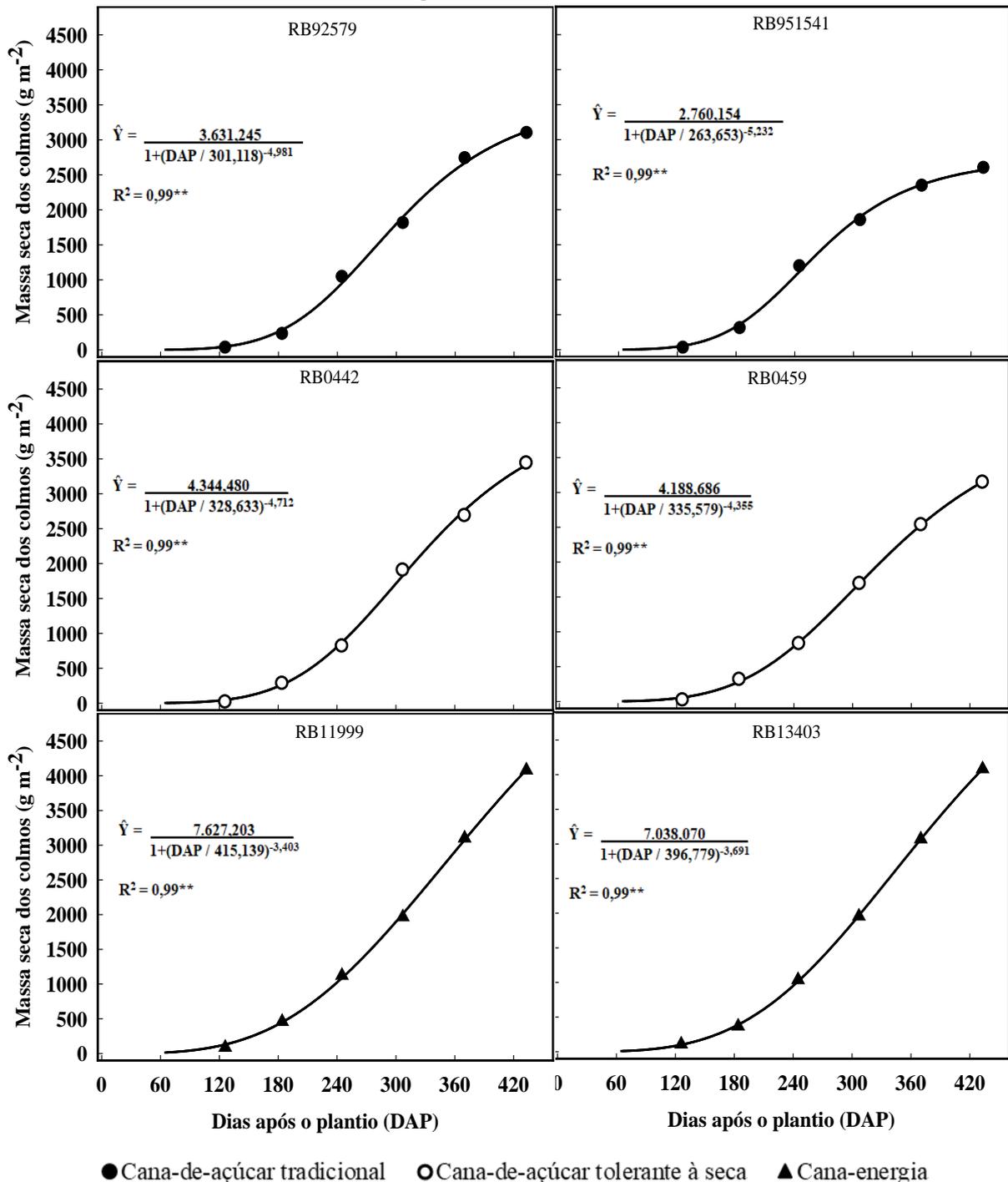
O crescimento de massa seca dos colmos seguiu a mesma tendência da variável massa seca da parte aérea, principalmente por ser o órgão de maior contribuição na biomassa total da planta (Figura 2.9). No entanto, observou-se que o modelo logístico estimou diferenças mais expressivas para essa variável. A massa seca máxima dos colmos obtida pelos genótipos RB92579 e RB951541 foi em média, a menor entre os três perfis de cana, com valores de $3.631,25$ e $2.760,15 \text{ g m}^{-2}$, respectivamente. Foi observado ainda, que a partir dos 301 DAP (RB92579) e 264 DAP (RB951541), o crescimento vegetativo dos genótipos de cana-de-açúcar tradicionais é reduzido, dando início a fase de maturação, em que maior parte da sacarose é acumulada nos colmos. Ressalta-se que a RB951541 é um material genético de ciclo precoce (DAROS et al., 2015), que explica o seu menor tempo de intenso crescimento vegetativo.

Os genótipos RB0442 e RB0459, com perfil de tolerância à seca, obtiveram estimativas de massa seca máxima dos colmos de $4.344,48$ e $4.188,69 \text{ g m}^{-2}$, respectivamente. Em média, esses genótipos superaram em 33,51% a média dos valores alcançados pelos genótipos de cana-de-açúcar tradicionais. Ambos genótipos tiveram crescimento vigoroso, com estimativa de intenso crescimento até os 329 DAP para a RB0442 e 336 DAP para RB0459 (Figura 2.9).

O perfil de cana de maior destaque para a variável massa seca dos colmos foi a cana-energia. Esse perfil estimou, em média, mais que o dobro da massa seca dos colmos da cana-de-açúcar tradicional, e 71,86% a mais que a média da cana-de-açúcar tolerante à seca. A RB11999 teve massa seca máxima dos colmos estimada em $7.627,20 \text{ g m}^{-2}$, enquanto a RB13403 foi de $7.038,07 \text{ g m}^{-2}$ (Figura 2.9). Esses altos valores de massa seca máxima dos colmos da cana-energia em cultivo de sequeiro, são semelhantes ao comportamento de genótipos de cana-de-açúcar cultivados em condições ótimas de disponibilidade hídrica. Oliveira et al. (2010) avaliando o crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de

cana-de-açúcar sob irrigação plena, estimou o valor máximo de massa seca do colmo variando de 5.833,00 g m⁻² na RB867515 a 10.540,00 g m⁻² na RB92579.

Figura 2.9 – Massa seca dos colmos (g m⁻²) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403).



Fonte: Autor (2020).

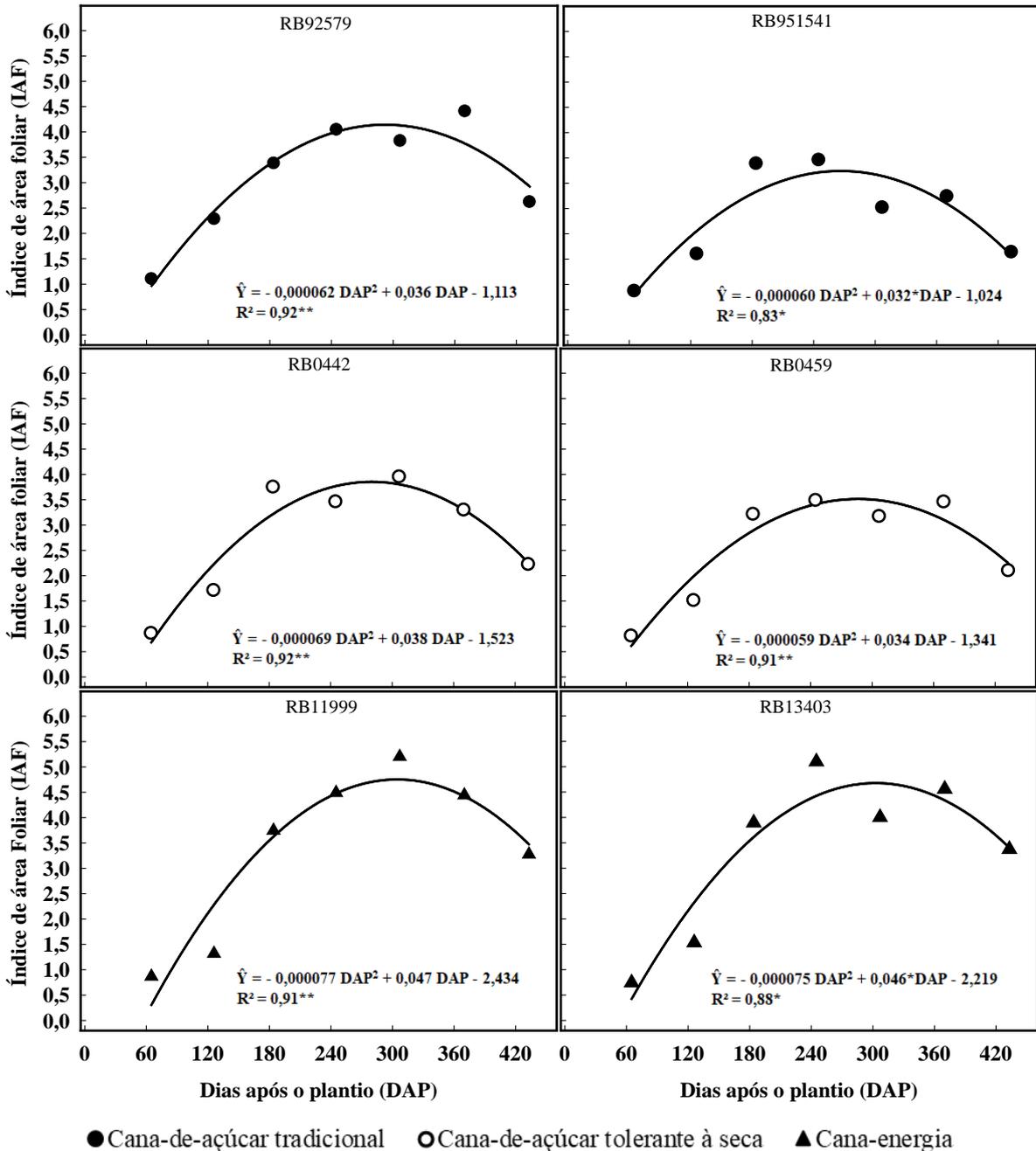
3.2.3 Índices morfofisiológicos

Observou-se comportamentos distintos dos perfis de cana em relação ao índice de área foliar (IAF). Tanto os genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca quanto os genótipos de cana-energia, revelaram ter a mesma dinâmica de IAF (Figura 2.10). Porém, não foi observado semelhança de comportamento de IAF ao longo do ciclo entre os genótipos de cana-de-açúcar tradicionais.

A RB92579 alcançou IAF máximo (4,15) aos 292 DAP, enquanto a RB951541 atingiu IAF máximo (3,24) aos 266 DAP. Essa antecipação ocorreu, possivelmente, porque a RB951541 tem ciclo precoce (DAROS et al., 2015) e conseqüentemente maior senescência das suas folhas em função do início da maturação dos colmos. Outro fator que as diferenciaram foi o menor número de perfilhos por metro da RB951541 em todas as épocas avaliadas (Figura 2.7b). Diversos autores têm avaliado o crescimento da RB92579 em algumas regiões do país, devido ao fato dessa cultivar ser uma das mais cultivadas no Brasil (DAROS et al., 2015), além da sua relevância para o melhoramento genético (DINIZ et al., 2018). No Cerrado brasileiro, Iaiá (2014), avaliando o crescimento dessa cultivar, estimou IAF máximo de 5,21 em cana-planta e 4,43 na cana-soca. Costa et al. (2011), analisando o crescimento de cultivares de cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro na Região da Zona da Mata de Alagoas, estimou IAF máximo de 4,5 para a RB92579, no ciclo de terceira soca. Nessa mesma região, Almeida et al. (2008) observaram valores do IAF superior a 3,0 para a variedade RB92579 tanto no ciclo de cana-planta quanto de cana-soca. Esses autores concluíram que a RB92579 tem atributos de crescimento e produção superiores às demais variedades avaliadas nos ensaios.

Os genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca apresentaram o mesmo padrão de crescimento, com valores de IAF muito próximos em todo ciclo, além de atingirem IAF máximo (RB0442 = 3,86 e RB0459 = 3,51) praticamente no mesmo período (RB0442 = 280 DAP e RB0459 = 286 DAP) (Figura 2.10). Durante a condução do ensaio, observou-se que esses materiais possuem folhas menos arqueadas que os demais genótipos avaliados, com ângulo mais favorável a interceptação de radiação solar, que conseqüentemente acarreta menor sombreamento das folhas. Essa característica pode ter favorecido a manutenção do IAF próximo de 4,0 entre 184 e 370 DAP, implicando em maior conversão de energia luminosa em energia química, e conseqüentemente maior produção de fotoassimilados. Conforme Machado et al. (1982), o IAF em torno de 4,0, seria ideal ou suficiente para interceptar cerca de 95% da radiação solar incidente.

Figura 2.10 – Índice de área foliar (IAF) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403).



Fonte: Autor (2020).

Na avaliação do comportamento do IAF dos genótipos de cana-energia, verificou-se que o IAF máximo foi atingido em torno de 300 DAP, que confirma o maior período de crescimento vegetativo desse perfil de cana. O IAF máximo da RB11999 (4,75) foi estimado

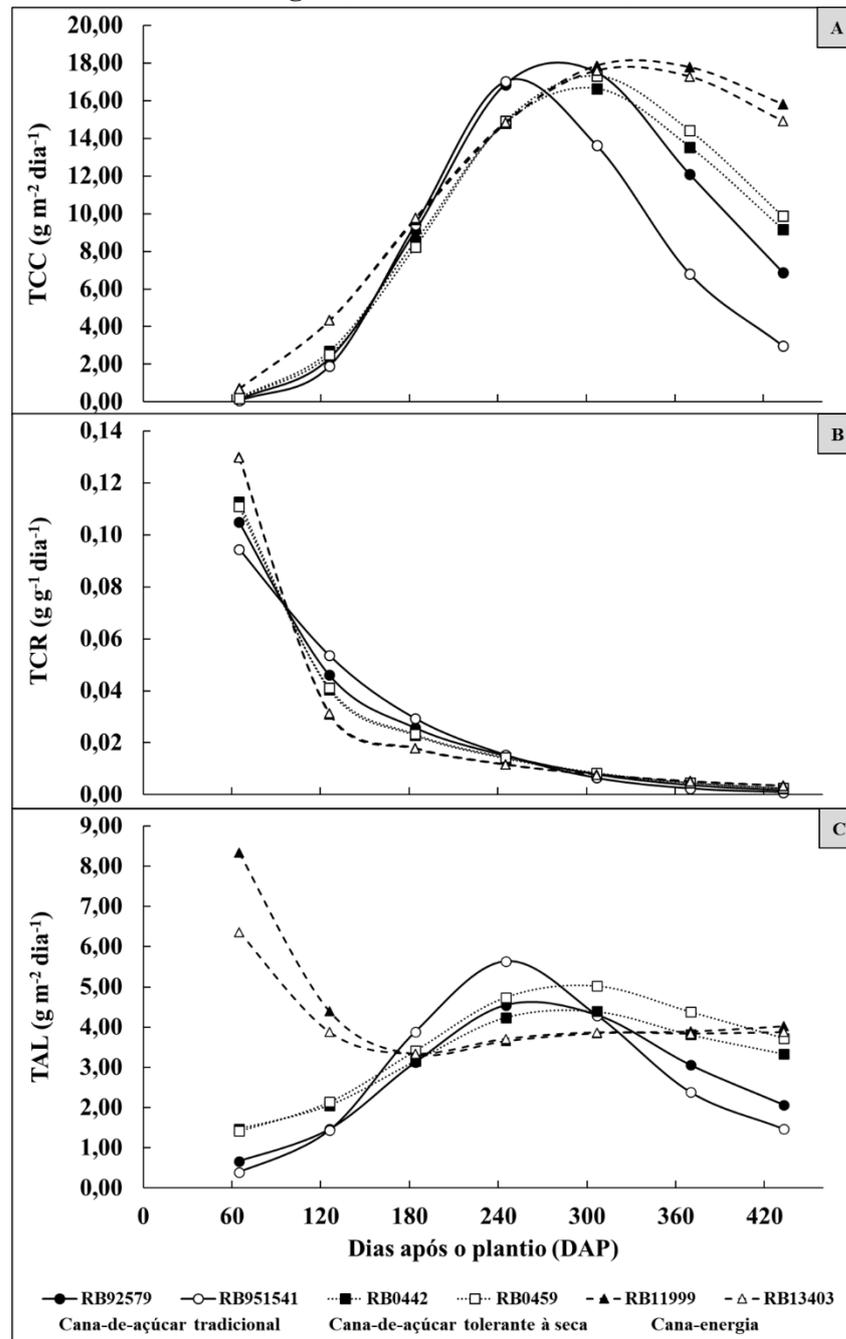
aos 305 DAP, enquanto a RB13403 (4,66) atingiu aos 303 DAP. Observou-se maiores valores de IAF desses genótipos a partir dos 245 DAP (Figura 2.10). Esse evento está atrelado ao aumento do número de colmos a partir dos 184 DAP (Figura 2.7b).

Os altos valores de IAF influenciaram o rendimento final de massa seca da parte aérea, que estão altamente correlacionados ($r = 0,89$), a 5% de probabilidade de erro. De acordo com Leme et al. (1984) o IAF é efetivo para avaliar a rendimento final dos genótipos de cana e os altos valores estimados durante o ciclo de desenvolvimento estão relacionados com o maior rendimento final de massa dos colmos. Oliveira et al. (2007), avaliando a área foliar de três cultivares de cana-de-açúcar no Estado do Paraná, afirmaram que a cultivar RB72454 obteve valores de IAF em torno de 4,0 durante a fase de intenso crescimento (279 a 377 DAP), mantendo esse índice até o final do ciclo (497 DAP), e que isso pode ter contribuído positivamente para o maior rendimento agrícola final da RB72454.

Os genótipos de cana-energia (RB11999 e RB13403) exibiram maiores taxas de crescimento da cultura (TCC), ocorrendo maior acúmulo de massa seca até os 184 DAP (Figura 2.11a). Isso ocorreu, em função do maior IAF, além do rápido crescimento e maior comprimento dos colmos dos genótipos de cana-energia nesse período, em relação aos demais perfis de cana. De acordo com Oliveira (2004), cultivares que apresentam rápido crescimento inicial, a TCC tende a ser maior do que as taxas obtidas pelos cultivares de desenvolvimento mais lento. Os genótipos de cana-de-açúcar tradicionais (RB92579 e RB951541) tiveram crescimento inicial mais lento entre os perfis de cana estudados. No entanto, na fase de intenso crescimento vegetativo, este perfil apresentou as maiores TCC. Os genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca (RB0442 e RB0459) apresentaram dinâmica de TCC intermediária em todas as fases de crescimento.

A maior TCC ocorreu aos 307 DAP para todos os genótipos avaliados nesta pesquisa, independentemente do perfil de cana, exceto a RB951541, que apresentou maior TCC aos 245 DAP (Figura 2.11a). Isso pode ser explicado, provavelmente pelo ciclo de maturação precoce desse genótipo. A RB11999 (cana-energia) apresentou a maior TCC ($17,78 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), enquanto a RB0442 (cana-de-açúcar tolerante à seca) apresentou a menor ($16,64 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Observa-se ainda, que os genótipos de cana-energia, mesmo após alcançarem TCC máximas, mantiveram alto acúmulo de massa seca até o final do ciclo (433 DAP). Isso ocorreu devido aos valores ideais de IAF até o final do ciclo (Figura 2.10), aumento do diâmetro (Figura 2.7a) e do número de colmos (Figura 2.7b).

Figura 2.11 – A) Taxa de crescimento da cultura (TCC, $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), B) Taxa de crescimento relativo (TCR, $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$) e C) Taxa de assimilação líquida (TAL, $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403).



Fonte: Autor (2020).

Verificou-se que os três perfis de cana avaliados nesse estudo, apresentaram distintas taxas de crescimento relativo (TCR) na fase inicial de desenvolvimento, do plantio aos 184

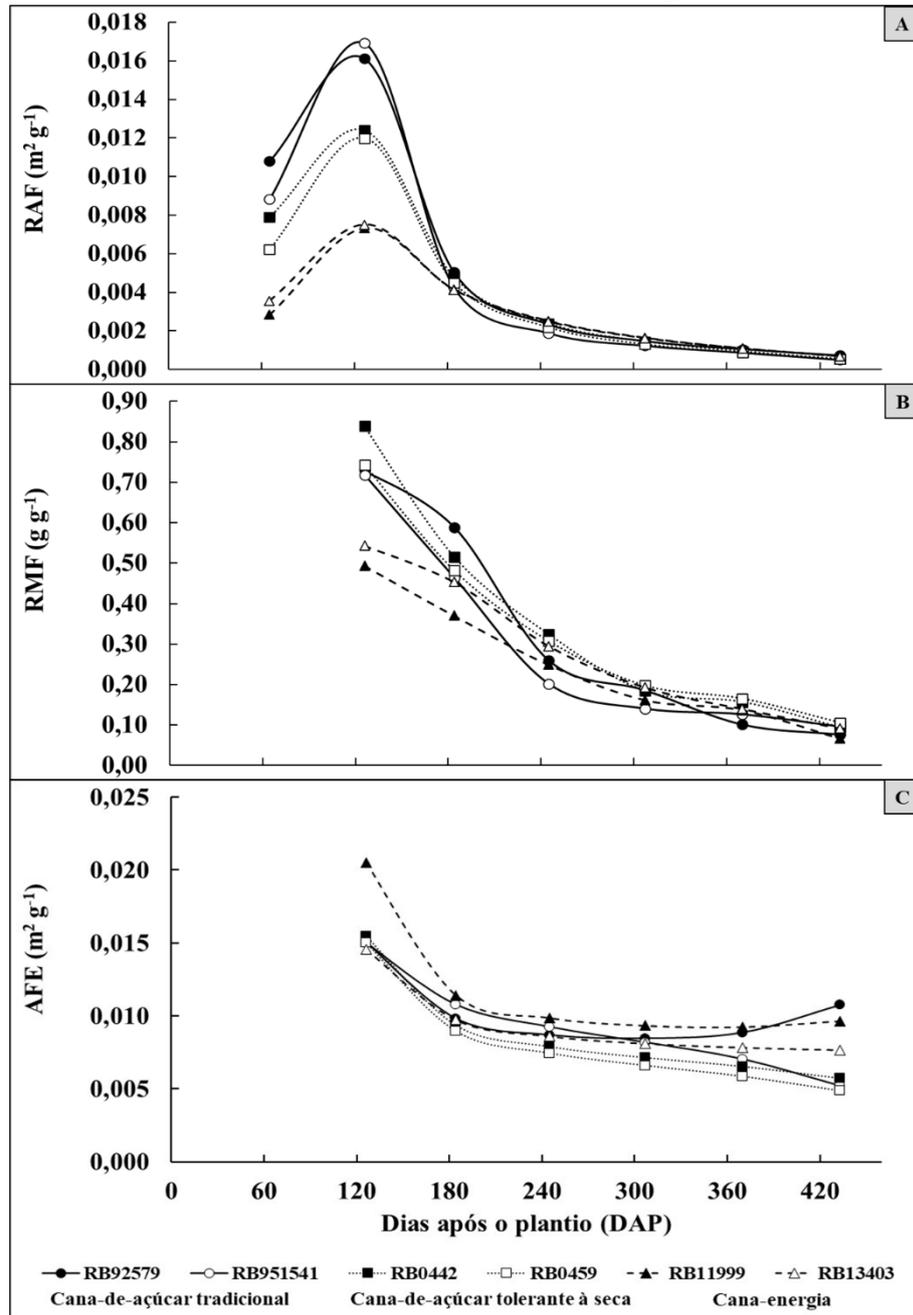
DAP (Figura 2.11b). Após esse período, todos os perfis de cana apresentaram a mesma tendência de TCR, diminuindo gradualmente até o final do ciclo (433 DAP). De acordo com Benincasa (2003), ocorre diminuição nos valores da TCR no decorrer do ciclo da planta, principalmente devido ao autossombreamento das folhas.

As maiores TCR ocorreram aos 65 DAP para todos os genótipos, independentemente do perfil à qual pertencem. Observou-se que os genótipos de cana-energia tiveram as maiores TCR, a RB11999 acumulou $0,1301 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e a RB13403 cresceu $0,1297 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 2.11b). Nesse período, os genótipos de cana-de-açúcar tradicionais apresentaram as menores TCR, provavelmente pelo fato de estarem com maior número de perfilhos e maior IAF na fase inicial de desenvolvimento, que pode ter ocasionado maior autossombreamento. A RB92579 apresentou TCR de $0,1048 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e a RB951541 acumulou $0,0945 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Em relação a cana-de-açúcar tolerante à seca, observou-se que ao longo do ciclo, as TCR foram as que tiveram menor oscilação entre genótipos de um mesmo perfil, caracterizando-a como a mais homogênea entre os perfis de cana avaliados, ou seja, ambos genótipos (RB0442 e RB0459) exibiram valores de TCR bem semelhantes em todas as avaliações (Figura 2.11b).

Verificou-se que cada perfil de cana alcançou taxas de assimilação líquida (TAL) máxima em diferentes épocas, revelando diferenças no padrão de crescimento de acordo com o perfil de cana (Figura 2.11c). Aos 65 DAP, os genótipos de cana-energia alcançaram TAL máxima, além disso, exibiram os maiores valores entre os perfis estudados. A RB13403 apresentou o maior valor, $8,34 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, seguido da RB11999, com $6,36 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Os genótipos de cana-de-açúcar tradicionais obtiveram maiores valores estimados de fotossíntese líquida aos 245 DAP, com valores de $5,64 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para a RB951541 e $4,55 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para a RB92579. De outra parte, constatou-se que os genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca, alcançaram maiores taxas de eficiência fotossintética aos 307 DAP, com a RB0459 e RB0442 apresentando TAL de $5,02 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $4,39 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (Figura 2.11c).

Para a razão de área foliar (RAF), verificou-se, durante a fase inicial de crescimento (65 a 126 DAP), diferenças entre os perfis de cana, porém com mesma dinâmica de crescimento (Figura 2.12a). A maior RAF foi alcançada por todos os perfis aos 126 DAP. Os maiores valores foram observados nos genótipos de cana-de-açúcar tradicionais (média de $0,0165 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), em contrapartida, os menores foram adquiridos pelos genótipos de cana-energia (média de $0,074 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$). A partir dos 184 DAP até o final do ciclo, os valores de RAF foram semelhantes para todos os genótipos.

Figura 2.12 – A) Razão de área foliar (RAF, em $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$), B) Razão de massa foliar (RMF, em g g^{-1}) e C) Área foliar específica (AFE, em $\text{m}^2 \text{dia}^{-1}$) de diferentes perfis de cana, em ciclo de cana-planta, na Região de Rio Largo, AL, Brasil, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2018. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403).



Fonte: Autor (2020).

Visto que a (RAF) é quociente entre a área foliar e a massa seca total da planta (MSPA), representando a área foliar disponível para a realização da fotossíntese (BENINCASA, 2003), observou-se que a maior RAF dos genótipos de cana-de-açúcar

tradicionais foi em função do maior índice de área foliar (IAF) e menor MSPA desse perfil de cana durante a fase inicial de crescimento. Da mesma forma, a menor RAF da cana-energia foi devido ao menor IAF e maior MSPA neste mesmo período. Nessa fase, os genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca exibiram comportamento intermediário aos outros dois perfis de cana (Figura 2.12a).

Observou-se que em termos de partição de biomassa, representado pelo índice razão de massa foliar (RMF), houve diferenças durante a fase inicial de crescimento (entre 126 e 184 DAP). Nesse período, detectou-se maiores acúmulos de massa seca nas folhas em relação a massa seca total acumulada na planta, nos genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca, com média de $0,7910 \text{ g g}^{-1}$ aos 126 DAP (Figura 2.12b). Os genótipos de cana-de-açúcar tradicionais tiveram maior RMF aos 184 DAP, com média de $0,5269 \text{ g g}^{-1}$. Os menores valores de RMF, observados nos genótipos de cana-energia durante a fase inicial de crescimento, pode ser explicado pela velocidade de crescimento desses materiais, que aos 126 DAP, já tinham emitido colmos, ou seja, ocorreu translocação dos fotoassimilados produzidos nas folhas para os colmos. Após essa fase, observou-se comportamento de RMF semelhante para todos os perfis, porém, a cana-de-açúcar tolerante à seca foi o que apresentou maior estabilidade entre genótipos de um mesmo perfil (Figura 2.12b).

Verificou-se que não foi possível caracterizar os perfis de cana em relação a dinâmica da área foliar específica (AFE) ao longo do ciclo de cultivo. Observou-se que o genótipo de cana-energia RB11999 apresentou a maior AFE aos 65 DAP, com valor de $0,0205 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, enquanto os demais genótipos, independentemente do perfil, apresentaram valores semelhantes (Figura 2.12c). Isso permite afirmar, que a RB11999 apresentou folhas com menor espessura durante esse período, que coincide com o período de déficit hídrico observado no ciclo. Essa característica, é prejudicial para plantas sob estresse hídrico, pois a maior espessura das folhas, pode auxiliar na conservação de água nos tecidos foliares (TRUJILLO et al., 2013). Por outro lado, os menores valores de AFE dos genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca, confirmam que este perfil de cana apresenta essa estratégia de aclimatação ao estresse hídrico (Figura 2.12c).

De modo geral, após análise dos principais índices morfofisiológicos, detectou-se que entre todos os perfis de cana avaliados, os genótipos de cana-energia, embora tenham apresentado desempenho superior para a maioria das variáveis analisadas, foram os que tiveram o crescimento mais prejudicado pelo déficit hídrico. Esse estresse ambiental ocorreu moderadamente a partir de 20 DAP (terceiro decêndio de novembro de 2016) e se intensificou progressivamente até os 150 DAP (terceiro decêndio de março de 2017), totalizando 475 mm

de déficit (Figura 2.5). O efeito prejudicial desse período de seca pode ser justificado pelas grandes reduções de TCR (Figura 2.11b) e TAL (Figura 2.11c) da cana-energia no decorrer do aumento do déficit hídrico, além de maior AFE (Figura 2.12c). Após esse período, os valores de TAL mantiveram-se praticamente constantes, provavelmente devido à alta capacidade fotossintética desse perfil de cana, que resultou em maior massa seca final (Figura 2.8). Conforme Alexander (1973), o estresse hídrico ocasiona uma severa redução na síntese de carboidratos e expansão foliar, no entanto, quando o fornecimento de água é restabelecido, a cana retoma imediatamente o crescimento em ritmo constante. Verificou-se também, que tanto os genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca quanto os genótipos de cana-de-açúcar tradicionais, tiveram em média, valores crescentes de TAL (Figura 2.11c) e menores valores de AFE (Figura 2.12c) durante o período de estresse. No entanto, os genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca apresentaram desempenho quantitativo (fotossíntese líquida estimada) superior em relação aos genótipos de cana-de-açúcar tradicionais.

4 CONCLUSÕES

- Cana-de-açúcar tradicional, cana-de-açúcar tolerante à seca e cana-energia têm diferentes padrões de crescimento;
- A cana-energia tem crescimento vegetativo mais intenso e prolongado do que a cana-de-açúcar tradicional e a cana-de-açúcar tolerante à seca;
- A cana-energia acumula mais massa seca em relação aos demais perfis durante os 441 dias de cultivo do ciclo de cana-planta;
- A cana-energia tem valores de IAF superiores aos da cana-de-açúcar tradicional e da cana-de-açúcar tolerante à seca durante todo o ciclo;
- No final do ciclo, a cana-energia tem maior perfilhamento, com 29,28% e 25,85% mais perfilhos m^{-1} do que a cana-de-açúcar tradicional e a cana-de-açúcar tolerante à seca, respectivamente;
- A taxa de assimilação líquida (TAL) máxima foi alcançada em diferentes épocas de acordo com o perfil de cana;
- No período de seca, a cana-energia é o perfil que tem o crescimento mais prejudicado, com grandes reduções da taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), além de maior área foliar específica (AFE);
- A cana-de-açúcar tolerante à seca é o perfil com maior taxa de assimilação líquida (TAL) em condições de estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. L. et al. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 3, p.262-270, 2013.
- ALEXANDER, A. G. **Sugarcane Physiology: a Comprehensive Study of the Saccharum Source-to-sink System**. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752 p.
- ALMEIDA, A. C. S. et al. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1441-1448, 2008.
- BARNES, A. C. **The sugar cane**. 2. ed. London: Leonar Hill Books, 1974. 572 p.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- CARVALHO, C. P. O. **Análise da reestruturação produtiva da agroindústria sucroalcooleira alagoana**. Maceió: EDUFAL, 2000. 74 p.
- CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.
- CASTRO, P. R. C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: Simpósio Internacional de Fisiologia da Cana-de-açúcar, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000, p.1-9.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Cana-de-açúcar**. Primeiro levantamento Safra 2019/2020. Brasília: CONAB, Maio 2019. 58 p.
- COSTA, C. T. S. et al. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n.3, p. 56-63, 2011.
- DAROS, E. et al. **45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 25 anos de RIDESA**. 1. ed. Curitiba: Graciosa, 2015. 156 p.
- DINIZ, C. A. et al. Production and performance of sugarcane seeds (caryopses) from different hybridizations involving RB92579. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v.90, p. 3243-3248, 2018.

- GAVA, G. J. C. et al. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.
- HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, p. 32-34, 1999.
- IAIA, A. M. **Irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar no cerrado de Mato Grosso**. 2014. 128 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2014.
- LEME, E. J. A.; MANIERO, M. A.; GUIDOLIN, J. C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. **Cadernos Planalsucar**, Piracicaba, n.2, p.3-22, 1984.
- MACHADO, E. C. et al. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.
- MARAFON, A. C. **Análise Quantitativa de Crescimento em Cana-de-Açúcar**: uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. (Documentos, 168).
- MATSUOKA, S. et al. Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects. **Advances in Botany**, v. 2014, p. 1-13, 2014.
- OLIVEIRA, E. C. A. et al. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.14, n.9, p. 951–960, 2010.
- OLIVEIRA, R. A. et al. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.2, p. 71-76, 2007.
- OLIVEIRA, R. A. et al. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado do Paraná: taxas de crescimento. **Scientia Agraria**, v. 5, n. 1-2, p. 87-94, 2004.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia** (Fundamentos e aplicações práticas). Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária. 2002. 478p.
- PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. IAC, 33p., (boletim técnico, 114), 1987.

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

SINDAÇÚCAR. SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS. Maceió. Disponível em: <<http://www.sindicucar-al.com.br/dados-estatisticos>>. Acessado em 05 de dezembro de 2018.

SOUZA, J. L. et al. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, p.131-141, 2004.

TAVARES, O. C. H.; ZONTA, E. L. E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 61-68, 2010.

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

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p.

TRUJILLO I.; RIVAS, M.; CASTRILLO M. Leaf recovery responses during rehydration after water deficit in two bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Journal of Plant Interactions**, v. 8, n. 4, p. 360-369, 2013.

VAN DILLEWINJ, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, v.1, 1952. 196 p.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v.100, n.3, p. 665-671, 2008.

CAPÍTULO III

RENDIMENTOS AGROINDUSTRIAIS DE DIFERENTES PERFIS DE CANA, EM DOIS CICLOS DE CULTIVO, NA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os rendimentos agroindustriais de genótipos de cana com diferentes perfis agronômicos, em dois ciclos de cultivo em Alagoas, Nordeste do Brasil. Para tal, foi instalado um experimento, no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas. Nesse experimento foram avaliados, em dois ciclos de produção (cana-planta e cana-soca), seis genótipos de cana, classificados 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). O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados no esquema de parcela subdividida no tempo, com seis genótipos, dois cortes e quatro repetições. As variáveis analisadas foram: teor de sólidos solúveis totais (BRIX), teor de sacarose aparente (POL), quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR), pureza do caldo (PZA), teor de sólidos insolúveis em água (FIBRA), toneladas de cana por hectare (TCH), toneladas de ATR por hectare (TATR) e toneladas de fibra por hectare (TFH). Os dados foram submetidos a análise de variância. Utilizou-se o teste de Scheffé para comparar os contrastes das médias dos perfis de cana, no nível de 5% de probabilidade de erro. De acordo com as análises, conclui-se que: a cana-de-açúcar tradicional tem baixo rendimento agrícola (TCH), altos teores de açúcar (BRIX, POL e ATR), alta pureza do caldo e baixo teor de fibra; a cana-energia tem alto rendimento agrícola (TCH), baixos teores de açúcar (BRIX, POL e ATR), baixa pureza do caldo e alto teor de fibra e; a cana-de-açúcar tolerante à seca tem alto rendimento agrícola (TCH), medianos teores de açúcar (BRIX, POL e ATR), mediana pureza do caldo e mediano teor de fibra. Os diferentes perfis de cana apresentam rendimento de açúcar (TATR) semelhantes. Recomenda-se o cultivo da RB0442 (cana-de-açúcar tolerante à seca) para os ambientes do Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Cana-de-açúcar tolerante à seca. Cana-energia. Melhoramento genético.

AGROINDUSTRIAL YIELDS OF DIFFERENT CANE PROFILES IN TWO CROP CYCLES IN THE NORTHEAST OF BRAZIL

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the agroindustrial yields of cane genotypes with different agronomic profiles in two crop cycles in Alagoas, Northeast of Brazil. For that, an experiment was installed in the experiment, at the Engineering and Agrarian Sciences Campus from the Federal University of Alagoas, Rio Largo, Alagoas. In this experiment were evaluated in two crop cycles (plant cane and first ratoon), six genotypes cane, 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). A split plot scheme with a randomized complete block design comprising six genotypes, two cuts and four replicates. The variables analyzed were: total soluble solids content, apparent sucrose content, quantity of total recoverable sugars, water insoluble solids content, tons of cane per hectare, tons of ATR per hectare and tons of fiber per hectare. Data were submitted to analysis of variance. The Scheffé test was used to compare the means contrasts of the cane profiles at the level of 5% error probability. According to the analyzes, it is concluded that: the traditional sugarcane has low agricultural yield (TCH), high sugar contents (BRIX, POL and ATR), high purity of the juice and low fiber content; energy cane has high agricultural yield (TCH), low sugar content (BRIX, POL and ATR), low juice purity and high fiber content; drought tolerant sugarcane has high agricultural yield (TCH), medium sugar levels (BRIX, POL and ATR), medium juice purity and medium fiber content. The different cane profiles have similar sugar yields (TATR). It is recommended the cultivation of RB0442 (drought tolerant sugarcane) to the Northeast of Brazil environments.

Keywords: *Saccharum* spp. Drought tolerant sugarcane. Energy cane. Genetic improvement.

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar se destaca no cenário mundial por ser fonte de diversos produtos, principalmente o açúcar, etanol e eletricidade. É cultivada em cerca de 130 países, sendo o Brasil o maior produtor dessa matéria-prima, com moagem de 620,44 milhões de toneladas de cana na safra 2018/2019 (CONAB, 2019). O Brasil destaca-se também, por ser o maior exportador de açúcar e etanol. No que se refere a contribuição energética, a biomassa da cana-de-açúcar, por meio de produtos derivados como o etanol e a eletricidade, representa

atualmente a segunda mais importante fonte primária na matriz energética brasileira e é o principal componente das energias renováveis (EPE / MME, 2019). Em Alagoas, a biomassa da cana é a principal fonte primária de energia, contribuindo com 51,4% na matriz energética do Estado em 2014 (BEAL, 2015).

Apesar da grande importância socioeconômica da cana-de-açúcar no Estado de Alagoas, o setor sucroenergético, na última década, vem atravessando grave crise financeira, com reduções de área de cultivo, quedas de produção e produtividade, culminando no fechamento de unidades industriais. Dentre as principais causas dessa crise, pode-se elencar a falta do emprego de práticas agronômicas, investimentos em renovação do canavial, e principalmente a ocorrência de severas secas na Região da Zona da Mata de Alagoas (TEODORO et al, 2017; BARBOSA, 2018). Esses fatores negativos têm despertado a necessidade de buscar alternativas economicamente viáveis, para não ter solução de continuidade desse setor sucroenergético, como agronegócio sustentável.

A adoção de novas variedades de cana, com perfis distintos das atuais cultivadas é o principal insumo capaz de viabilizar o cultivo da cana-de-açúcar na Região Nordeste do Brasil. Nesse cenário, é importante avaliar o comportamento de variedades de cana-de-açúcar com características de maior rusticidade, elevada longevidade e principalmente tolerância à seca. Além desse perfil, outro tipo de cana que carece de estudos de viabilidade de cultivo é a cana-energia, visto que por ter maior teor de fibra e alta produção de biomassa, se apresenta como uma cultura energética promissora, capaz de fomentar um novo mercado por meio da produção do etanol de segunda geração, que pode ser produzido a partir da biomassa lignocelulósica vegetal (RAGAUSKAS et al., 2006). Dessa forma, novas indústrias podem surgir para fomentar o setor sucroenergético alagoano, como as biorrefinarias, a exemplo da GranBio, que em 2012, foi criada em Alagoas, sendo a primeira biorrefinaria do Hemisfério Sul, com foco na produção de etanol de segunda geração.

Portanto, a realização de pesquisas que envolvam o desempenho agronômico de genótipos com distintos perfis (cana-de-açúcar tradicional, cana-de-açúcar tolerante à seca e cana-energia) é de suma importância para a cultivo da cana na Região Nordeste do Brasil, principalmente para viabilizar o cultivo nos ambientes restritivos, sobretudo em áreas sujeitas a deficiência hídrica. Logo, o objetivo desse trabalho foi avaliar os rendimentos agroindustriais de genótipos de cana com diferentes perfis agronômicos, em dois ciclos de cultivo em Alagoas, Nordeste do Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do ambiente experimental

O experimento foi conduzido no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), 09°28'02"S; 35°49'43"W, 127 m, localizado no município de Rio Largo, Alagoas. O clima da região é caracterizado, pela classificação de Thornthwaite e Mather (1955), como úmido, megatérmico quente, com deficiência de água moderada no verão e grande excesso no inverno. O solo do local é classificado como Latossolo Amarelo Coeso Argissólico de textura médio-argilosa. De acordo com Teodoro et al. (2017), a precipitação pluvial média anual dessa região é 1.688 mm. Foram realizadas análises química e física do solo da área experimental e os resultados estão apresentados nas Tabelas 3.1 e 3.2, respectivamente.

Tabela 3.1 – Resultados da análise química do solo da área experimental, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.

Variáveis	Camada (cm)		Variáveis	Camada (cm)	
	0 - 20	20 - 40		0 - 20	20 - 40
pH em água	5,4	5,0	CTC efetiva - t (mmol _c dm ⁻³)	32,6	19,5
Na (mg dm ⁻³)	17,0	13,0	CTC a pH 7,0 - T (mmol _c dm ⁻³)	76,5	62,1
P (mg dm ⁻³)	3,0	2,0	V – Saturação por bases (%)	41,2	17,8
K (mg dm ⁻³)	29,0	20,0	m – Saturação por alumínio (%)	3,4	43,1
Ca + Mg (mmol _c dm ⁻³)	30,0	10,0	M. O. (g kg ⁻¹)	20,4	13,0
Ca (mmol _c dm ⁻³)	21,0	7,0	Fe (mg dm ⁻³)	310,7	485,9
Mg (mmol _c dm ⁻³)	9,0	3,0	Cu (mg dm ⁻³)	0,7	0,3
Al (mmol _c dm ⁻³)	11,0	84,0	Zn (mg dm ⁻³)	13,5	19,5
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	45,0	51,0	Mn (mg dm ⁻³)	7,7	3,0
S - Soma de bases (mmol _c dm ⁻³)	31,5	11,1			

Fonte: Autor (2020).

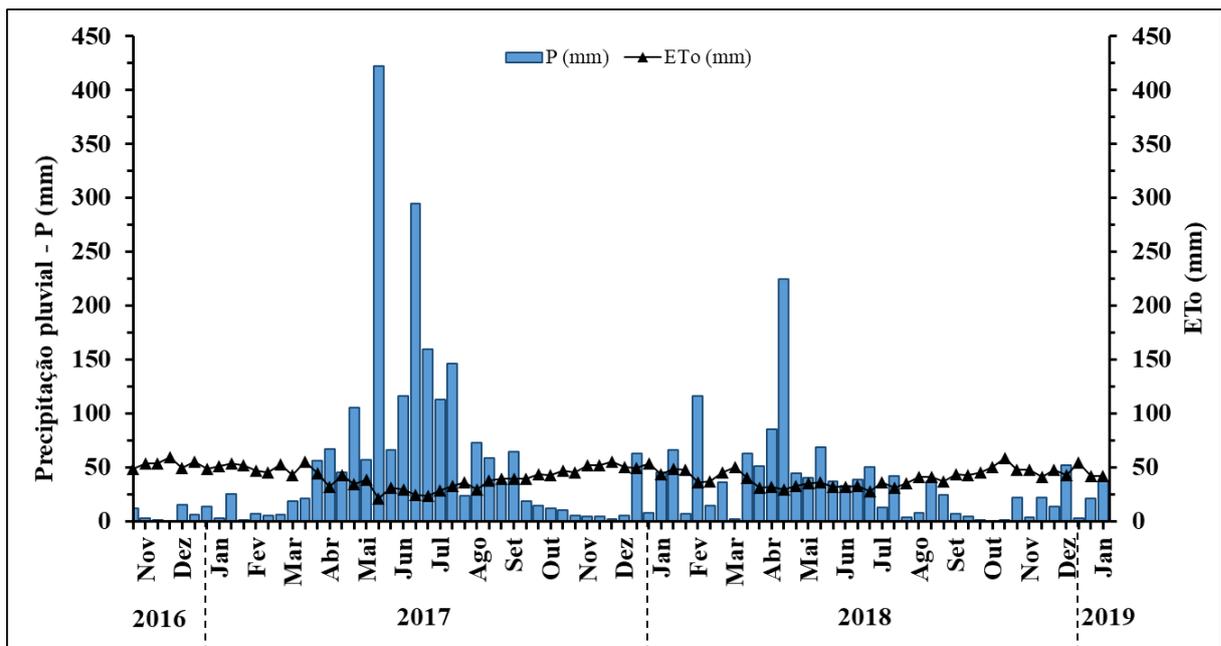
Tabela 3.2 – Resultados da análise física do solo da área experimental, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.

Variáveis	Camada (cm)	
	0 – 20	20 - 40
Areia (%)	59,4	53,3
Silte (%)	24,1	30,2
Argila (%)	16,6	16,6
Classe Textural	Franco Arenoso	Franco Arenoso

Fonte: Autor (2020).

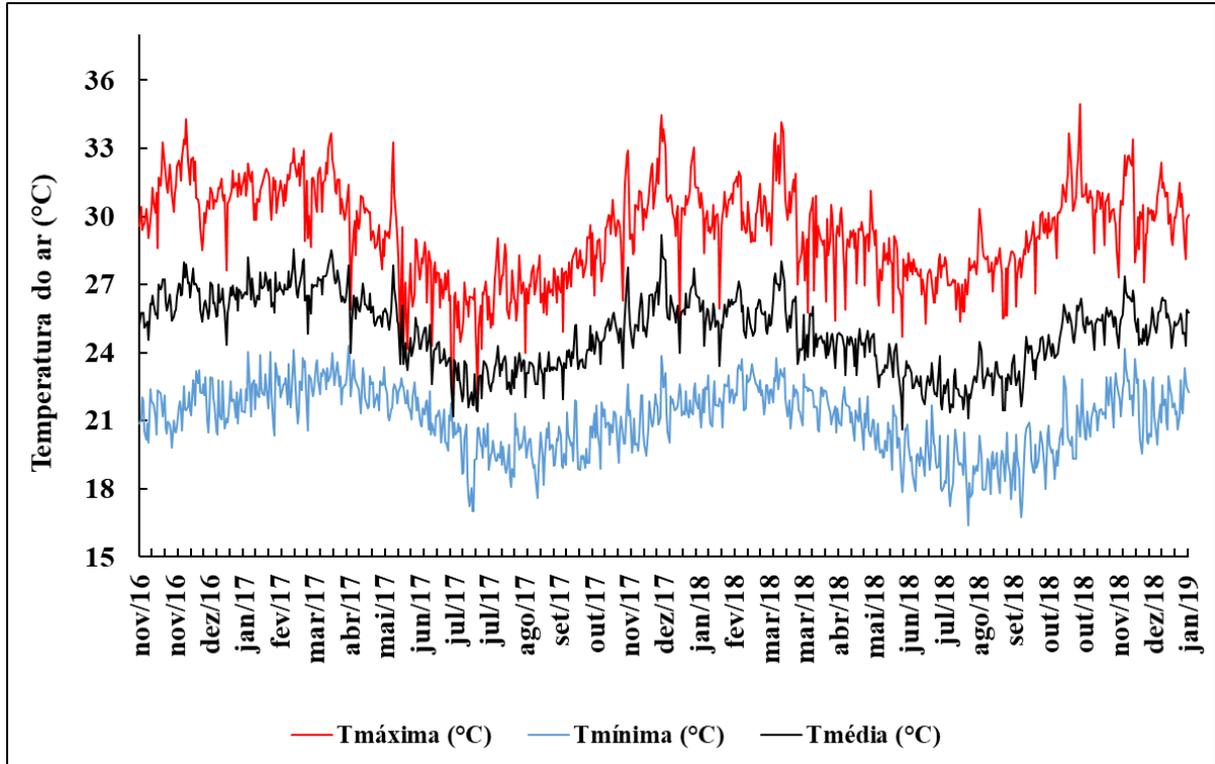
Durante os dois ciclos da cultura, foram registradas as variáveis meteorológicas: precipitação pluvial (mm) (Figura 3.1), temperatura máxima do ar (°C), temperatura média do ar (°C) e temperatura mínima do ar (°C) (Figura 3.2), fornecidas por uma estação meteorológica automática de aquisição de dados Micrologger, CR10X (Campbell Scientific, Logan, Utah) instalada a 500 m do experimento. O balanço hídrico (Figura 3.3) foi calculado conforme metodologia de Thornthwaite e Mather (PEREIRA et al., 2002).

Figura 3.1 – Médias decendiais de precipitação pluvial (P) e evapotranspiração de referência (ETo), na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019.



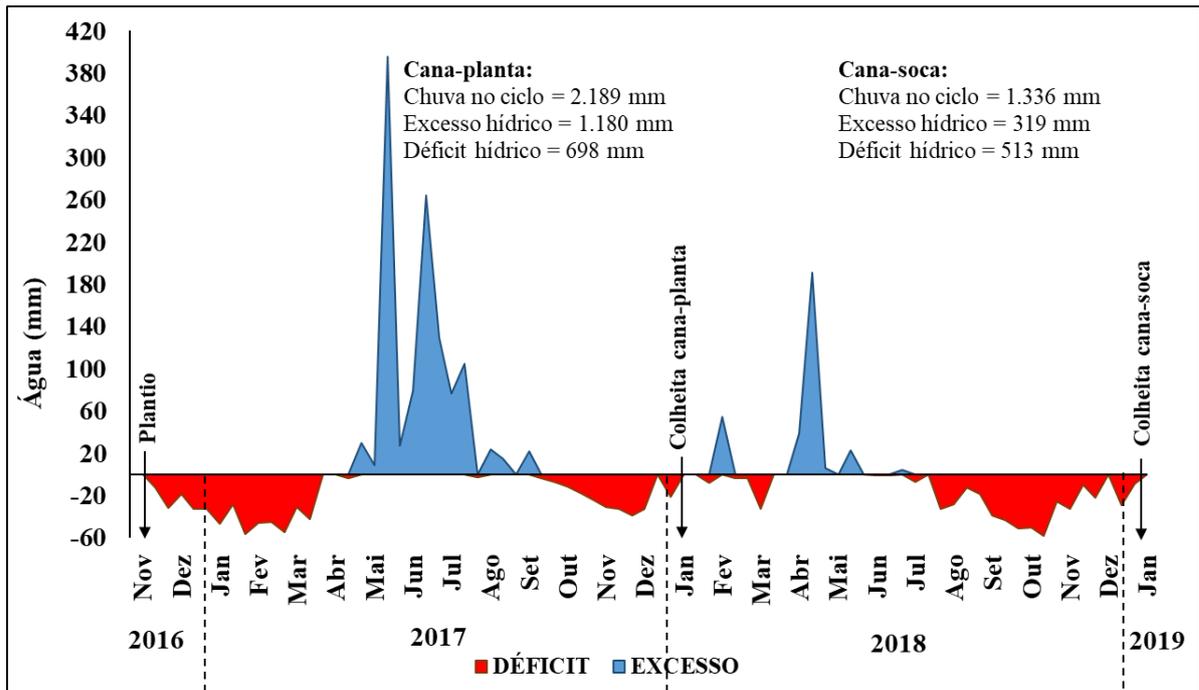
Fonte: Autor (2020).

Figura 3.2 – Temperaturas do ar, mínima, média e máxima diárias, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019.



Fonte: Autor (2020).

Figura 3.3 – Balanço hídrico decendial da cultura da cana-de-açúcar, em ciclo de cana-plantada, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019.



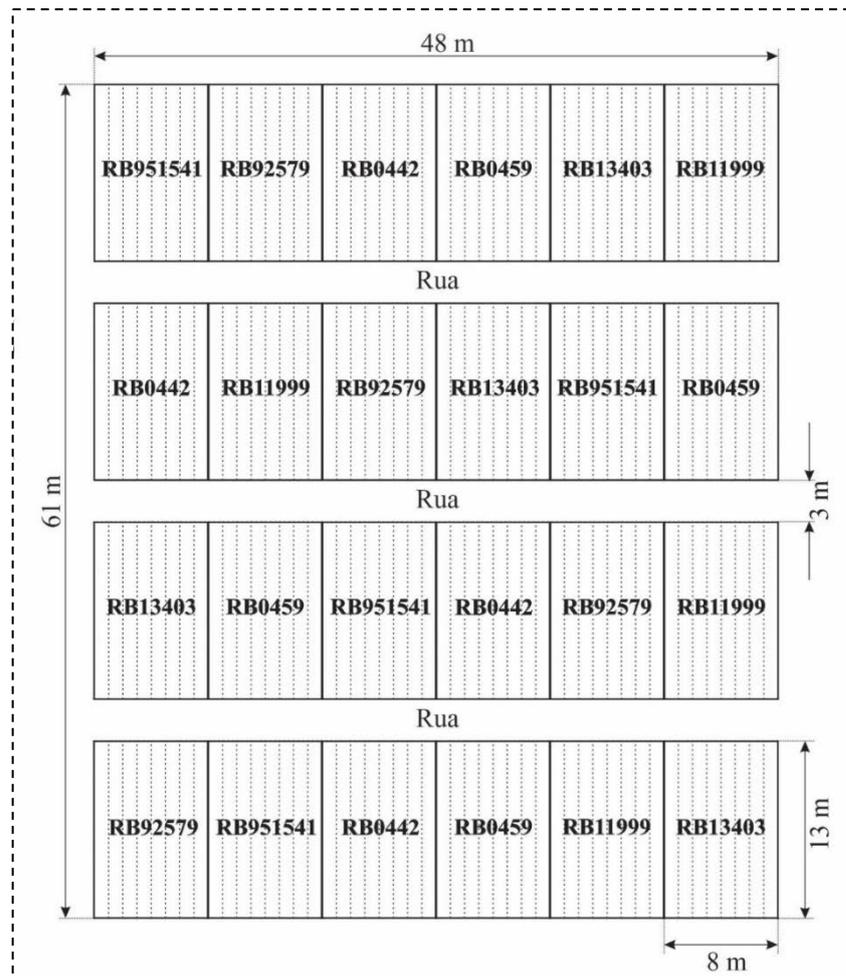
Fonte: Autor (2020).

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram representados por seis genótipos de cana: i) RB92579; ii) RB951541; iii) RB0442; iv) RB0459; v) RB11999; vi) RB13403, os quais foram classificados 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); III - Genótipos de cana-energia (RB11999 e RB13403).

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados no esquema de parcela subdividida no tempo, com seis genótipos, dois cortes (cana-planta e cana-soca) e quatro repetições. As parcelas foram representadas pelos genótipos, constituídas por oito linhas de 13,0 m de comprimento, espaçadas de 1,0 m entre sulcos, perfazendo uma unidade experimental de 104 m². Os cortes representaram as subparcelas. Na Figura 3.4 consta o croqui do experimento.

Figura 3.4 – Croqui do experimento.



Fonte: Autor (2020).

2.3 Práticas culturais e condução do experimento

2.3.1 Cana-planta

O ciclo de cana-planta ocorreu no período de 01 de novembro de 2016 (plantio) a 16 de janeiro de 2018 (colheita), totalizando 441 dias. O preparo do solo consistiu em gradagem pesada para destruição dos restos vegetais e torrões, subsolagem, mais uma gradagem para nivelamento do terreno, seguida da abertura dos sulcos. De acordo com a análise de solo, foi realizada a calagem, aplicando-se $3,5 \text{ t ha}^{-1}$ do calcário mix (70% calcário dolomítico + 30% gesso), com a seguinte composição: 28% CaO, 16% MgO e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 70%. A aplicação do calcário ocorreu 30 dias antes do plantio, em área total, seguida de incorporação com grade aradora.

A adubação foi realizada de acordo com a análise química de solo (Tabela 3.1). Para melhor aproveitamento dos nutrientes, a adubação foi realizada em duas etapas, a primeira no fundo do sulco, no momento do plantio, quando foram colocados 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; a segunda (adubação de cobertura), foi realizada aos 150 dias após o plantio (DAP), com 20 kg ha^{-1} de N, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e 50 kg ha^{-1} de K_2O .

No plantio, houve a necessidade da aplicação de uma lâmina de irrigação de 60 mm de água para garantir a brotação. Essa prática cultural foi necessária, devido à grande seca ocorrida em todo Estado de Alagoas em 2016. O plantio foi realizado manualmente, no qual os colmos foram repartidos em rebolos contendo 3 gemas, sendo distribuídos dentro dos sulcos, de modo que atingisse 15 gemas por metro linear. No momento da distribuição dos rebolos foi aplicado 200 g ha^{-1} do inseticida Fipronil nos sulcos de plantio para combater pragas como diversas espécies de cupins. Para o controle de plantas daninhas, aplicaram-se os herbicidas 2,4-D e Tebuthiuron, ambos na dose de $2,0 \text{ L ha}^{-1}$. Também foram feitas capinas manuais, na medida que foi diagnosticado a sua necessidade.

2.3.1 Cana-soca

O ciclo de cana-soca ocorreu durante o período de 16 de janeiro de 2018 a 24 de janeiro de 2019 (colheita), totalizando 373 dias. A adubação foi realizada na primeira semana após o corte da cana-planta, utilizando-se 90 kg ha^{-1} de N, 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 140 kg ha^{-1} de K_2O . Quando necessário, controlaram-se as plantas daninhas por meio de capinas manuais.

2.4 Variáveis de produção

2.4.1 Qualidade da matéria-prima

Na ocasião da colheita, foram enviadas amostras das parcelas contendo 10 colmos (1 feixe de cana de cada parcela) para análise da qualidade da matéria-prima no Laboratório de análises industriais da Usina Santo Antônio, localizada em São Luiz do Quitunde, Alagoas. As variáveis analisadas foram: teor de sólidos solúveis em água - brix % caldo (BRIX), teor de sacarose aparente - pol % caldo (POL), pureza do caldo - % (PZA) e quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR), conforme os métodos descritos por Sindaçúcar-AL (2018). As análises do teor de sólidos insolúveis em água - fibra % cana (FIBRA) foram realizadas no Laboratório de Fisiologia Vegetal do CECA/UFAL, adotando-se o método de Tanimoto (1964).

2.4.2 Rendimentos agroindustriais

a) Rendimento agrícola (TCH)

Para a determinação do rendimento agrícola (TCH - tonelada de cana por hectare), pesou-se no momento da colheita, os colmos das linhas 1, 2, 3 e 4 da parcela experimental (área útil de 52 m²), com o auxílio de uma carregadeira e dinamômetro digital (Técnica balanças, modelo WT3000-I). Em seguida, estimou-se o TCH, conforme a Equação 1:

$$\text{TCH} = 10 \times \frac{\text{Massa total dos colmos da parcela (kg)}}{\text{Área útil da parcela (m}^2\text{)}} \dots\dots\dots(1)$$

b) Rendimentos de ATR e de FIBRA

Multiplicando-se o rendimento agrícola (TCH) pelos dados de ATR e FIBRA, estimou-se respectivamente os rendimentos: tonelada de ATR por hectare – TATR (Equação 2) e tonelada de fibra por hectare -TFH (Equação 3).

$$\text{TATR} = \text{TCH} \times \text{ATR} \times 0,001 \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{TFH} = \text{TCH} \times \text{FIBRA} \times 0,01 \dots\dots\dots(3)$$

2.5 Análise estatística

Os dados das variáveis de produção foram submetidos a análise de variância utilizando-se o teste F, conforme as recomendações de Ferreira (2018). Utilizou-se o teste de Scheffé para comparar os contrastes das médias dos perfis de cana, no nível de 5% de probabilidade de erro. Para análise dos contrastes de médias dos genótipos dentro de cada perfil, utilizou-se o teste F no nível de 5% de probabilidade de erro. Na análise dos dados foi utilizado o programa computacional Sisvar v. 5.3 (FERREIRA, 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de variância

Todas as variáveis analisadas apresentaram diferenças significativas ($p < 0,01$) entre as médias de genótipo (G). Para o fator corte (C) foram detectadas diferenças significativas a 1% de probabilidade de erro para as variáveis FIBRA, TCH, TATRH e TFH, e também a 5% de probabilidade de erro (BRIX e POL). De outra parte, não houve diferenças significativas pelo teste F para PZA e ATR (Tabela 3.3). Na análise da interação G x C, o teste F revelou resultados significativos ($p < 0,05$) para as variáveis teor de sólidos solúveis totais (BRIX) e toneladas de ATR por hectare (TATRH).

Para as características, teor de sacarose aparente - pol % caldo (POL), pureza - % (PZA), quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR), teor de sólidos insolúveis em água - fibra % cana (FIBRA), toneladas de cana por hectare (TCH) e toneladas de fibra por hectare (TFH) não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) para a interação G x C.

No desdobramento dos genótipos dentro do corte 1 (cana-planta), todas as variáveis analisadas apresentaram diferenças significativas ($p < 0,01$) entre as médias. Também se verificou diferenças significativas ($p < 0,01$) entre as médias dos genótipos dentro do corte 2 (cana-soca) para todas as variáveis, exceto TATRH.

Os coeficientes de variação da parcela (CV_a) foi de 3,83 (mínimo) a 11,42% (máximo), para as variáveis BRIX e toneladas de fibra por hectare (TFH), respectivamente, indicando de maneira geral ótima precisão dos dados experimentais, conforme Ferreira (2018) (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Quadrados médios da análise de variância, coeficientes de variação e média geral das variáveis: teor de sólidos solúveis totais - brix % caldo (BRIX), teor de sacarose aparente - pol % caldo (POL), pureza - % (PZA), quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR), teor de sólidos insolúveis em água - fibra % cana (FIBRA), toneladas de cana por hectare (TCH), toneladas de ATR por hectare (TATR) e toneladas de fibra por hectare (TFH) de genótipos de cana em cultivo de sequeiro durante dois cortes (cana-planta e cana-soca), na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019.

Fontes de Variação	GL ¹	Quadrados Médios							
		Qualidade da matéria-prima					Rendimentos		
		BRIX	POL	PZA	ATR	FIBRA	TCH	TATR	TFH
Bloco	3	1,26 ^{ns}	1,79 ^{ns}	12,31 ^{ns}	95,86 ^{ns}	2,70 ^{ns}	261,46 ^{ns}	8,37 [*]	13,46 [*]
Genótipo (G)	5	41,50 ^{**}	61,78 ^{**}	254,80 ^{**}	3.988,56 ^{**}	84,91 ^{**}	1.610,07 ^{**}	7,53 ^{**}	261,79 ^{**}
Resíduo (a)	15	0,45	0,91	13,81	53,81	1,53	84,72	1,60	4,08
Parcelas	23	-	-	-	-	-	-	-	-
Corte (C)	1	3,97 [*]	4,93 [*]	9,11 ^{ns}	5,10 ^{ns}	1,00 ^{**}	2.822,32 ^{**}	43,08 ^{**}	97,39 ^{**}
Interação G x C	5	2,12 [*]	1,16 ^{ns}	11,10 ^{ns}	79,33 ^{ns}	1,01 ^{ns}	115,94 ^{ns}	4,32 [*]	5,36 ^{ns}
Genótipo dentro de Corte 1	5	28,54 ^{**}	34,23 ^{**}	90,23 ^{**}	2.269,11 ^{**}	41,68 ^{**}	625,93 ^{**}	8,27 ^{**}	133,75 ^{**}
Genótipo dentro de Corte 2	5	15,09 ^{**}	28,72 ^{**}	175,68 ^{**}	1.798,78 ^{**}	44,24 ^{**}	1.100,08 ^{**}	3,58 ^{ns}	133,40 ^{**}
Resíduo (b)	18	0,75	1,09	7,31	58,11	1,47	85,04	1,50	3,12
Total	47								
CV _a (%) ²		3,83	6,47	4,46	6,25	7,15	9,19	10,97	11,42
CV _b (%) ³		4,93	7,08	3,24	6,49	7,02	9,21	10,65	9,99
Média		17,50	14,72	83,43	117,41	17,28	100,16	11,52	17,68

Fonte: Autor (2020).

Notas: ⁽¹⁾ graus de liberdade.

⁽²⁾ coeficiente de variação da parcela; ⁽³⁾ coeficiente de variação da subparcela.

* significativo no nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

** significativo no nível de 1% de probabilidade de erro pelo teste F.

^{ns} não significativo pelo teste F.

3.2 Estimativas dos contrastes

No contraste de médias entre os genótipos de cana-de-açúcar tradicionais e os genótipos classificados como tolerantes à seca, foram observadas diferenças significativas a 1% de probabilidade de erro pelo teste de Scheffé para as variáveis BRIX, POL, ATR e TFH. As variáveis FIBRA e TCH apresentaram diferenças significativas a 5% de probabilidade de erro. Enquanto isso, as características PZA e TATR não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$), conforme a Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Estimativas dos contrastes da média de dois cortes (cana-planta e cana-soca) das variáveis: teor de sólidos solúveis totais - brix % caldo (BRIX), teor de sacarose aparente - pol % caldo (POL), pureza - % (PZA), quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR), teor de sólidos insolúveis em água - fibra % cana (FIBRA), toneladas de cana por hectare (TCH), toneladas de ATR por hectare (TATR) e toneladas de fibra por hectare (TFH) de genótipos de cana em cultivo de sequeiro durante dois cortes, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019. Perfil I: CA¹ (Cana-de-açúcar tradicional: RB92579 e RB951541), Perfil II: CS² (Cana-de-açúcar tolerante à seca: RB0442 e RB0459) e, Perfil III: CE³ (Cana-energia: RB11999 e RB13403).

VARIÁVEIS	teste de Scheffé			teste F		
	CA ¹	CA ¹	CS ²	RB92579	RB0442	RB11999
	vs CS ²	vs CE ³	vs CE ³	vs RB951541	vs RB0459	vs RB13403
BRIX	2,32 **	4,74 **	2,42 **	0,66 ^{ns}	0,60 ^{ns}	2,49 **
POL	2,61 **	5,76 **	3,15 **	0,56 ^{ns}	0,70 ^{ns}	3,14 **
PUREZA	3,25 ^{ns}	10,96 **	7,71 *	-0,11 ^{ns}	1,04 ^{ns}	7,99 **
ATR	21,56 **	47,40 **	25,84 **	4,15 ^{ns}	4,96 ^{ns}	20,95 **
FIBRA	-2,85 *	-7,06 **	-4,21 **	0,56 ^{ns}	-0,59 ^{ns}	-2,13 **
TCH	-18,84 *	-29,59 **	-10,75 ^{ns}	5,91 ^{ns}	-5,71 ^{ns}	-12,24 ^{ns}
TATR	-0,40 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,70 ^{ns}	1,20 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	1,26 ^{ns}
TFH	-5,58 **	-12,18 **	-6,60 **	1,27 ^{ns}	-1,68 ^{ns}	-5,03 **

Fonte: Autor (2020).

Notas: * significativo no nível de 5% de probabilidade de erro.

** significativo no nível de 1% de probabilidade de erro.

^{ns} não significativo.

O perfil de cana-de-açúcar tolerante à seca, revelou-se superior a cana-de-açúcar tradicional para as variáveis teor de sólidos insolúveis em água (FIBRA), rendimento agrícola (TCH) e rendimento de fibra (TFH), apresentando em média, acréscimo de 2,85 pontos percentuais, 18,84 TCH e 5,58 TFH, respectivamente. Para as variáveis relacionados a açúcar (BRIX, POL, e ATR), os genótipos de cana-de-açúcar tolerante à seca mostraram-se inferiores em relação aos genótipos de cana-de-açúcar tradicionais, que superaram, em média, 2,32 pontos percentuais (BRIX), 2,61 pontos percentuais (POL), e 21,56 kg de açúcar por tonelada de cana. Apesar desta inferioridade no teor de açúcar, os genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca não diferiram dos genótipos de cana-de-açúcar tradicionais no rendimento de açúcar (TATR), principalmente em função do alto rendimento agrícola dos genótipos tolerantes à seca, compensando o seu mediano teor de açúcar (Tabela 3.4).

No contraste de médias da cana-de-açúcar tradicional *versus* cana-energia, observou-se que exceto para TATRH, todas as características da qualidade de matéria-prima e rendimentos agroindustriais, apresentaram diferenças significativas pelo teste de Scheffé ($p < 0,01$). A cana-de-açúcar tradicional superou a cana-energia nas características relacionadas ao teor de açúcar. Revelaram-se diferenças em pontos percentuais no BRIX (4,74), POL (5,76), PZA (10,96) e diferença no ATR (47,40 kg de açúcar por tonelada de cana). No entanto, para o rendimento de açúcar (TATRH), não houve diferença. De outra parte, a cana-energia superou a cana-de-açúcar tradicional no teor de FIBRA (acréscimo de 7,06 pontos percentuais), TCH (29,59 t) e TFH (12,18 t). A maior produtividade agrícola da cana-energia, pode ser creditada ao maior perfilhamento e comprimento dos colmos desse perfil de cana. Destaca-se, que o TCH da cana-energia superou em 29,59 t a cana-de-açúcar tradicional, diferença de 35,23%. Em relação à TFH, a cana-energia produziu 12,18 t a mais que a cana-de-açúcar tradicional (Tabela 3.4). Diversos autores têm relatado maiores produtividades agrícola da cana-energia em relação a cana-de-açúcar tradicional. Matsuoka e Rubio (2019) avaliando genótipos de cana-energia em vários ambientes do Brasil (Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste), detectaram, independentemente do ambiente, produtividades agrícolas bem superiores da cana-energia em comparação com o padrão comercial de cana-de-açúcar. Matsuoka et al. (2012), avaliando clones selecionados em F1 oriundos de cruzamentos entre um híbrido comercial e *S. spontaneum*, verificaram que as produtividades agrícola e de fibra dos clones de cana-energia foram superiores as obtidas pela variedade comercial de cana-de-açúcar. Em Barbados, Rao et al. (2007), observaram acréscimo de 42% a 60% no TCH dos genótipos de cana-energia em relação a variedade comercial de cana-de-açúcar.

Na comparação entre médias dos genótipos de cana-de-açúcar tolerantes à seca e genótipos de cana-energia, detectou-se diferenças significativas pelo teste de Scheffé para BRIX, POL, ATR, FIBRA e TFH ($p < 0,01$) e PZA ($p < 0,05$). Semelhante ao observado na comparação entre cana-de-açúcar tradicional *versus* cana-energia, constatou-se superioridade da cana-de-açúcar tolerante à seca, para as variáveis BRIX (2,42 pontos percentuais), POL (3,15 pontos percentuais), PZA (7,71 pontos percentuais) e ATR (25,84 kg de açúcar por tonelada de cana), e inferioridade para as variáveis FIBRA (-4,21 pontos percentuais) e TFH (-6,61) (Tabela 3.4). No entanto, diferentemente da cana-de-açúcar tradicional, os genótipos tolerantes à seca mostraram-se ser tão produtivos quanto os de cana-energia, não apresentando diferenças significativas para TCH pelo teste de Scheffé ($p > 0,05$). Isso revela que os genótipos tolerantes à seca são ótimas alternativas para o cultivo de cana na Região Nordeste do Brasil, pois apresentam alta produtividade agrícola, teor e rendimento de fibra superior a

cana-de-açúcar tradicional, além de rendimento de açúcar semelhante às variedades atualmente cultivadas na região. Além disso, a característica de tolerância à seca desses materiais é essencial para suportar as secas que vêm ocorrendo em todo o Nordeste nos últimos anos (TEODORO et al., 2017).

Nos contrastes de médias dos genótipos dentro de cada perfil de cana, observou-se que não ocorreram diferenças significativas pelo teste F ($p > 0,05$) entre os genótipos de cana-de-açúcar tradicionais (RB92579 *versus* RB951541) e entre os genótipos tolerantes à seca (RB0442 *versus* RB0459) (Tabela 3.4). Por outro lado, no contraste entre os genótipos de cana-energia (RB11999 *versus* RB13403), verificaram-se diferenças significativas para BRIX, POL, PZA, ATR, FIBRA e TFH ($p < 0,01$). As demais características (TCH e TATRH) não tiveram diferenças significativas ($p > 0,05$) (Tabela 3.4). Essas diferenças entre os materiais de cana-energia, podem ser justificadas pelo fato do melhoramento para obtenção desse perfil de cana, ser uma prática recente, apesar de Alexander (1985) em Porto Rico, já tê-la conceituado na década de 1980. Revela-se ainda que nos últimos anos, além do Brasil, o melhoramento da cana-energia vem sendo realizado, em diversos países como Barbados (KENNEDY, 2005), Ilhas Maurício (SANTCHURN et al., 2014), Japão (TERAJIMA et al., 2007) e Tailândia (PONRAGDEE et al., 2013).

É importante relatar que nos últimos anos, a cana-energia tem sido desenvolvida em função da combinação dos teores de açúcar, fibra e água, comparada com a composição desses teores na cana-de-açúcar tradicional (TEW; COBILL, 2008). De acordo com esses autores, a cana-energia pode ser de dois tipos: o primeiro é a cana-energia tipo I, composta por 70% de água, 17% de fibra e 13% de açúcar; a segunda é a cana-energia tipo II, que possui 65% água, 30% de fibra e 5% de açúcar. Nessa pesquisa, os genótipos de cana-energia RB11999 e RB13403 estão mais próximos das características da cana-energia tipo I. A RB11999 apresentou média de 13,31% de POL (Figura 3.5b) e 19,98% de FIBRA (Figura 3.6b). E, a RB13403 apresentou média de 10,18% de POL (Figura 3.5b) e 22,10% de FIBRA (Figura 3.6b). 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. Assim, essa matéria-prima, além de fornecer caldo para produção de açúcar e etanol, contribui com mais fibra para a maior produção de eletricidade, etanol lignocelulósico, bem como outros derivados de valor econômico para as usinas de setor canavieiro.

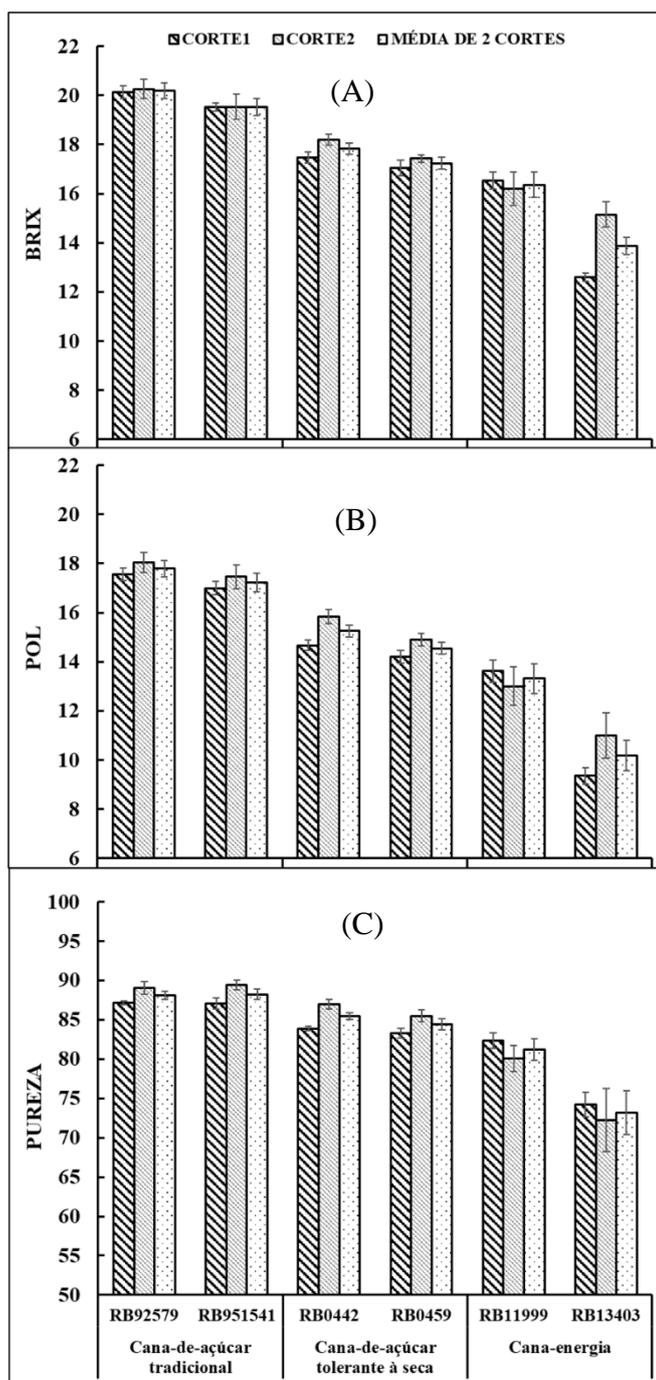
Apesar dos genótipos RB0442 e RB0459 serem classificados neste trabalho como cana-de-açúcar com perfil de tolerância à seca, eles também podem ser classificados como

cana-energia tipo I, se considerarmos exclusivamente a combinação dos teores de açúcar, fibra e água, conforme Tew e Cobill (2008). Isso porque a RB0442 apresentou média de 15,25% de POL (Figura 3.5b) e 16,53% de FIBRA (Figura 3.6b) e a RB0459 obteve média de 14,55% de POL (Figura 3.5b) e 17,13% de FIBRA (Figura 3.6b). Santchurn et al. (2014), analisando os conteúdos de sacarose e de fibra de cultivares oriundas de diversos programas de melhoramento do mundo (M1672/90 das Ilhas Maurício, MPT 99-582 da Tailândia e, HoCP91-582 e Ho00-961 dos EUA), detectaram que esses genótipos tinham mais de duas unidades do conteúdo de fibra em relação às variedades comerciais de cana-de-açúcar e sem afetar o conteúdo de sacarose. Esses autores classificaram esse perfil de cana, como “cana com fibra melhorada”. Barbosa et al. (2020) afirmam que com base na proporção relativa de açúcar e fibra os tipos de cana-energia podem atender a dois seguimentos distintos: i) as atuais indústrias do setor canavieiro, visando otimizar a produção de açúcar, etanol e eletricidade e, ii) empresas produtoras de biomassa para outros fins energéticos, visando a produção de vapor, calor, energia térmica, eletricidade, combustíveis sólidos (briquetes e pellets) etc.

Nas Figuras 3.5 e 3.6, encontram-se as médias das variáveis de qualidade da matéria-prima de cada genótipo, bem como a classificação de acordo com seu perfil (cana-de-açúcar tradicional, cana-de-açúcar tolerante à seca e cana-energia), em dois ciclos de cultivo. Para as variáveis BRIX, POL, PZA (Figura 3.5) e ATR (Figura 3.6a), observou-se que o melhor desempenho foi exibido pela RB92579 (cana-de-açúcar tradicional), com valores de 20,19%, 17,79%, 88,22% e 142,47 kg de açúcar por tonelada de cana, respectivamente. Em contrapartida, para essas mesmas características, a RB13403 (cana-energia) apresentou a pior performance, com valores de 13,88%, 10,18%, 73,21%, 82,53 kg de açúcar por tonelada de cana, respectivamente (Figura 3.5 e Figura 3.6a). Observou-se também que a RB13403 exibiu o melhor desempenho para FIBRA, com valor de 22,10% (Figura 3.6b), enquanto a RB951541 (cana-de-açúcar tradicional) apresentou o menor valor (13,70% de FIBRA).

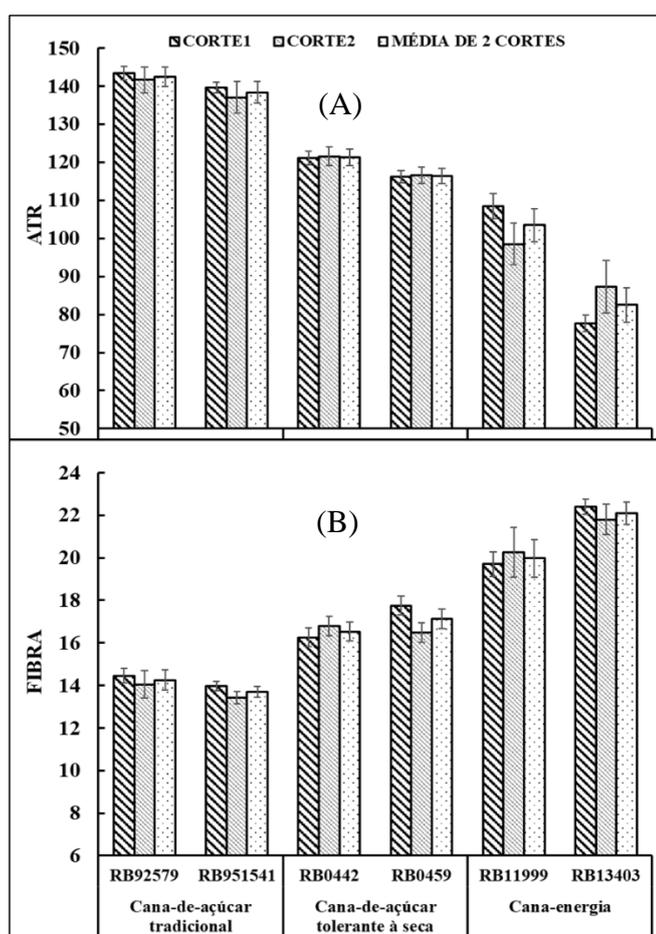
Para as variáveis de rendimento, observou-se na média de dois cortes, que o rendimento agrícola (TCH) variou de 81,06 a 119,72 TCH, para os genótipos RB951541 (cana-de-açúcar tradicional) e RB13403 (cana-energia), respectivamente. Nesse intervalo, seguiu-se a RB92579 (86,96 TCH); RB0442 (99,99 TCH); RB0459 (105,71 TCH) e; RB11999 (107,49 TCH). Destaca-se que a RB0442, pertencente ao perfil de cana-de-açúcar tolerante à seca, apresentou maior estabilidade de TCH, com menor redução entre os ciclos de cana-planta e cana-soca, indicando ter excelente desempenho na socaria (Figura 3.7a), que é uma característica muito desejada para genótipo tolerante à seca.

Figura 3.5 – Médias das variáveis de qualidade da matéria-prima: A) teor de sólidos solúveis totais - brix % caldo (BRIX), B) teor de sacarose aparente - pol % caldo (POL) e C) pureza - % (PZA) de genótipos de cana em cultivo de sequeiro, em ciclos de cana-planta e cana-soca, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e, Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403).



Fonte: Autor (2020).

Figura 3.6 – Médias das variáveis de qualidade da matéria-prima: A) quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR) e B) teor de sólidos insolúveis em água- fibra % cana (FIBRA) de genótipos de cana em cultivo de sequeiro, em ciclos de cana-planta e cana-soca, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e, Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403).

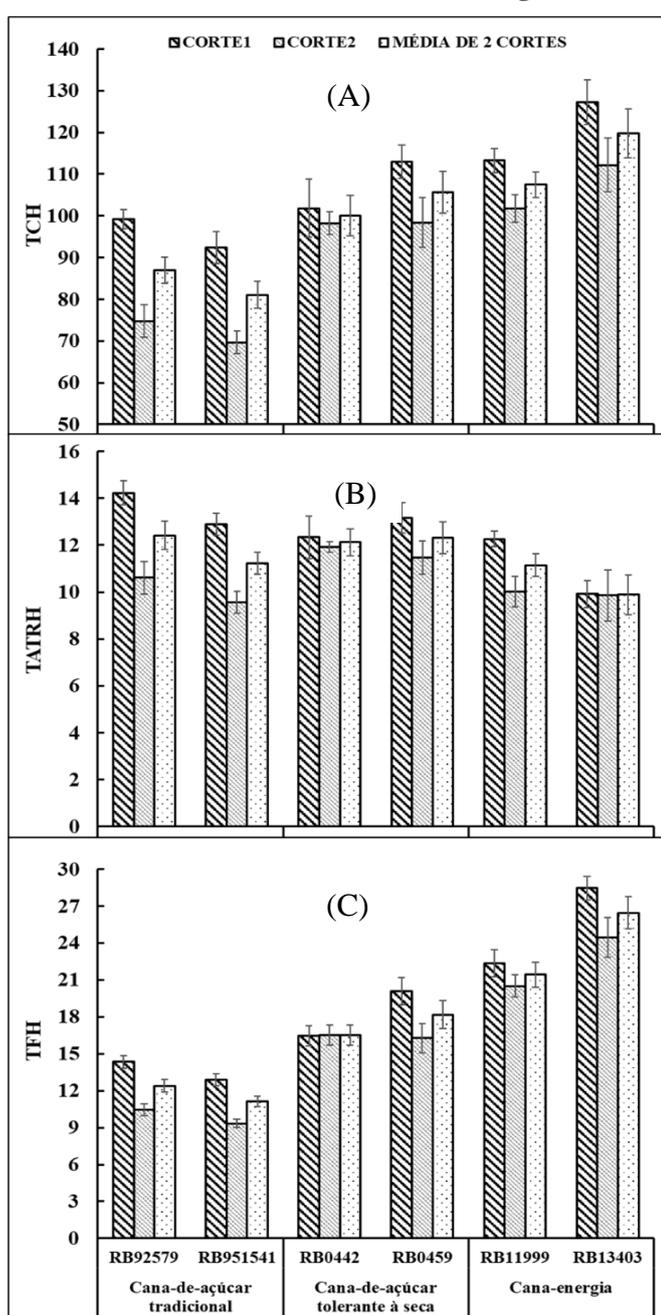


Fonte: Autor (2020).

Observa-se que o melhor desempenho no rendimento de açúcar (TATR_H) foi obtido, em média, pelos genótipos com perfil de tolerância à seca (Figura 3.7b). Essa performance, foi devido a estabilidade da produtividade agrícola, ao longo dos dois ciclos de cultivos (Figura 3.7a). Por outro lado, o pior desempenho foi exibido, em média, pelos genótipos de cana-energia, que apesar de apresentarem alto TCH, são penalizados pelo baixo teor de açúcar nos colmos. Avaliando-se os genótipos individualmente, percebe-se que a RB92579 (cana-de-açúcar tradicional) teve o maior valor de TATR_H (12,42), seguida por RB0459 (12,31), RB0442 (12,13), RB951541(11,22), RB11999 (11,14) e RB13403 (9,88). De acordo com Barbosa (2018), o marco histórico da contribuição do melhoramento genético da cana para Alagoas foi à obtenção da RB92579, variedade que impactou a produtividade da cultura no

Estado e na região, pelas suas excelentes características de rendimentos agroindustriais. Na safra 2017/2018, a RB92579 ocupou 10% de área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil e liderou os canaviais de Alagoas (34% de área cultivada) (RIDESA, 2019).

Figura 3.7 – Médias das variáveis de rendimento: A) toneladas de cana por hectare (TCH), B) toneladas de ATR por hectare (TATR) e C) toneladas de fibra por hectare (TFH) de genótipos de cana em cultivo de sequeiro, ciclos de cana-planta e cana-soca, na Região de Rio Largo, AL, no período de novembro de 2016 a janeiro de 2019. Perfil I: Cana-de-açúcar tradicional (RB92579 e RB951541), Perfil II: Cana-de-açúcar tolerante à seca (RB0442 e RB0459) e, Perfil III: Cana-energia (RB11999 e RB13403).



Fonte: Autor (2020).

Por fim, verificou-se expressiva superioridade no rendimento de fibra (TFH) dos genótipos de cana-energia em relação aos demais perfis de cana (Figura 3.7c). Isso porque esses materiais além de possuírem alto teor de FIBRA, apresentaram maiores produtividades agrícola. Para TFH, destacou-se a RB13403, com 26,46 TFH, seguida da RB11999 com 21,43 TFH (Figura 3.7c). Isso revela, o grande potencial desses genótipos para a produção de biomassa. Observa-se também que os genótipos de cana com perfil de tolerância à seca apresentaram valores de TFH inferiores a cana-energia. No entanto, em relação a cana-de-açúcar tradicional, o desempenho da cana-de-açúcar tolerante à seca foi bem superior, cerca de 47,46 % a mais de TFH (Tabela 3.4).

Nesse trabalho, constatou-se que tanto a cana-energia quanto a cana-de-açúcar tolerante à seca podem ser alternativas para o cultivo na Região Nordeste. No entanto, os genótipos de cana-energia apresentaram em média, baixo teor de sacarose aparente e baixa pureza, que dificulta a cristalização do açúcar. Essas características também foram observadas por Matsuoka e Rubio (2019), os quais afirmam que as diferenças marcantes entre esses perfis de cana são alto teor de fibra, baixo teor de açúcar e baixa pureza da cana-energia. Rao et al. (2007) afirmam que em Barbados, durante a década de 1980, a cana-energia não foi útil nas indústrias tradicionais para a produção de açúcar, porque seu caldo apresentava baixa pureza (entre 70% e 73% *versus* 89% nas variedades comerciais de cana-de-açúcar). Além dessas características da qualidade da matéria-prima, detectou-se ainda, características morfológicas indesejáveis, como isoporização e ocamento em ambos os genótipos de cana-energia. De acordo com Barbosa et al. (2020), existem três grandes problemas na seleção de clones de cana-energia: alta incidência da doença carvão (*Sporisorium scitamineum*), alto nível de florescimento e baixa massa unitária do colmo.

É importante ressaltar que antes de se adotar o perfil de cana-energia, é preciso resolver alguns gargalos de ordem tecnológica, como colheita mecanizada de cultivares com alta produtividade e alto teor de fibra, e melhoria no processamento industrial, principalmente na eficácia de moendas para a extração do caldo (BARBOSA et al., 2020; CECCATO-ANTONINI et al., 2017). Acredita-se que os genótipos de cana-energia avaliados nessa pesquisa, possam ser mais utilizados no melhoramento genético, atuando como genitores em hibridações, e assim, fazer parte de um processo de seleção recorrente, com o objetivo de aumentar a produção de biomassa e eliminar as características indesejáveis.

Portanto, em função de todas as variáveis de rendimento avaliadas, os genótipos tolerantes à seca mostraram ser excelentes alternativas para o cultivo na Região Nordeste do Brasil, devido às suas superioridades em relação a cana-de-açúcar tradicional, que foi

representada nesse trabalho pelas duas principais variedades cultivadas no Estado de Alagoas (RB92579 e RB951541). Além do mais, devido a irregularidade de chuvas que ocorre na região (SOUZA et al., 2004), que provoca secas frequentemente (TEODORO et al., 2017), os genótipos tolerantes à seca podem ser mais utilizados pelo setor produtivo, principalmente para cultivo em ambientes restritivos. Para validação desse perfil de cana, são necessários avaliações em diversos ambientes de cultivo, notadamente em regiões que tenham solos sujeitos a déficit hídrico.

4 CONCLUSÕES

- A cana-de-açúcar tradicional tem baixo rendimento agrícola (TCH), altos teores de açúcar (BRIX, POL e ATR), alta pureza do caldo e baixo teor de fibra;
- A cana-energia tem alto rendimento agrícola (TCH), baixos teores de açúcar (BRIX, POL e ATR), baixa pureza do caldo e alto teor de fibra;
- A cana-de-açúcar tolerante à seca tem alto rendimento agrícola (TCH), medianos teores de açúcar (BRIX, POL e ATR), mediana pureza do caldo e mediano teor de fibra;
- Os diferentes perfis de cana apresentam rendimento de açúcar (TATR) semelhantes;
- A baixa pureza do caldo da cana-energia inviabiliza o seu cultivo pelas atuais usinas de açúcar;
- Recomenda-se o uso da cana-energia em cruzamentos genéticos com outros perfis de cana para alcançar ganhos futuros;
- Recomenda-se o cultivo da RB0442 (cana-de-açúcar tolerante à seca) para os ambientes do Nordeste do Brasil.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, A. G. **The Energy Cane Alternative**, Amsterdam: Elsevier, 1985. 509 p.

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.

BARBOSA, G. V. S. **Inovações tecnológicas desenvolvidas em Alagoas para o setor canavieiro**. Maceió: FAPEAL/Imprensa Oficial Graciliano Ramos. 2018. 136 p.

BEAL. **BALANÇO ENERGÉTICO DE ALAGOAS**. Maceió: Secretária de Desenvolvimento Econômico e Turismo, 2015. 184 p.

CECCATO-ANTONINI, S. R. et al. Deterioration and fermentability of energy cane juice. **Ciência Rural**, v. 47, p. 1-7, 2017.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Cana-de-açúcar. Primeiro levantamento Safra 2019/2020**. Brasília: CONAB, Maio 2019. 58 p.

EPE / MME. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA / MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional / Relatório Final**. Brasília: EPE / MME, 2019. 300 p.

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.

KENNEDY, A. J. Breeding improved cultivars for the Caribbean by utilization of total biomass production. In: INTERNATIONAL SOCIETY SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, v. 25, 2005, Guatemala City. **Proceedings...** Guatemala City: ISSCT, 2005. p. 491-499.

MATSUOKA, S.; RUBIO, L. C. S. Energy Cane: A Sound Alternative of a Bioenergy Crop for Tropics and Subtropics. In: KHAN, M. T.; KHAN, I. A. (Eds.). **Sugarcane Biofuels**. Cham, Springer, 2019. p. 39-66.

MATSUOKA, S. et al. Bioenergia da cana. In: SANTOS, F. A.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Eds.). **Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol: Tecnologias e Perspectivas**. 1. ed. Viçosa, UFV, 2012, pp. 547-577.

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

PONRAGDEE, W. et al. New type of high yielding sugarcane with lower sugar and higher fibre content suitable for stable co-production of sugar and ethanol for Northeast Thailand. INTERNATIONAL SOCIETY SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, v. 28, 2013, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: ISSCT, 2013. p. 719-730.

RAGAUSKAS, A.J. et al. The path forward for biofuels and biomaterials. **Science**, v. 311, p. 484-489, 2006.

RAO P. S.; DAVIS, H.; SIMPSON, C. New sugarcane cultivars and year round sugar and ethanol production with bagasse-based cogeneration in Barbados and Guyana. In: INTERNATIONAL SOCIETY SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, v. 26, 2007, Durban. **Proceedings...** Durban: ISSCT, 2007. p. 1169-1176.

RIDESA. REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROENERGÉTICO. São Paulo. Disponível em: <<https://www.ridesa.com.br/censo-varietal>>. Acessado em 10 de fevereiro de 2019.

SANTCHURN, D. et al. From sugar industry to cane industry: evaluation and simultaneous selection of different types of high biomass canes. **Biomass and Bioenergy**, v. 61, p. 82-92, 2014.

SINDAÇÚCAR. SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE ALAGOAS. Maceió. Disponível em: <<http://www.sindacucar-al.com.br/dados-estatisticos>>. Acessado em 05 de dezembro de 2018.

SOUZA, J. L. et al. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do Tabuleiro Costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, p.131-141, 2004.

TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. **Hawaiian in Plater's Record**, Aila, v. 57, p. 133-150, 1964.

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

TERAJIMA, Y. et al. Breeding for high-biomass sugarcane and its utilisation in Japan. In: INTERNATIONAL SOCIETY SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, v. 26, 2007, Durban. **Proceedings...** Durban: ISSCT, 2007. p. 759-763.

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.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p

CAPÍTULO IV

RB0442: CULTIVAR DE CANA-DE-AÇÚCAR TOLERANTE À SECA

RESUMO

A cultivar de cana-de-açúcar RB0442 tem elevado rendimento agrícola, maturação tardia e tolerância à seca. Seu plantio é recomendado para ambientes restritivos, notadamente em solos com deficiência hídrica. Resiste às principais doenças que ocorrem na Região Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Melhoramento de plantas. Estresse hídrico.

RB0442: DROUGHT TOLERANT SUGARCANE CULTIVAR

ABSTRACT

The sugarcane cultivar RB0442 has high yield, late maturation and good drought tolerance. Its planting is recommended for restrictive environments, especially in soils with water deficiency. It's resistant to the major diseases occurring in the Northeast Region of Brazil.

Keywords: *Saccharum* spp. Plant breeding. Water stress.

1 INTRODUÇÃO

A precipitação pluvial é o principal fator limitante da produtividade da cana-de-açúcar (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). Em algumas regiões do Brasil tem sido registrado redução de produtividade da cana-de-açúcar nas últimas safras em função da escassez de água (TEODORO et al., 2017). Nos ambientes de produção da cana-de-açúcar de Alagoas-Brasil é frequente a ocorrência de secas, ocasionando elevados déficits hídricos nos solos, e consequentemente estresses hídricos nas plantas e significativas reduções da produção de cana e seus derivados (BARBOSA, 2018).

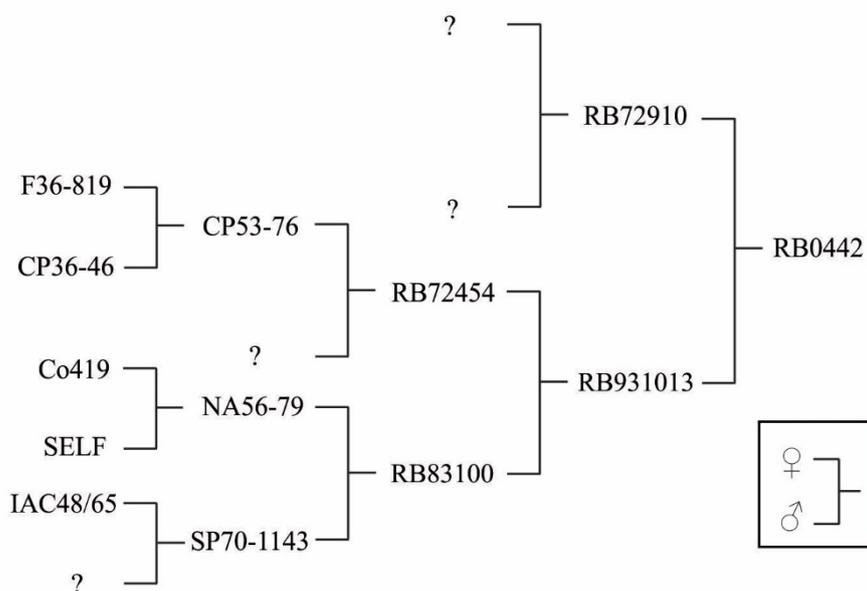
A Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) desenvolve cultivares de cana-de-açúcar para vários segmentos, como elevados rendimentos agroindustriais, resistência às principais pragas e doenças, alto teor de açúcar

para diferentes períodos de maturação e adaptação ao plantio e colheita mecanizada (BARBOSA et al., 2012; BARBOSA et al., 2015; CARNEIRO et al., 2015; CARNEIRO et al. 2019; DAROS et al., 2017; DAROS et al., 2018). No sentido de minimizar as perdas de rendimento causadas pela deficiência hídrica, o Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA), do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), que integra a RIDESA, desenvolve cultivares RB (República do Brasil) com elevados rendimentos agroindustriais para o cultivo em ambientes restritivos (solos pobres e sujeito a déficits hídricos). Neste trabalho, apresenta-se a cv. RB0442 (*Saccharum* spp.), que tem se destacado como uma das cultivares mais promissoras com características de alto rendimento agroindustrial e tolerância à seca, com intensa área de plantio na Região Nordeste do Brasil.

2 PEDIGREE DA RB0442 E METODOLOGIA DO MELHORAMENTO GENÉTICO

A origem genética da RB0442 está indicada na Figura 4.1. A hibridação ocorreu em maio de 2004 na Estação de Floração Serra do Ouro (Murici, Alagoas, 09°13'S, 35°50'W, 500m), utilizando cruzamento do tipo biparental, em que flores da RB72910 receberam pólenes da RB931013.

Figura 4.1 – Genealogia da RB0442.



Fonte: Autor (2020).

Estrategicamente, utilizou-se o parental feminino RB72910, devido as suas características de tolerância à seca e rusticidade. No mês de julho do mesmo ano, as cariopses desse e de outros cruzamentos da série RB04 foram germinadas em estufa no CECA/UFAL, em Rio Largo - Alagoas (09°28'S, 35°49'W, 127m), gerando 21.000 *seedlings* que foram transplantados em outubro de 2004 para o campo na Usina Caeté, em São Miguel dos Campos - Alagoas (09°42'S, 36°06'W), no espaçamento de 1 m entre sulcos e 0,5 m entre *seedlings*. Nove meses após (julho de 2005), procedeu-se a seleção da Fase T₁ na cana-planta, com base nas características: desenvolvimento, número e diâmetro de colmos da touceira, Brix do caldo do colmo e sanidade das plantas. Em seguida, plantou-se na base de pesquisa Usina Porto Rico (ambiente com restrição hídrica), em Campo Alegre – Alagoas (09°48'S, 36°12'W), o campo da segunda fase de seleção (T₂), contendo 415 clones, com parcela de dois sulcos de 3,5 m, espaçados de 1 m, distribuindo-se 15 gemas de cana por metro. Em agosto de 2006 foi feita a seleção da Fase T₂ em cana-planta, baseada nas mesmas características da Fase T₁. A Fase T₃ foi plantada em seguida no mesmo local, com 55 clones selecionados, em parcelas de cinco sulcos de 4 m com duas repetições, com 15 gemas de cana por metro. A seleção de T₃ foi realizada considerando os dados de colheita de cana-planta (2007), primeira-soca (2008) e segunda-soca (2009), observando-se as características tonelada de colmos por hectare (TCH), açúcares totais recuperáveis (ATR), em kg de açúcar por tonelada de cana, determinada de acordo com o método descrito por Fernandes (2003) e tonelada de ATR por hectare (TATR_H).

Entre 2010 e 2017 foram conduzidos doze experimentos em seis locais da região canavieira de Alagoas, nas bases avançadas de pesquisa da RIDESA/UFAL. Cada experimento foi composto por 20 clones da série RB04, sendo empregado o delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, parcelas de sete sulcos de 6 m e densidade de plantio de 15 gemas/m. Após as colheitas dos experimentos (cana-planta, primeira-soca e segunda-soca, respectivamente), obtiveram-se as características TCH, ATR e TATR_H dos genótipos, que possibilitaram avaliar as qualidades dos rendimentos agroindustriais e o comportamento de adaptabilidade e estabilidade fenotípica (EBERHART; RUSSELL, 1966). Em todas as fases de obtenção da cv. RB0442, utilizou-se como padrão comercial a RB92579, importante cultivar para o setor sucroenergético e para melhoramento da cana-de-açúcar (DINIZ et al., 2018).

Avaliou-se ainda a maturação da RB0442 confrontada com a RB92579 durante o período de moagem da cana de Alagoas, de setembro de 2011 a março de 2012, nos mesmos locais dos experimentos. Para a avaliação da sua performance e recomendação aos produtores,

foram reunidos dados de 31 colheitas de experimentos (treze de cana-planta, dez de primeira-soca e oito de segunda-soca), além de outros experimentos e/ou avaliações complementares, os quais permitiram atestar as excelentes qualidades da cultivar RB0442.

Em um dos experimentos, abriram-se trincheiras com dimensões de 1 m de comprimento x 1 m largura x 1 m de altura, para avaliar o sistema radicular. Foi realizado também um estudo em estufa, com o objetivo de avaliar a massa seca das raízes dos genótipos, utilizando Rizotrons cilíndricos com parede de vidro (espessura de 10 mm) e dimensões de 1 m de altura e diâmetro com 0,18 m, em formato de semicírculo.

3 PERFORMANCE

Os resultados médios de 31 colheitas dos experimentos evidenciaram superioridade nos rendimentos agroindustriais nos três ciclos de colheita da cv. RB0442 em relação à cv. RB92579 (Tabela 4.1).

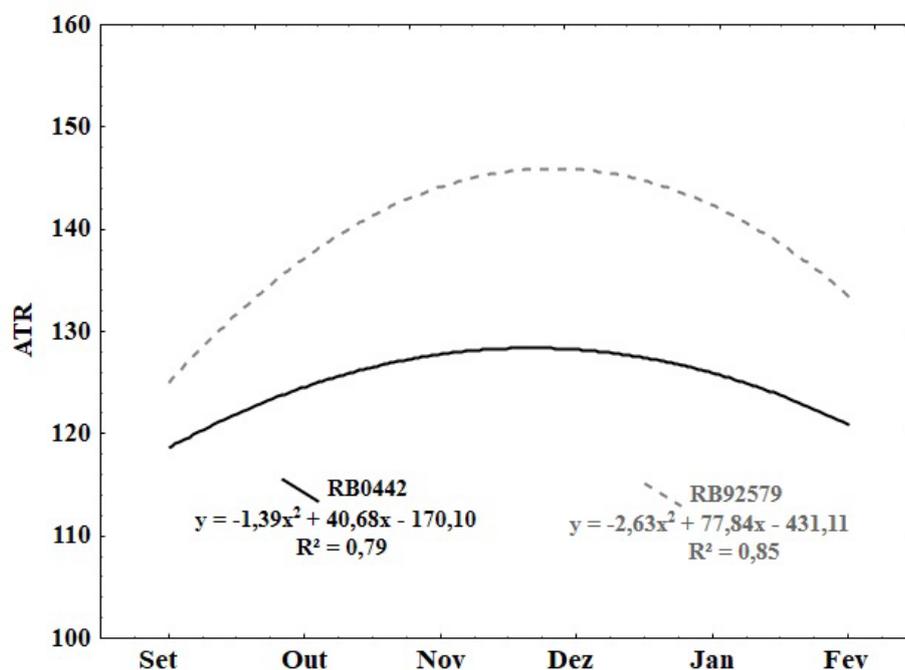
Tabela 4.1 – Médias de tonelada de cana por hectare (TCH) e tonelada de ATR por hectare (TATR) das cultivares RB0442 e RB92579 de acordo com o tipo de ambiente e corte. Estimativa de ganho de rendimento da cv. RB0442 em relação a cv. RB92579. Resultados médios de 31 colheitas em Alagoas.

Ambientes	Ciclo	TCH				TATR			
		RB0442	RB92579	Diferença*	%	RB0442	RB92579	Diferença*	%
Todos os ambientes	Cana-planta	146,21	136,36	9,86	7,23	18,52	18,98	-0,46	-2,44
	Cana-soca	110,52	93,06	17,46	18,77	15,09	14,06	1,03	7,32
	Cana-ressoca	124,54	99,46	25,08	25,22	15,60	13,95	1,65	11,81
	Média	129,11	112,87	16,24	14,39	16,66	16,09	0,56	3,50
Ambientes favoráveis	Cana-planta	165,12	154,56	10,56	6,83	20,97	21,24	-0,28	-1,31
	Cana-soca	140,87	131,29	9,58	7,30	19,10	20,43	-1,33	-6,50
	Cana-ressoca	141,02	138,20	2,81	2,04	16,74	18,58	-1,84	-9,91
	Média	157,68	148,46	9,22	6,21	20,03	20,71	-0,68	-3,28
Ambientes restritivos	Cana-planta	103,68	95,41	8,27	8,67	13,00	13,88	-0,88	-6,34
	Cana-soca	102,93	83,50	19,43	23,27	14,08	12,46	1,62	12,99
	Cana-ressoca	119,05	86,55	32,50	37,55	15,22	12,41	2,81	22,65
	Média	108,47	87,16	21,31	24,45	14,22	12,76	1,46	11,45

Fonte: Autor (2020).

Para a característica TCH, o ganho médio foi de 16,24 toneladas (14,39%). Apesar da cv. RB0442 cultivar apresentar menor conteúdo de açúcar de acordo com a curva de maturação (Figura 4.2), exibe superioridade no rendimento em açúcar, com valor de 0,56 TATR/H a mais (3,5%). Além do mais, seus resultados mais expressivos e bem superiores a cv. RB92579 são constatados nos ambientes restritivos, com ganhos médios de 21,21 TCH (24,45%) e 1,46 TATR/H (11,45%) (Tabela 4.1). Nesses ambientes limitantes, a precipitação pluvial durante as safras variou de 881 a 1.175 mm, abaixo da necessidade hídrica da cultura. Revela-se que, as maiores diferenças ocorreram nas colheitas realizadas em 2012, ano em que Alagoas teve a maior seca registrada dos últimos 100 anos (TEODORO et al., 2017). Nota-se também, melhoria de desempenho da cv. RB0442 ao longo dos cortes, revelando sua boa brotação de socaria e longevidade do canavial (Tabela 4.1). Quanto a maturação, observou-se para as condições da safra de Alagoas, desempenho inferior da cv. RB0442, que apresentou teor de açúcar inferior a cv. RB92579, sendo indicada para colheita no final de safra - maturação tardia (Figura 4.2).

Figura 4.2 – Curvas de maturação das cultivares RB0442 e RB92579 (padrão) para a variável quantidade de açúcares totais recuperáveis (ATR) em Alagoas.

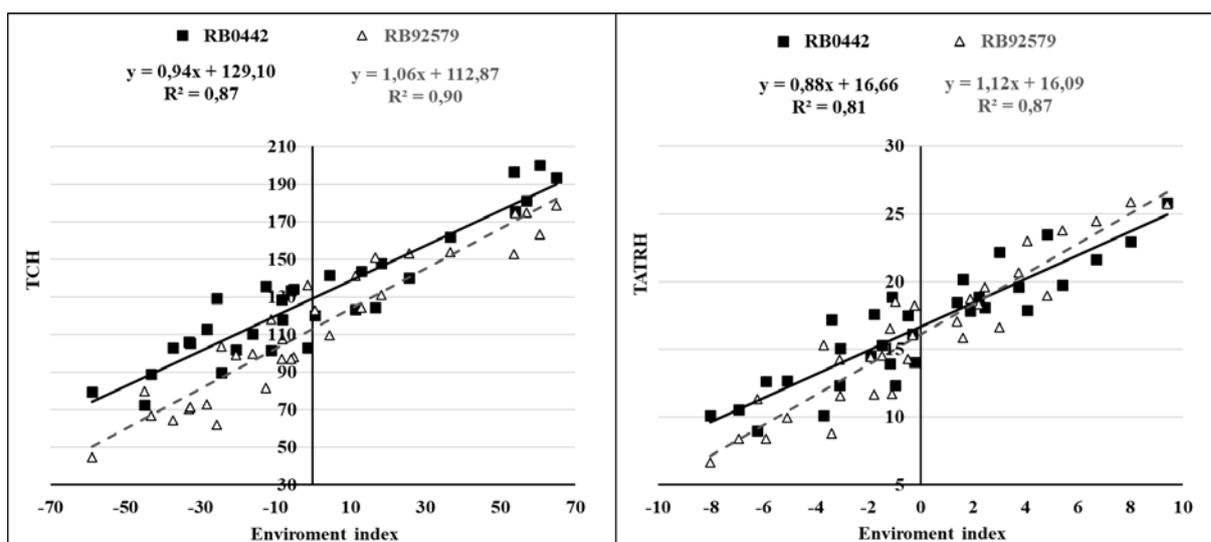


Fonte: Autor (2020).

Conforme metodologia de Eberhart e Russell (1966), verificou-se que a cv. RB0442 tem ampla adaptabilidade e estabilidade em TCH e TATR/H (Figura 4.3). Constata-se melhor

desempenho da cv. RB0442 em ambientes desfavoráveis, evidenciados pelos coeficientes de regressão menor que 1, tanto para TCH (0,94) quanto para TATRH (0,88).

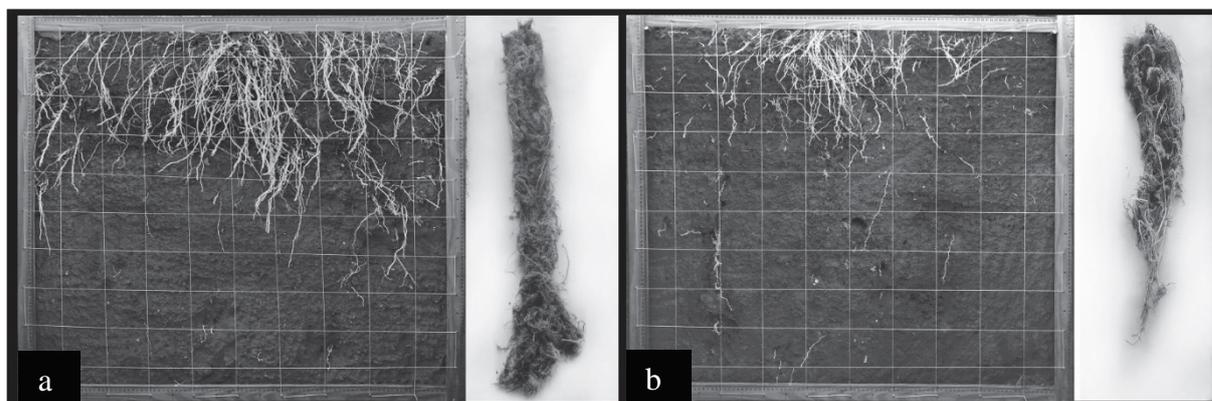
Figura 4.3 – Médias de tonelada de cana por hectare (TCH) e tonelada de açúcar por hectare (TATRH) das cultivares RB0442 e RB92579 (padrão), com ajuste de regressão linear de acordo com o índice de ambiente de 12 experimentos (31 colheitas) em Alagoas.



Fonte: Autor (2020).

Observou-se que a cv. RB0442 apresentou sistema radicular abundante, profundo, com raízes mais vigorosas, tendo 16,13% mais massa seca, quando comparada a cv. RB92579 (Figura 4.4a e 4.4b). O aprofundamento do sistema radicular é um dos mecanismos fisiológicos das plantas que confere tolerância à seca (ENDRES et al., 2010), sendo essencial para melhor performance de cultivares de cana-de-açúcar em solos com déficit hídrico.

Figura 4.4 – Profundidade, distribuição e massa seca do sistema radicular das cultivares RB0442 (a) e RB92579 (b).



Fonte: Autor (2020).

Tendo em vista sua elevada produtividade agrícola, rusticidade e tolerância à seca, recomenda-se plantar a cv. RB0442 em ambientes restritivos, notadamente sujeitos a déficit hídrico e solos de média a baixa fertilidade.

4 OUTRAS CARACTERÍSTICAS

4.1 Morfologia

A cv. RB0442 tem boa brotação, médio perfilhamento em cana-planta e alto perfilhamento em cana-soca, média velocidade de crescimento e bom fechamento de entrelinhas; pode florescer em anos com clima favorável; o hábito de crescimento é semi-decumbente e o despalhe é fácil; o volume da copa foliar é regular, com tonalidade intermediária; as folhas são pontas curvas, de largura média, com fraco serrilhamento do bordo; tem lígula crescente, aurícula de transição, pequena e simétrica; o “dewlap” é normal e roxo verde; as bainhas sem pilosidade no dorso, tom verde roxo, pouca cera; o palmito é curto e tem pouca cera; o colmo apresenta internódios cilíndricos, com seção circular, dispostos em suave ziguezague, com ausência de canaleta da gema, apresenta comprimento e diâmetro médios, tem aspecto manchado, cor verde roxo sob a palha e roxo verde quando exposto, rachaduras rasas, com pouca cera, e não tem ocamento fisiológico; o anel de crescimento é roxo amarelado, médio, com pouca saliência, região radicular de largura média e com ausência de enraizamento aéreo, primórdios radiculares amarelo esverdeados; a gema é redonda de média proeminência e nunca ultrapassa o anel de crescimento, com almofada estreita, presença de pelos no ápice e poro germinativo sub apical.

4.2 Reação às doenças

No que se refere à reação às principais doenças, a cv. RB0442 apresenta boa sanidade. Exibe resistência às duas doenças mais importantes que ocorrem em Alagoas, Ferrugem Alaranjada (*Puccinia kuehnii*) e Escaldadura das Folhas (*Xanthomonas albilineans*). Em condições de infecção natural e em anos favoráveis, tem se comportado como intermediária a Ferrugem Marrom (*Puccinia melanocephala*), porém as perdas de rendimento agroindustrial não têm sido significativas. Também se apresenta como intermediária ao Carvão (*Sporisorium scitamineum*, sinónimoia *Ustilago scitaminea*), doença que tem baixa incidência em Alagoas e na Região Nordeste do Brasil.

5 MANUTENÇÃO DO GERMOPLASMA E DISTRIBUIÇÃO DE MUDAS

Plantas da cv. RB0442 são mantidas em jardim clonal pelo programa de melhoramento RIDESA/UFAL (BR 104, Norte, km 85, CEP: 57.100.000, Rio Largo, Alagoas) e mudas são multiplicadas a partir de PLANTA BÁSICA inscrita no RENASEM/MAPA.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, G. V. S. **Inovações tecnológicas desenvolvidas em Alagoas para o setor canavieiro**. Maceió: FAPEAL/Imprensa Oficial Graciliano Ramos. 2018. 136 p.

BARBOSA, G. V. S. et al. RB99395: Sugarcane cultivar with high sucrose content. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.15, p. 187-190, 2015.

BARBOSA, M. H. P. et al. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology S2**, p. 87-98, 2012.

CARNEIRO, M.S. et al. RB005014 – sugarcane cultivar with high tillering and agroindustrial yield. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.19, p. 230-234, 2019.

CARNEIRO, M.S. et al. RB975952 – Early maturing sugarcane cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.15, p. 193-196, 2015.

DAROS, E. et al. RB036066 – a sugarcane cultivar with high adaptability and yield stability to Brazilian South-Central region. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.18, p. 325-329, 2018.

DAROS, E. et al. RB036088 – a sugarcane cultivar for mechanical planting and harvesting. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, p. 84-88, 2017.

DINIZ, C. A. et al. Production and performance of sugarcane seeds (caryopses) from different hybridizations involving RB92579. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v.90, p. 3243-3248, 2018.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p. 36-40, 1966.

ENDRES, L. et al. Photosynthesis and Water Relations in Brazilian Sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, v.4: p. 31-37, 2010.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: EME, 2003. 240 p.

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

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

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cana-energia, apesar de ter vigoroso crescimento vegetativo e alta produção de biomassa, tem baixa qualidade da matéria-prima, necessitando de mais estudos para viabilização de cultivo pelas atuais usinas de açúcar e álcool. O melhoramento genético deve utilizar os genótipos de cana-energia avaliados nessa pesquisa, visando aumentar o teor de fibra e produção de biomassa das atuais variedades de cana.

O cultivo de cana-de-açúcar tolerante à seca é uma alternativa viável para o setor sucroenergético, pois tem maior rendimento agrícola, semelhante rendimento em açúcar e maior estabilidade de produção ao longo dos ciclos em relação as principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas em Alagoas, sendo, portanto, o perfil recomendado para cultivo na Região Nordeste do Brasil, principalmente em ambientes sujeitos a déficit hídrico. Entre os genótipos desse perfil, a RB0442 vem apresentando grande aceitação dos produtores, que a potencializa como uma futura variedade de cana para a expansão de cultivo nessa região.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Artigo confeccionado a partir do capítulo IV (RB0442: cultivar cana-de-açúcar tolerante à seca) e publicado na Crop Breeding and Applied Biotechnology (v. 19, 4 ed., p. 466 – 470, 2019).

RB0442 – drought tolerant sugarcane cultivar

Carlos Assis Diniz^{1*}, Vilma Marques Ferreira¹, Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa¹, Marcelo de Menezes Cruz¹, José Vieira da Silva¹, João Messias dos Santos¹, Iêdo Teodoro¹, Vera Lucia Dubeux Tôrres¹, Lailton Soares¹, Adeilson Mascarenhas de Oliveira Silva¹, Bruno Fernando Costa do Nascimento¹, Antônio José Rosário Sousa¹, Carlos Alberto Guedes Ribeiro¹, Antônio Jorge de Araújo Viveiros¹, Francisco Sampaio Filho¹ and Edjane Gonçalves de Freitas¹

Crop Breeding and Applied Biotechnology
19(4), 466-470, 2019
Brazilian Society of Plant Breeding.
Printed in Brazil
<http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332019v19n4c66>

Abstract: *Sugarcane cultivar RB0442 has a high yield, late maturation and good drought tolerance. It is recommended for planting in restrictive environments, mainly with water-deficient soils, and is resistant to the major sugarcane diseases of the Northeastern region of Brazil.*

Keywords: *Saccharum spp.*, plant breeding, water stress.

INTRODUCTION

Water is the main limiting factor for sugarcane productivity (Inman-Bamber and Smith 2005). In some regions of Brazil, lower mean yields in the last harvests were reported, due to water scarcity (Teodoro et al. 2017). Under the cultivation conditions for sugarcane in the state of Alagoas, where dry periods are quite common, the soil can become highly water deficient, consequently stress the plants with drought and cause significant yield reductions of sugarcane and by-products (Barbosa 2018).

The Inter-University Network for the Development of the Sugarcane Industry (RIDESA) is responsible for the development of sugarcane cultivars with improved traits, e.g., a high agro-industrial yield, resistance to the major pests and diseases, high sugar content in different growth periods and high suitability for mechanical planting and green cane harvesting (Barbosa et al. 2012, Barbosa et al. 2015, Carneiro et al. 2015, Carneiro et al. 2019, Daros et al. 2017 and Daros et al. 2018). To minimize yield losses due to water deficiency, the Sugarcane Breeding Program of the Center of Agricultural Sciences (CECA) of the Federal University of Alagoas (UFAL), member of RIDESA, has developed a series of cultivars tagged RB (Republic of Brazil), with high agro-industrial yield for harsh conditions (poor soils and water stress). This study describes cultivar RB0442 (*Saccharum spp.*), a highly promising cultivar with characteristics of high agro-industrial yield and drought tolerance, recommended for planting in extensive parts of the Northeastern region of Brazil.

***Corresponding author:**

E-mail: assispc@gmail.com

 ORCID: 0000-0003-4831-3666

Received: 15 March 2019

Accepted: 04 June 2019

¹ Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, 57.100-000, Rio Largo, AL, Brazil

PEDIGREE AND BREEDING METHOD

The genetic origin of RB0442 (Figure 1) was a biparental cross performed in May 2004 at the Station for Flowering and Crossing of Serra do Ouro (lat 09° 13' S, long 35° 50' W, alt 500 m asl), Murici, AL, where the female RB72910 received pollen from the male parent RB931013. Parent RB72910 was chosen for its characteristics of drought tolerance and rusticity. In July of the same year, the caryopses from the crosses of the series RBO4 were germinated in a greenhouse of CECA/UFAL (lat 09° 28' S, long 35° 49' W, alt 127 m asl), in Alagoas. The resulting 21,000 seedlings were transplanted to a field of the sugarcane mill Caeté, in São Miguel dos Campos (lat 09° 42' S, long 36° 06' W, alt 97 m asl), Alagoas in October 2004. The trial of the first selection stage (T1) was arranged in an unreplicated block design, with single-row plots (length 11.5 m) spaced 1.0 m and plants (seedlings) spaced 0.5m apart. Nine months later (July 2005), in the plant cane crop, mass selection was performed, based on the following phenotypic characteristics: growth habit, diameter and number of stalks per clump, sugar content (brix) and disease resistance. The selected clones (415) were then planted at the research station of the sugarcane mill Porto Rico (water-stressed region), constituting the first clonal stage (T2); this station is based in Campo Alegre (lat 09° 48' S, long 36° 12' W, alt 106 m asl), Alagoas. At this stage, the experiment was planted in plots of two 3.5-m rows, spaced 1 m apart. Mass selection was performed in August 2006, in the plant cane crop, based on the same traits as in the first selection stage (T1). The second clonal stage (T3) of 55 selected clones was then planted at the same research station, in a randomized complete block design with two replications, in plots of five 4-m rows. The selection was performed based on data collected in the plant cane (2007), first and second ratoon crops (2008 and 2009), mainly for the traits: tons of cane per hectare (TCH), total recoverable sugars (TRS), in kilogram of sugar per ton of cane, determined by the method described by Fernandes (2003), and tons of TRS per hectare (TTRSH).

Between 2010 and 2017, 12 experiments were conducted at six different locations in the sugarcane region of Alagoas, at the research base of RIDESA/UFAL for final assessment trials. Each trial was arranged in a randomized complete block design, with four replications, planted in seven 6-m rows per plot (15 buds per meter); a total of 20 clones of the RBO4 series were planted. Selection was carried out based on data of 12 locations in three crop cycles (plant cane, first and second ratoon crops), which enabled the evaluation of the agro-industrial yield and assessment of phenotypic adaptability and stability (Eberhart and Russell 1966); the main measured traits were TCH, TRS and TTRSH. In all selections stages, cv. RB0442 was compared to the standard cv. RB92579, an important commercial cultivar for the sugarcane sector in Brazil as well as for sugarcane breeding (Diniz et al. 2018).

The optimum harvest period of cv. RB0442 was also evaluated, in comparison with the standard cv. RB92579, based on maturation curves throughout the months of sugarcane harvesting in Alagoas; i.e., from September 2011 to March 2012. For the evaluation of the cultivar performance and recommendation for planting, data were collected in 31 experimental harvests (13 plant cane, 10 first ratoon crop and 8 second ratoon crops), as well as in other experiments and/or complementary evaluations, which confirmed the superior traits of cultivar RB0442.

In one of the trials, 1 m x 1 m x 1 m trenches were opened to evaluate the root system. The root dry weight of the genotypes was also evaluated in a greenhouse study, using cylindrical Rizotrons (glass wall thickness 10 mm, height 1 m, diameter 0.18 m) with a semicircle shape.

PERFORMANCE

The mean results of 31 experimental crops showed a superior agro-industrial yield of cv. RB0442 than of standard cv. RB92579, in three crop cycles (plant cane, first ratoon and second ratoon crops) (Table 1). The mean gain for TCH was

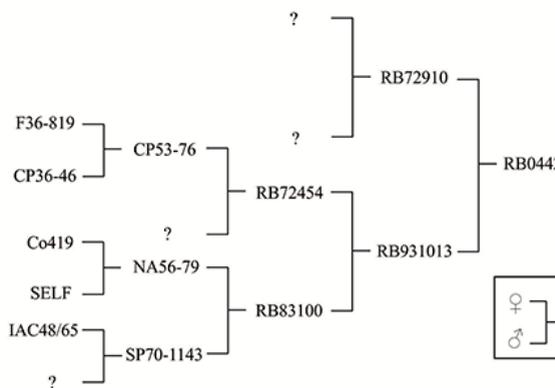


Figure 1. Pedigree of sugarcane cultivar RB0442.

Table 1. Means of the characteristics tons of cane per hectare (TCH) and tons of TRS per hectare (TTRSH) of the cultivars RB0442 and RB92579, according to the type of environment and crop cycle. Estimation of yield gain of cv. RB0442 compared to cv. RB92579. Mean results of 31 harvests in Alagoas

Environments	Crop cycle	TCH				TTRSH			
		RB0442	RB92579	Difference ⁺	%	RB0442	RB92579	Difference ⁺	%
All environments	Plant-cane	146.21	136.36	9.86	7.23	18.52	18.98	-0.46	-2.44
	First-ratoon	110.52	93.06	17.46	18.77	15.09	14.06	1.03	7.32
	Second-ratoon	124.54	99.46	25.08	25.22	15.60	13.95	1.65	11.81
	Mean	129.11	112.87	16.24*	14.39	16.66	16.09	0.56	3.50
Favorable environments	Plant-cane	165.12	154.56	10.56	6.83	20.97	21.24	-0.28	-1.31
	First-ratoon	140.87	131.29	9.58	7.30	19.10	20.43	-1.33	-6.50
	Second-ratoon	141.02	138.20	2.81	2.04	16.74	18.58	-1.84	-9.91
	Mean	157.68	148.46	9.22	6.21	20.03	20.71	-0.68	-3.28
Unfavorable environments	Plant-cane	103.68	95.41	8.27	8.67	13.00	13.88	-0.88	-6.34
	First-ratoon	102.93	83.50	19.43*	23.27	14.08	12.46	1.62	12.99
	Second-ratoon	119.05	86.55	32.50*	37.55	15.22	12.41	2.81	22.65
	Mean	108.47	87.16	21.31*	24.45	14.22	12.76	1.46	11.45

⁺ Difference between sugar yield of cv. RB0442 and reference RB92579; * significant at 5% by the t test.

16.24 tons (14.39%). According to the maturation curve of cv. RB0442, in spite of a lower sugar content, it has a 0.56 TTRSH (3.5%) higher sugar yield than the standard cultivar. Moreover, the data with most pronounced advantages over cv. RB92579 were observed under harsh conditions, with mean gains of 21.21 TCH (24.45%) and 1.46 TTRSH (11.45%) (Table 1). In these limiting environments, the rainfall of the season varied from 881 to 1,175 mm, i.e., insufficient to meet the crop water demand. The differences in performance were greatest in the experimental harvests of 2012, when Alagoas was affected by the most severe drought recorded in the last 100 years (Teodoro et al. 2017). The performance improvement of cv. RB0442 throughout the ratoon crops is also noteworthy, indicating good sprouting ability and longevity (Table 1). For the cultivation conditions of Alagoas, the maturation curve suggested an inferior performance of cv. RB0442 than of standard cv. RB92579, due to the lower sugar content. Consequently, for being a late-maturing cultivar, harvesting is recommended at the end of the crop cycle (Figure 2).

According to the results for TCH and TTRSH by the methodology of Eberhart and Russell (1966), cv. RB0442 has high adaptability and stability (Figure 3). In addition, a better performance of cv. RB0442 under unfavorable environments (harsh conditions) was observed, evidenced by the regression coefficients of < 1, for both TCH (0.94) and TTRSH (0.88).

Cultivar RB0442 has an abundant, deep and vigorous root system, with 16.13% higher dry weight than cv. RB92579 (Figure 4a and 4b). The deepening of the root system is one of the physiological drought tolerance mechanisms of plants (Endres et al. 2010) and is essential for a good performance of sugarcane cultivars in soils with low water availability.

In view of the high agricultural yield, rusticity and drought tolerance, cv. RB0442 is recommended for planting in restrictive environments, especially those subject to water deficit and medium to low fertility soils.

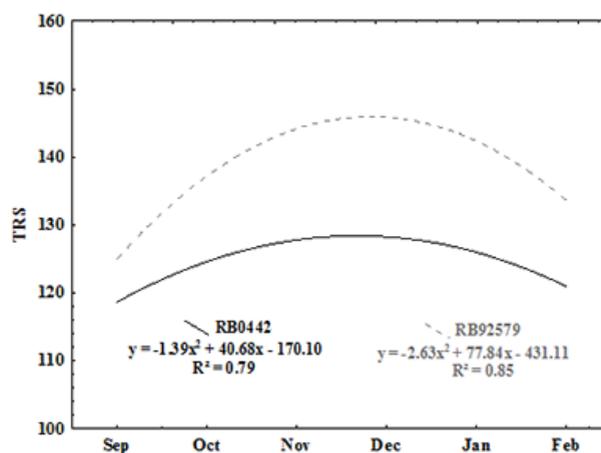


Figure 2. Maturation curves of cultivars RB0442 and RB92579 for total recoverable sugars (TRS).

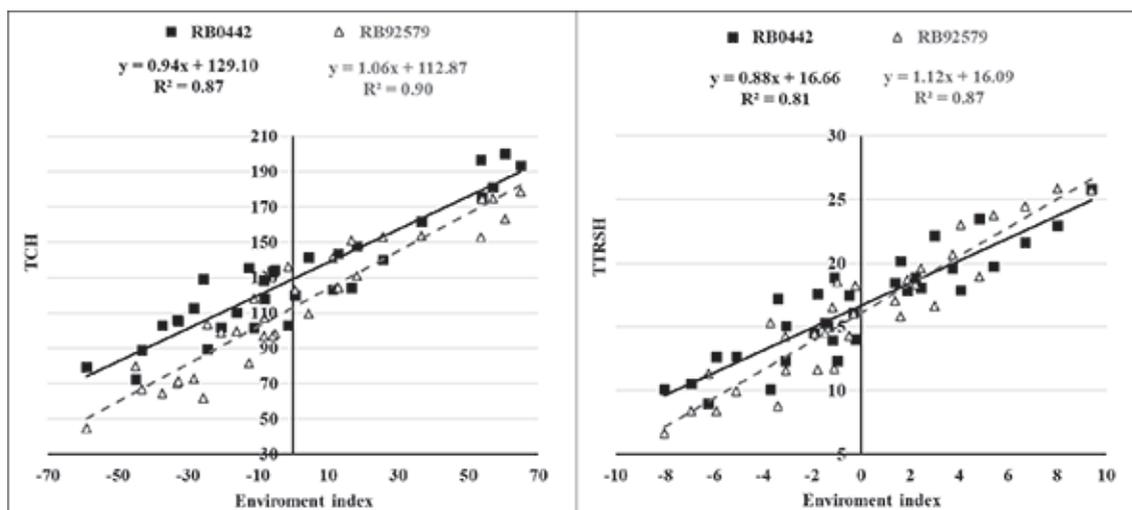


Figure 3. Means of tons of cane per hectare (TCH) and tons of TRS per hectare (TTRSH) of the cultivars RB0442 and RB92579, with linear regression fitting, based on the environmental index of 12 experiments (31 harvests), in Alagoas.

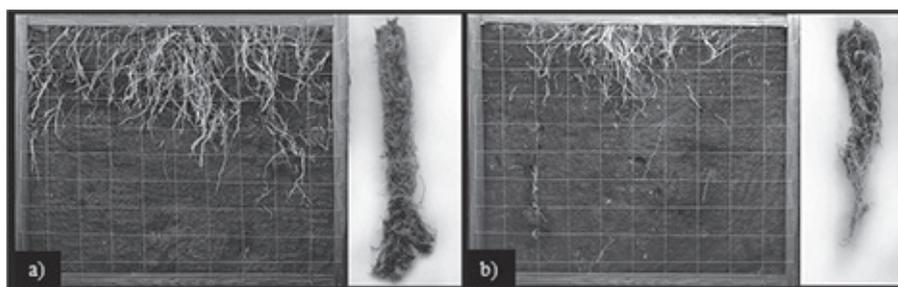


Figure 4. Depth, distribution and dry weight of the root system of the cultivars RB0442 (a) and RB92579 (b).

OTHER TRAITS

Morphology

Cultivar RB0442 has good sprouting and medium tillering capacity in plant cane and high tillering in the early ratoon crops, moderate growth speed and rapid inter-row closure; flowering can occur in years with favorable weather; the growth habit is semidecumbent and detrashing easy; the leaf canopy has a regular volume and is intermediate green; the medium width leaves have curved tips and poor edge serration; the ligule is ascending, the auricle transitional small and symmetrical; the dewlap is triangular and purple-green; the hairless leaf underside is purple-green and has a low amount of wax; the canopy is short with little wax; the stalk has cylindrical internodes with a circular section, arranged in a slight zigzag, with no bud groove; stalk length and diameter are average, the appearance stained, green-purple where exposed and purple-green under drying leaves, with shallow cracks with little wax and no hollow spaces in the stalks; the growth ring is yellowish/medium purple, with little protrusion; the root area has a medium width without aerial rooting and greenish yellow root primordia; the round, medium prominent bud never exceeds the growth ring and the bud cushion is narrow, with hairs at the apex and on the sub apical germ pores.

Reaction to diseases

Cultivar RB0442 is resistant to the two major sugarcane diseases in Alagoas, i.e., orange rust (*Puccinia kuehnii*) and leaf scald (*Xanthomonas albilineans*). Under natural infection and in disease-favorable years, the cultivar was classified as intermediate resistant to brown rust (*Puccinia melanocephala*), although the agro-industrial yield losses were not

significant. Moreover, the cultivar was also classified as intermediate resistant to smut (*Sporisorium scitamineum*, synonym of *Ustilago scitaminea*), a low-incidence disease in Alagoas and in the Northeastern region of Brazil.

GERMPLASM MAINTENANCE AND DISTRIBUTION OF BASIC SEEDLINGS

Plants of cv. RB0442 are maintained in clonal nurseries of the Breeding Program of RIDESA/UFAL (BR 104, Norte, km 85, 57100-000, Rio Largo, Alagoas) and seedlings are propagated from the basic plant registered by the National Register of Seeds and Seedlings (RENASEM) of the Brazilian Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA).

REFERENCES

- Barbosa GVS (2018) **Inovações tecnológicas desenvolvidas em Alagoas para o setor canavieiro**. FAPEAL/Imprensa Oficial Graciliano Ramos, Maceió, 136p.
- Barbosa GVS, Oliveira RA, Cruz MM, Santos JM, Silva PP, Viveiros AJA, Sousa AJR, Ribeiro CAG, Soares L, Teodoro I, Sampaio Filho F, Diniz CA and Torres VLD (2015) RB99395: Sugarcane cultivar with high sucrose content. **Crop Breeding and Applied Biotechnology 15**: 187-190.
- Barbosa MHP, Resende MDV, Dias LAS, Barbosa GVS, Oliveira RA, Peternelli LA and Daros E (2012) Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology S2**: 87-98.
- Carneiro MS, Chapola RG, Fernandes Júnior AR, Cursi DE, Balsalobre TWA and Hoffmann HP (2019) RB005014 – a sugarcane cultivar with high tillering and agroindustrial yield. **Crop Breeding and Applied Biotechnology 19**: 230-234.
- Carneiro MS, Chapola RG, Fernandes Júnior AR, Cursi DE, Barreto FZ, Balsalobre TWA and Hoffmann HP (2015) RB975952 – Early maturing sugarcane cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology 15**: 193-196.
- Daros E, Oliveira RA, Zambon JLC, Bessalok Filho JC, Brasileiro BP, Ido OT, Ruaro L and Weber H (2018) RB036066 – a sugarcane cultivar with high adaptability and yield stability to Brazilian South-Central region. **Crop Breeding and Applied Biotechnology 18**: 325-329.
- Daros E, Oliveira RA, Zambon JLC, Bessalok Filho JC, Brasileiro BP, Ido OT, Ruaro L and Weber H (2017) RB036088 – a sugarcane cultivar for mechanical planting and harvesting. **Crop Breeding and Applied Biotechnology 17**: 84-88.
- Diniz CA, Ferreira VM, Silva CB, Barbosa GVS, Araújo Neto JC and Santos JM (2018) Production and performance of sugarcane seeds (caryopses) from different hybridizations involving RB92579. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences 90**: 3243-3248.
- Eberhart SA and Russell WA (1966) Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science 6**: 36-40.
- Endres L, Silva JV, Ferreira VM and Barbosa GVS (2010) Photosynthesis and Water Relations in Brazilian Sugarcane. **The Open Agriculture Journal 4**: 31-37.
- Fernandes AC (2003) **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2nd edn, EME, Piracicaba, 240p.
- Inman-bamber NG and Smith DM (2005) Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research 92**: 185-202.
- Teodoro, I, Ferreira Junior RA, Lyra GB, Cantarelli ALD, Soares MAS, Santos JMD and Serqueira ACF (2017) Análise agrometeorológica de safras de cana-de-açúcar no estado de Alagoas. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos 36**: 40-43.