

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTA DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR A
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO VIA GOTEJAMENTO
SUBSUPERFICIAL**

João Alberto Fischer Filho
Engenheiro Agrônomo

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTA DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR A
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO VIA GOTEJAMENTO
SUBSUPERFICIAL**

João Alberto Fischer Filho

Orientador: Prof. Dr. José Renato Zanini

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Barcellos Dalri

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)

2018

F529r

Fischer Filho, João Alberto

Resposta de cultivares de cana-de-açúcar a lâminas de irrigação via gotejamento subsuperficial / João Alberto Fischer Filho. -- Jaboticabal, 2018

85 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: José Renato Zanini

Coorientador: Alexandre Barcellos Dalri

1. Saccharum spp. 2. Gotejamento. 3. Produtividade. 4. Tecnológica-análise. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: RESPOSTA DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO VIA GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

AUTOR: JOÃO ALBERTO FISCHER FILHO

ORIENTADOR: JOSÉ RENATO ZANINI

COORIENTADOR: ALEXANDRE BARCELLOS DALRI

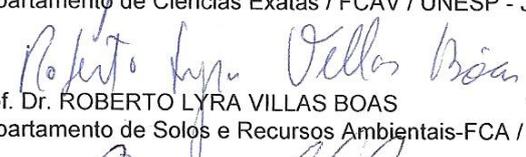
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSÉ RENATO ZANINI

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Profa. Dra. REGINA CÉLIA DE MATOS PIRES
Centro de Ecofisiologia e Biofísica-IAC / Campinas/SP


Prof. Dr. DILERMANDO PERECIN
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS
Departamento de Solos e Recursos Ambientais-FCA / Botucatu/SP


Prof. Dr. LUIZ FABIANO PALARETTI
Engenharia Rural / FCAV/UNESP - Jaboticabal/SP

Jaboticabal, 30 de outubro de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

João Alberto Fischer Filho – Brasileiro, nascido em 16 de maio de 1990 na cidade de Araras, SP. Filho de João Alberto Fischer e Márcia Aparecida Cardoso da Cunha Fischer. Ingressou em agosto de 2008 no curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Câmpus de Ilha Solteira/SP. Durante o período de graduação desenvolveu trabalhos na área de Economia Rural e posteriormente na área de Hidráulica e Irrigação sob orientação do Prof. Dr. João Luís Zocoler; foi monitor em três disciplinas e desenvolveu projeto de extensão em levantamento de preços de insumos agrícolas. Em agosto de 2013 obteve o título de Engenheiro Agrônomo e em março de 2014 iniciou o curso de Mestrado na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal/SP, na linha de pesquisa de Engenharia de Água e Solo, sob orientação do Prof. Dr. José Renato Zanini, desenvolvendo pesquisas com utilização de água residuária na agricultura, e em julho de 2015 obteve o título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo). Em agosto de 2015 ingressou no curso de Doutorado na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal/SP e em outubro de 2018 submeteu-se a defesa obtendo o título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo). Desde 2017, atua como professor nos cursos de Engenharia Agrônômica, Engenharia Ambiental e Zootecnia no Cento Universitário da Fundação Educacional de Barretos e no Instituto Municipal de Ensino Superior de Bebedouro.

“To infinity and beyond”

Buzz Lightyear

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora que me permitem a vida e saúde, pela força dada em todos os momentos de necessidade e por cultivarem a esperança de dias melhores; e à Santa Teresa pela calma em momentos de ansiedade.

Agradeço a minha mãe Márcia, pela fé que coloca em mim e por apoiar as minhas decisões. Ao meu pai João, por acreditar no meu potencial e dar tudo o que sempre precisei.

Às minhas irmãs Nathália e Nayara e meus avós Maria e Eufrosino por estarem ao meu lado em todos os momentos e sempre dispostos a me ajudar.

Às minhas sobrinhas Yasmin e Liz, obrigado por proporcionarem dias felizes em nossas vidas, demonstrarem e transbordarem amor incondicional, puro e sincero.

À Nadia Poloni, por estar presente em minhas conquistas desde o início da graduação, o meu muito obrigado pelo amor, dedicação, carinho, atenção, paciência e companheirismo em épocas de dificuldade e por suportar os momentos de minha ausência.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP) pela oportunidade de cursar o doutorado. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Renato Zanini, por dispor do seu tempo para me auxiliar nesta etapa, pela amizade e atenção desprendida a mim.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Alexandre Barcellos Dalri, pela oportunidade e paciência, pelo apoio nos diferentes momentos, pelos conselhos, ensinamentos e livros emprestados, por sua confiança, dedicação, atenção e amizade.

Aos alunos de graduação da FCAV/UNESP, Thiago Cavichioli, Fernando Pavanelo, Wendell Campos e Romeu Conti, por sempre buscarem conhecimento e ajudarem no desenvolvimento do trabalho. Aos alunos do Colégio Técnico Agrícola, Luís Domicino e José Ferreira, e aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, Carlos Aleixo, João Trentin e Luís Cláudio por auxiliarem na colheita do experimento.

Aos amigos de pós-graduação da FCAV/UNESP, em especial, Miquéias Gomes, Izabela Martins, Alexia Cascaldi, Anderson Coelho, Yane Freitas, Aline Barbosa e Geffson Dantas, por toda ajuda e troca de experiências, e pela amizade. E a todos os integrantes do Grupo de Pesquisa em Irrigação e Meio Ambiente (GPIMA), por colaborarem no desenvolvimento da agricultura irrigada.

Aos meus amigos de Jaboticabal, Carolina Franco, Eduardo Bizari, Marcelo Odorizzi, Cássia Alves, Fernanda Pereira e Hellen Pereira, pela amizade, conversas e momentos de descontração. E aos amigos do IMESB, Ezequias Correia, Renata Queiroz, Alexson Dutra, Alessandra Otuka e Luís Flávio por serem bons parceiros de caronas, de profissão e grandes incentivadores.

Aos meus fiéis e queridos amigos de Araras, Lucas Pastorello, Érick Remédio, Thiago Silva, Matheus Marchi, Flávio Matos, Victória Souza, Gabriela Mafra, Mariane Corte, Fabiane Pinke, Mariana Cunha e Luís Ricardo por me ensinaram que verdadeiras amizades continuam a crescer mesmo a longas distâncias, muito obrigado por me incentivarem, estarem presentes em minha vida e tornarem meus caminhos menos árduos.

À Nadir, Rui, Flavia e Katia Poloni, Jonas Felinto, Juliano Malagezi e Guilherme Wittig por sempre me apoiarem e acreditarem em mim.

Ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC) pelo fornecimento das mudas de cana-de-açúcar. A Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pela concessão de bolsas aos alunos da graduação da FCAV/UNESP que participaram do presente trabalho.

E a todos que em algum momento influenciaram minha vida e nunca me negaram ajuda.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 A cultura de cana-de-açúcar	3
2.1.1 Importância e produção no Brasil	3
2.1.2 Características botânicas e fenológicas	5
2.1.3 Características agronômicas e tecnológicas.....	8
2.1.4 Cultivares e manejo de cana-de-açúcar	11
2.2 Irrigação por gotejamento subsuperficial.....	13
2.3 Irrigação em cana-de-açúcar.....	15
2.3 Necessidades hídricas e déficit hídrico na cana-de-açúcar.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Época e localização do experimento.....	22
3.2 Delineamento experimental.....	23
3.3 Estrutura experimental	24
3.3.1 Plantio da cultura	24
3.3.2 Adubação mineral e controle fitossanitário	24
3.3.3 Cultivares utilizadas.....	26
3.3.4 Tubo gotejador utilizado no trabalho.....	26
3.3.5 Equipamentos e manejo da irrigação	27
3.4 Avaliações	29
3.4.1 Características biométricas.....	29
3.4.2 Características tecnológicas	34
3.4.3 Produtividade e eficiência do uso da água	36
3.5 Forma de análise dos resultados	37

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Parâmetros climáticos	38
4.2 Análises biométricas da cultura	40
4.2.1 Crescimento da cana-de-açúcar	40
4.2.2 Diâmetro da cana-de-açúcar	45
4.2.3 Número de perfilhos	49
4.2.4 Área foliar	53
4.2.4.1 Número de folhas verdes	53
4.2.4.2 Área foliar	55
4.2.4.3 Índice de área foliar	58
4.3 Análises tecnológicas da cana-de-açúcar	61
4.4 Análises produtivas da cana-de-açúcar	64
4.4.1 Estimativa da produtividade	64
4.4.2 Produtividade de colmos e de açúcar	66
4.4.3 Eficiência do uso da água	69
5. CONCLUSÃO	71
6. REFERÊNCIAS.....	72
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	85

RESPOSTA DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR A LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO VIA GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

RESUMO – A cana-de-açúcar é cultivada em muitos países e em diversos ambientes de produção, sendo a água um fator limitante para que a cultura tenha elevadas produtividades. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de lâminas de irrigação, via gotejamento subsuperficial, nas características biométricas, na qualidade tecnológica, produtividade e eficiência do uso da água (EUA) de cinco cultivares, em segunda soca. O delineamento experimental foi o de blocos balanceados, com 12 blocos e dois fatores: cultivares (CTC 4, IACSP93-3046, RB86-7515, IACSP95-5000 e IAC91-1099) e lâminas de irrigação (sequeiro, deficitária e suplementar). A necessidade de água foi estimada por meio das variáveis climáticas. A partir da evapotranspiração da cultura (ET_c) estimada foram definidas lâminas de irrigação equivalentes a 100% da ET_c para o tratamento suplementar e 50% para o deficitário, e a irrigação foi realizada sempre que ocorreu déficit de 20 mm. O uso da irrigação proporcionou condições para as plantas se estabelecerem e expressarem melhor suas características biométricas, principalmente no início do desenvolvimento vegetativo; com destaque as cultivares RB86-7515 (com maiores alturas, diâmetros de colmos e área foliar), a CTC 4 com maior perfilhamento e a IAC91-1099 (maiores números de folhas e índice de área foliar). Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas para sólidos solúveis totais e teor de fibra. As quantidades de sacarose no caldo (POL) e na cana (PC) não diferiram entre as cultivares, porém, a irrigação suplementar proporcionou maiores valores dos parâmetros avaliados. Os teores de pureza de todos tratamentos foram superiores ao recomendado (85%) e diferiram entre as cultivares. No regime de irrigação suplementar a cultivar IAC91-1099 apresentou maior valor de açúcares totais recuperáveis (ATR), igual a 165,62 kg t⁻¹ e as maiores produtividades de colmos e de açúcares, 157,02 e 26,01 t ha⁻¹, respectivamente, podendo ser recomendada para plantio em áreas de sequeiro e irrigadas por gotejamento subsuperficial. A irrigação deficitária proporcionou ganhos médios nas produtividades de colmo e de açúcar semelhantes às da irrigação suplementar, com economia de água e energia.

Palavras-chave: eficiência do uso da água, déficit hídrico, irrigação localizada, *Saccharum* spp.

RESPONSE OF SUGAR CANE CULTIVARS TO IRRIGATION DEPTHS UNDER SUBSURFACE DRIP

ABSTRACT – Sugar cane is grown in many countries and diverse production environments, with water being a limiting factor for high crop yields. This study aimed to evaluate the effect of irrigation depths, under subsurface drip, on the biometric characteristics, technological quality, productivity and water use efficiency (WUE) of five cultivars in the third crop cycle. The experimental design was of balanced blocks, with 12 blocks and 2 factors: cultivars (CTC 4, IACSP93-3046, RB86-7515, IACSP95-5000 and IAC91-1099) and irrigation depths (dry, deficit and supplementary). The need for water was estimated by means of climatic variables. From the evapotranspiration of the crop estimated (ET_c) irrigation depths equivalent to 100% of the ET_c were defined for the supplementary treatment and 50% for the deficit, and irrigation was performed whenever there was a deficit of 20 mm. The use of irrigation provided conditions for plants to establish and better express their biometric characteristics, especially at the beginning of vegetative development; highlighting the cultivars RB86-7515 (with higher heights, plant diameters and leaf area), CTC 4 with higher tillering and IAC91-1099 (higher leaf numbers and leaf area index). No significant statistical differences were found for total soluble solids and fiber content. The amounts of sucrose in the juice (POL) and the cane (PC) did not differ among the cultivars, however, additional irrigation provided higher values of the evaluated parameters. The purity levels of all treatments were higher than the recommended (85%) and differed between the cultivars. In the supplementary irrigation, the cultivar IAC91-1099 showed the highest total sugar value (ATR), equal to 165.62 kg t⁻¹ and the highest yields of stalks and sugars, 157.02 and 26.01 t ha⁻¹, respectively, and can be recommended for planting in rainfed areas and irrigated by subsurface drip irrigation. The deficit irrigation provides average gains in sugar and sugar yields similar to those of supplementary irrigation, in addition to saving water and energy.

Key words: water use efficiency, water deficit, drip irrigation, *Saccharum* spp.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas do solo da área experimental	23
Tabela 2. Equações que descrevem as curvas características de retenção de água da área experimental	23
Tabela 3. Características químicas do solo após o segundo corte da cana, em maio de 2016, Jaboticabal, SP	25
Tabela 4. Características químicas do solo (micronutrientes) após o segundo corte da cana, em maio de 2016, Jaboticabal, SP	25
Tabela 5. Datas das fertirrigações, número da aplicação e a porcentagem da dose aplicada via fertirrigação por gotejamento	26
Tabela 6. Valores do coeficiente de cultura (kc) utilizados no manejo da cultura de cana-de-açúcar em segunda soca.....	28
Tabela 7. Datas das avaliações biométricas e dias após o corte (DAC)	29
Tabela 8. Análise de variância para o experimento.....	37
Tabela 9. Equações para altura em cada regime hídrico das cultivares em função dos DAC	41
Tabela 10. Resumo da análise de variância, valores de F, para as alturas médias avaliadas, para cada DAC	42
Tabela 11. Valores médios de altura (m) de cultivares de cana-de-açúcar, em cada regime hídrico, em função de DAC	42
Tabela 12. Resumo da análise de variância, valores de F, para os diâmetros médios avaliados, para cada DAC	45
Tabela 13. Valores médios do diâmetro (mm) de cultivares de cana-de-açúcar, em cada regime hídrico, em função de DAC	46
Tabela 14. Resumo da análise de variância, valores de F, para o número de colmos avaliados, para cada DAC	49
Tabela 15. Valores médios do número de colmos por metro, de cultivares de cana-de-açúcar, em cada regime hídrico, em função de DAC.....	49
Tabela 16. Teste de comparação de médias para o perfilhamento na colheita (412 DAC) de cinco cultivares de cana-de-açúcar em função do regime hídrico	52
Tabela 17. Resumo da análise de variância, valores de F, para o número de folhas avaliados, para cada DAC	53
Tabela 18. Valores médios do número de folhas verdes por colmo de cultivares de cana-de-açúcar, em cada regime hídrico, em função de DAC.....	53
Tabela 19. Equações para determinação da área foliar (folha +3) de cultivares de cana-de-açúcar em função do regime hídrico.....	56
Tabela 20. Resumo da análise de variância, valores de F, para a área da folha +3, para cada DAC	56
Tabela 21. Valores médios da área da folha+3 de cultivares de cana-de-açúcar (cm ²), em cada regime hídrico, em função de DAC	58
Tabela 22. Valores médios de índice de área foliar (IAF) de cultivares de cana-de-açúcar, em cada regime hídrico, em função de DAC.....	60
Tabela 23. Resumo da análise de variância, valores de F, para os parâmetros tecnológicos dos colmos.....	62

Tabela 24. Valores médios de sólidos solúveis e teor de fibra na qualidade da cana-de-açúcar	62
Tabela 25. Valores médios de PC (%) e POL (%) na qualidade da cana-de-açúcar	63
Tabela 26. Valores médios de Pureza (%) e ATR (kg t^{-1}) na qualidade da cana-de-açúcar	63
Tabela 27. Valores médios para a produtividade estimada de cinco cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico	65
Tabela 28. Resumo da análise de variância, valores de F, para as produtividades de colmos e de açúcar	66
Tabela 29. Produtividade de colmos de cinco cultivares de cana-de-açúcar	66
Tabela 30. Produtividade de açúcar de cinco cultivares de cana-de-açúcar	68
Tabela 31. Eficiências do uso da água em função das cultivares e dos regimes hídricos	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução da produção total e da produtividade da cana-de-açúcar no Brasil, entre os anos de 1961 e 2014. Fonte: FAO (2017)	4
Figura 2. Fases fenológicas da cana-de-açúcar com ciclo anual. Fonte: Gascho e Shih (1983)	7
Figura 3. Composição tecnológica da cana-de-açúcar. Fonte: Lavanholi (2008)	10
Figura 4. Brotação inicial da cana-de-açúcar após o segundo corte	22
Figura 5. Esquema da área experimental	24
Figura 6. Representação de uma planta de cana-de-açúcar e localização de suas folhas. Fonte: Nassif et al. (2013)	30
Figura 7. Representação das folhas de cana-de-açúcar considerando as folhas verdes e folhas mortas	32
Figura 8. Integrador de área foliar de bancada (modelo LI-3100, marca LI-COR) determinando área foliar da cana-de-açúcar	33
Figura 9. Valores da temperatura máxima, temperatura mínima, e temperatura média diária do ar	38
Figura 10. Valores observados de precipitação diária no período experimental e as lâminas de irrigação aplicadas	39
Figura 11. Valores estimados da evapotranspiração da cana-de-açúcar, diários e acumulados	40
Figura 12. Crescimento médio de cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico e dias após o corte	44
Figura 13. Altura da cana-de-açúcar em três regimes hídricos	45
Figura 14. Diâmetro médio de cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico e dias após o corte	48
Figura 15. Número de colmos médio de cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico e dias após o corte	51
Figura 16. Número de folhas verdes de cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico e dias após o corte	55
Figura 17. Área da folha +3 de cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico e dias após o corte	57
Figura 18. Índice de área foliar de cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico e dias após o corte	59
Figura 19. Eficiências do uso da água em função das cultivares e dos regimes hídricos	70

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) destaca-se como uma das principais culturas agrícolas produzidas no mundo, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, em razão da sua importância na produção de sacarose, etanol e energia. O Brasil é o principal produtor mundial da cultura, com 657,2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar processadas em 9,0 milhões de hectares na safra de 2016/17 (Conab, 2017). Entretanto, a produtividade de 72,6 toneladas por hectare é considerada baixa, em razão da distribuição irregular de chuva ao longo do ano, da não adoção de tecnologia e, muitas vezes, de manejos culturais ineficientes.

Em muitas regiões produtoras de cana-de-açúcar as chuvas não atendem à demanda hídrica da cultura. Em vista disso a água torna-se limitante para a produção (Inman-Bamber e Smith, 2005), por desempenhar papel fundamental nos processos bioquímicos e metabólicos das plantas (Taiz e Zeiger, 2013). A irrigação é uma das estratégias para diminuir os efeitos do déficit hídrico, contudo em algumas situações, tornar-se inviável devido a custos elevados de implantação e de manutenção ou pela escassez de recursos hídricos próximos à área cultivada. Sendo assim, há necessidade de seleção de cultivares de cana-de-açúcar tolerantes ao déficit hídrico, que utilizem menor quantidade de água para manter ou aumentar sua produtividade (Holanda et al., 2014).

O setor agrícola possui baixa eficiência de uso da água (Deng et al., 2015), deste modo, a procura de alternativas para reduzir a quantidade de água usada nas culturas agrícolas é de crescente importância. É destaque que a escolha de cultivares resistentes à deficiência hídrica nas novas áreas de expansão da cana-de-açúcar possibilita o plantio mais seguro e com maior viabilidade econômica (Ecco et al., 2014).

O manejo varietal torna-se indispensável, especialmente em cultivos irrigados, pois existem cultivares que apresentam maior potencial de produção quando são irrigadas, e outras são adaptadas a ambientes com restrição hídrica (Silva et al., 2013). Assim, devem ser utilizados índices para identificar cultivares mais tolerantes, como de eficiência do uso da água (Ko e Piccini, 2009) que pode ser definido como sendo a quantidade de água utilizada para produzir uma unidade de produtividade

(Fader et al., 2010; Sun et al., 2013). De acordo com Olivier e Singels et al. (2015), a eficiência do uso da água (EUA) é influenciada pela cultivar, enfatizando a importância da escolha correta, uma vez que o genótipo leva à utilização mais eficiente da água e à maior produtividade.

O consumo de água pelas plantas difere entre culturas, cultivares, regiões, condições ambientais e climáticas, umidade do solo e entre sistemas irrigados ou não irrigados (Liu et al., 2007; Fader et al., 2010; Silva et al., 2013), assim o uso de índices de eficiência do uso da água é essencial para definir cultivares responsivas para os diversos manejos culturais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de lâminas de irrigação (0, 50% e 100% da evapotranspiração da cultura (ET_c), via gotejamento subsuperficial, nas características biométricas, qualidade tecnológica, produtividade de colmos e açúcar e eficiência do uso da água de cinco cultivares de cana-de-açúcar em segunda soca.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura de cana-de-açúcar

2.1.1 Importância e produção no Brasil

A cana-de-açúcar passou a despertar grande interesse após sua difusão a outros continentes desde séculos passados, onde o produto originário do seu beneficiamento (açúcar) apresentava alto valor comercial (Goldemberg, 2007). Em meados da década de 1970 com a crise do petróleo recorreu-se à produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, para a utilização direta em motores ou em mistura com a gasolina, e a partir de então, o etanol passou a absorver uma parte da matéria prima destinada para a produção do açúcar (Mozambani et al., 2006).

A importância econômica da cultura para os países produtores se deve ao fato de a cana-de-açúcar ser matéria prima básica para diversos produtos industrializados, dos quais se destacam o açúcar, etanol, aguardente e, ainda, ser responsável pela produção de energia utilizando subprodutos da indústria (Rodolfo Júnior, 2015). Além da atividade canavieira proporcionar inúmeras oportunidades de empregos diretos e indiretos durante o processo produtivo e nas atividades relacionados a produção e comercialização de seus derivados (Cuenca e Nazario, 2005).

É uma das culturas agrícolas mais importantes do Brasil, o qual destaca-se como um dos maiores produtores mundiais (FAO, 2017), e mesmo com as crises cíclicas que ocorrem no setor, existem projeções de crescimento da produção em virtude da demanda mundial por açúcar e combustível alternativo aos derivados de petróleo, e de outros produtos originários da cana-de-açúcar.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento na safra de 2016/17 o País esmagou 657,2 milhões de toneladas de cana, de 9,0 milhões de hectares e a produtividade média foi de 72,6 toneladas de cana por hectare. A previsão para a safra 2017/18 é que produção e área colhida total tenham um decréscimo com, respectivamente, 647,6 milhões de toneladas e 8,8 milhões de hectares, entretanto, espera-se um aumento produtividade média, 73,3 toneladas de cana por hectare (Conab, 2017).

O estado de São Paulo é o maior produtor do País, com 52,7% da área plantada (4,77 milhões de hectares), seguido por Goiás com 10,6% (926,6 mil hectares), Minas Gerais com 9,4% (853,1 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 6,8% (619,0 mil hectares), Paraná com 6,8% (617,7 mil hectares), Alagoas com 3,6% (322,2 mil hectares), Pernambuco com 2,7% (243,7 mil hectares) e Mato Grosso com 2,5% (229,9 mil hectares). No estado de São Paulo ocorreu aumento da área plantada de, aproximadamente, 24,8% nos últimos dez anos e a projeção para a safra de 2017/18 é que sejam colhidas 352,2 milhões de toneladas de cana com produtividade de 77,3 toneladas por hectare (Conab, 2017).

Segundo dados da FAO (2017) a produção da cultura no País tem apresentado crescimento constante entre 1961 e 2014, com poucas safras que ocorreram quedas em relação às safras anteriores. Destaca-se positivamente o ano de 2013 com a maior produção, aproximadamente, 768,1 milhões de toneladas de cana colhida. Já a produtividade da cultura, para a mesma série de dados, teve crescimento até o ano de 2009 quando atingiu média de 80,3 toneladas de cana por hectare, entretanto destaca-se que esse crescimento ao longo do período foi menos acentuado que a produção e que desde o ano de 2010 ocorreu redução da produtividade no País, em razão da expansão para regiões com déficits mais acentuados (Figura 1).

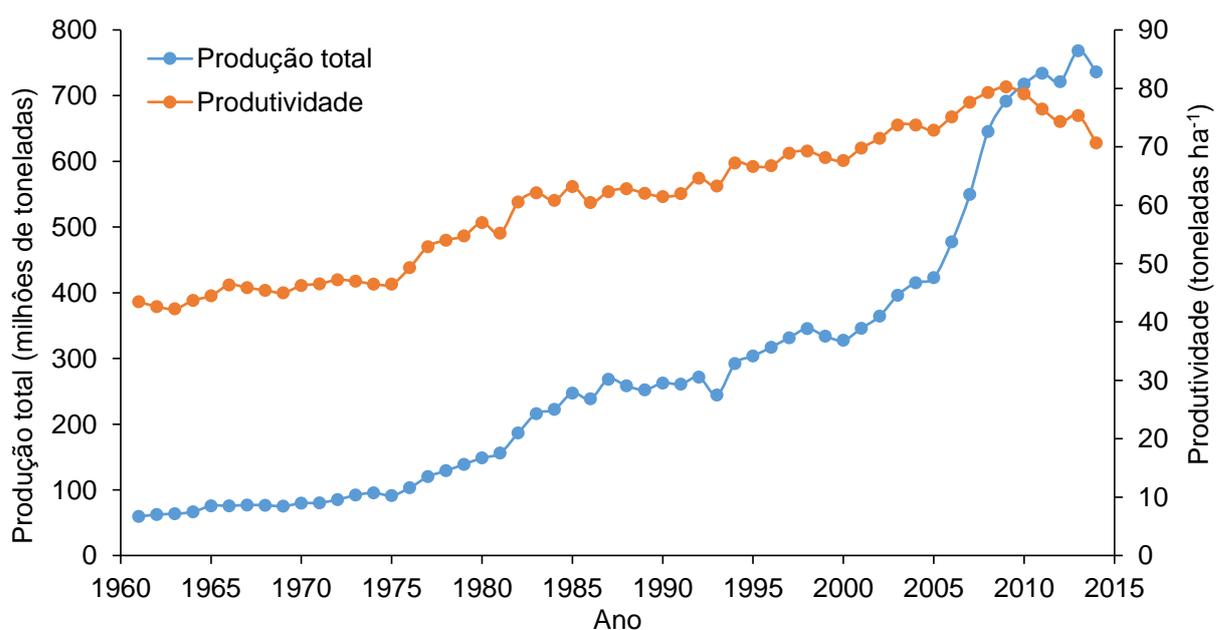


Figura 1. Evolução da produção total e da produtividade da cana-de-açúcar no Brasil, entre os anos de 1961 e 2014. Fonte: FAO (2017).

Na indústria, os dados atuais mostram aumento no crescimento dos subprodutos (açúcar e etanol). A produção de açúcar para a safra 2017/18 está estimada em 38,71 milhões de toneladas, próximo aos 38,69 milhões de toneladas na safra passada, sendo que 72,7% do açúcar no País foi produzido na região Sudeste, 10,9% na região Centro-Oeste, 8,3% na região Sul, 7,9% na região Nordeste, e 0,1% na região Norte. A expectativa da produção de etanol para a safra 2017/18 é de 27,8 bilhões de litros, e é inferior a produção de 2016/17 que foi de 30,5 bilhões de litros. Destacando os estados de São Paulo e Goiás como os maiores produtores de etanol hidratado (combustível) do País, com 7,6 e 3,4 bilhões de litros, respectivamente (Conab, 2017).

O cultivo comercial da cana-de-açúcar tem como características desejáveis boa produtividade, qualidade tecnológica e a longevidade do canavial. A produtividade é definida pelo aumento da produção de colmos por área; já a qualidade aponta elevado teor de açúcar da cana, e ao relacionar à produtividade tem-se a produção por unidade de área (produtividade de açúcar). E por fim, a longevidade está relacionada ao desempenho de produção, ou seja, manter a produtividade mesmo na reforma do canavial (Vian, 2017). Assim, é importante destacar a necessidade de se encontrar cultivares que apresentam as características que melhor se adaptem as principais regiões de cultivo.

2.1.2 Características botânicas e fenológicas

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma planta perene, que apresenta comportamento semi perene, da família Poaceae. É classificada em: Divisão - Magnoliophyta, Classe - Magnoliopsida, Ordem - Graminales, Família - Poaceae e Gênero - *Saccharum* (Cronquist, 1981). De acordo com Gupta et al. (2010), as cultivares produzidas atualmente são híbridas resultantes dos cruzamentos de várias espécies do gênero *Saccharum*, sendo elas a *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. sinense*, *S. barberi*, *S. robustum* e *S. edule*.

Originária da Nova-Guiné foi introduzida pelos árabes, primeiramente, na Ásia e no continente Europeu, na época das invasões. Posteriormente foi trazida para a América onde encontrou boas condições, altas temperaturas e pluviosidades, para o

seu desenvolvimento, o que possibilitou a este continente ser o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo (Mozambani et al., 2006).

Caracteriza-se por ser uma planta de metabolismo C_4 , ou seja, forma compostos orgânicos com quatro carbonos, tendo como principais características a alta eficiência fotossintética, suportar temperaturas elevadas (30 a 40 °C) e ter elevado ponto de saturação luminosa (Taiz e Zeiger, 2013). Quantitativamente, isto propicia à cana-de-açúcar, em relação às plantas de metabolismo C_3 , uma taxa de crescimento e eficiência do uso da água de duas a três vezes superior (Casagrande, 1996). Portanto, caracteriza-se por ser altamente adaptada às condições tropicais, nas quais se tem alta intensidade luminosa, temperaturas elevadas e relativos períodos de estresse hídrico (Segato et al., 2006).

Desenvolve-se na forma de touceira, com perfilhos em sua base, com altura de colmos superior a 2,0 m e 0,05 m de diâmetro, a parte aérea é formada por colmos, onde a sacarose é predominantemente estocada, folhas alternadas, inflorescência (conjunto de flores arranjadas em uma haste) e frutos, e a subterrânea por raízes e rizomas (caules subterrâneos, espessados e ricos em reservas), os quais são formados por nós, entrenós e gemas, que por sua vez formam os perfilhos da touceira (Segato et al., 2006).

A cana-de-açúcar ainda não tem uma classificação bem definida de seus estádios fenológicos, o que acaba dificultando a sua identificação no campo. Uma das classificações mais utilizadas na literatura é aquela proposta por Gascho e Shih (1983), os quais definem que a cana-de-açúcar apresenta quatro diferentes estádios de desenvolvimento em sua fenologia (Figura 2), sendo eles: brotação e emergência dos brotos (colmos primários); perfilhamento e estabelecimento da cultura; período do grande crescimento (do perfilhamento final ao início da acumulação da sacarose), e maturação (intensa acumulação de sacarose nos colmos).

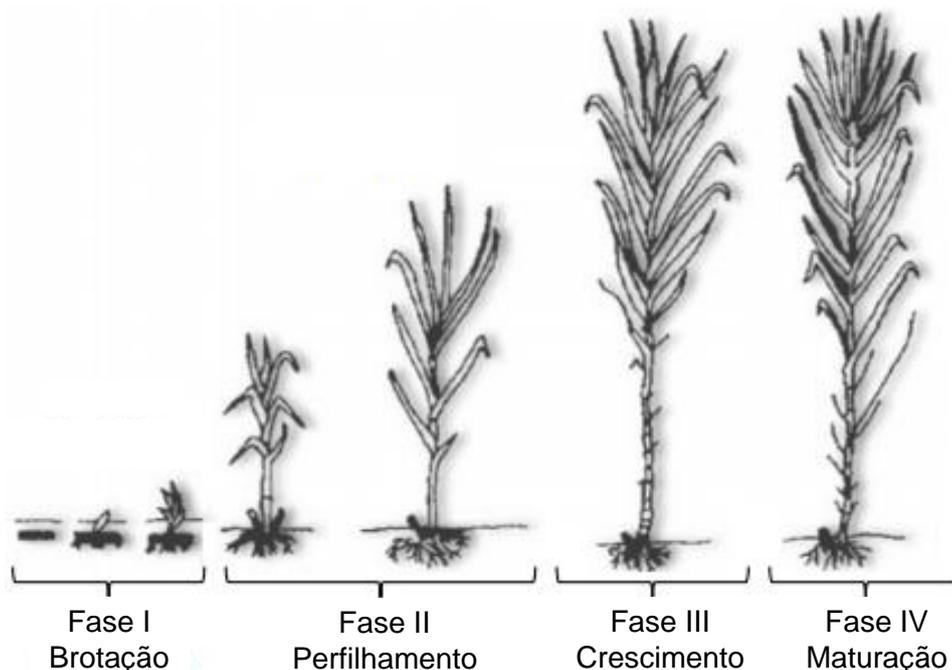


Figura 2. Fases fenológicas da cana-de-açúcar com ciclo anual. Fonte: Gascho e Shih (1983).

A fase de brotação e estabelecimento inicial da cultura (fase I) tem como principais aspectos o crescimento lento e a ocorrência da brotação, a qual é influenciada diretamente pelas condições ambientais fornecidas à cultura, tais como, a umidade do solo e temperatura ambiente, com uma faixa adequada de temperatura entre 28 e 30 °C (Liu et al.,1998).

A fase de perfilhamento (fase II) ocorre da emergência dos brotos até o final do perfilhamento. Segundo Gascho e Shih (1983), o perfilhamento é regulado por hormônios, resultando no crescimento de brotos que vão para a superfície do solo. Estes brotos aparecerem entre 20 a 30 dias após a emergência do colmo primário da planta e a partir desse processo há a formação da touceira e dos colmos que posteriormente serão colhidos. Na fase inicial do desenvolvimento da cana-de-açúcar há intenso perfilhamento, posteriormente com o aumento da competição por água, luz e nutrientes ocorre redução no número de perfilhos por touceira, definindo a quantidade de perfilhos por hectare.

A terceira fase fenológica da cultura é caracterizada pela alongação dos colmos (fase III), sendo o estágio mais importante, pois é quando se acumulam aproximadamente 75% da matéria seca total. Inicia-se de forma lenta logo após o

máximo perfilhamento, seguido por período de acelerado crescimento e posteriormente se torna lento e é quando se inicia a intensificação do acúmulo de sacarose nos tecidos dos colmos (Gascho e Shih, 1983; Crusciol et al., 2010).

A maturação da cana-de-açúcar (fase IV), é a última fase do ciclo, sendo caracterizada pela intensificação da concentração de sacarose nos colmos, que teve prévio início concomitante com a fase III, o que vai resultar diretamente na qualidade industrial da matéria-prima dos colmos remanescentes do perfilhamento na touceira (colmos industrializáveis) (Gascho e Shih, 1983).

Assim, é de grande importância a realização de trabalhos que avaliem possíveis modificações morfofisiológicas nos diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar dentro do ciclo produtivo. Tais trabalhos auxiliam no aperfeiçoamento das técnicas produtivas e eficiência do manejo das plantas no campo (Batalha, 2011; Marafon, 2012).

2.1.3 Características agronômicas e tecnológicas

O crescimento da cana-de-açúcar pode ser determinado através de análises biométricas da cultura, as quais utilizam variáveis como altura da planta, diâmetro do colmo, densidade de perfilhos, área e estrutura foliar, eficiência do uso da água e acúmulo sequencial de massa seca, os quais podem auxiliar a identificar os diferentes potenciais de produção das cultivares (Marafon, 2012). Destaca-se que essas características morfológicas podem apresentar relação direta e positiva com a produção do canavial e, em consequência, na eficiência do acúmulo de biomassa e sacarose.

A análise de crescimento da cana-de-açúcar possibilita a identificação das diferentes fases de desenvolvimento da cultura nos mais diversos ambientes de cultivo, de modo a permitir a sua condução de forma que o máximo de desenvolvimento da planta coincida com as épocas em que se têm maiores disponibilidade hídrica e radiação, o que proporciona à cultura melhores condições de se desenvolver, além de possibilitar o manejo de adubação e tratos culturais (Stone et al., 1999). Além disso, o acompanhamento do desenvolvimento da cultura é importante na estimativa da produtividade agrícola.

As avaliações biométricas da cultura podem, também, ser utilizadas no suporte para a seleção de genótipos no melhoramento genético, além de abastecerem bancos de dados para uso de modelagens, que permitem fazer estimativas de produtividade de culturas (Landell e Bressiani, 2008). Deste modo, a análise de crescimento da cana-de-açúcar tem sido utilizada por pesquisadores, por possibilitar entender as diferenças de crescimento entre as cultivares, sendo estas de ordem genética ou resultantes das modificações do ambiente de produção.

O estudo da área foliar das plantas apresenta grande importância, em razão, das folhas serem responsáveis pela fotossíntese e produção de carboidratos essenciais ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais. Sendo assim, a determinação da área foliar em cultivares de cana-de-açúcar é importante por permitir correlacioná-la com o potencial produtivo da planta (Marafon, 2012; Oliveira et al., 2007).

Segundo Irvine (1975) há uma considerável associação entre a produtividade da cultura e a superfície total fotossinteticamente ativa, determinada pelo Índice de Área Foliar (IAF), intimamente ligado à quantidade de luz absorvida e à fotossíntese total. Entre os fatores que podem alterar a área de captação solar, destacam-se o estresse hídrico e as diferenças genéticas entre as plantas (arquitetura da parte aérea).

Os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar podem ser definidos como sendo uma série de características intrínsecas da própria planta, que podem ser alteradas pelo manejo agrícola e industrial adotado, os quais vão interferir no seu potencial para produção de açúcar, etanol e energia (Fernandes, 2000).

A matéria fresca da parte aérea da cana-de-açúcar é composta por folhas verdes e secas, ponteiros e colmos industrializáveis, sendo estes últimos os de maior valor econômico, em razão de estarem presentes as maiores quantidades de açúcares, e por representarem em torno de 80% em relação às demais partes da planta (Robertson et al., 1996).

Os colmos das plantas de cana-de-açúcar são constituídos de fibras (insolúveis em água) e caldo. O caldo é composto em grande parte por água e sólidos solúveis, onde encontram-se os não açúcares (orgânicos e inorgânicos) e os açúcares, com destaque para sacarose, glicose e a frutose (Figura 3). A sacarose é o açúcar com

maior teor presente no caldo da cana-de-açúcar (Lavanholi, 2008), e é dependente de fatores genéticos, de manejos ambientais, além de estar diretamente ligado com o ponto de maturação da planta, representando cerca de 12 a 15% do peso fresco (Humbert, 2013).

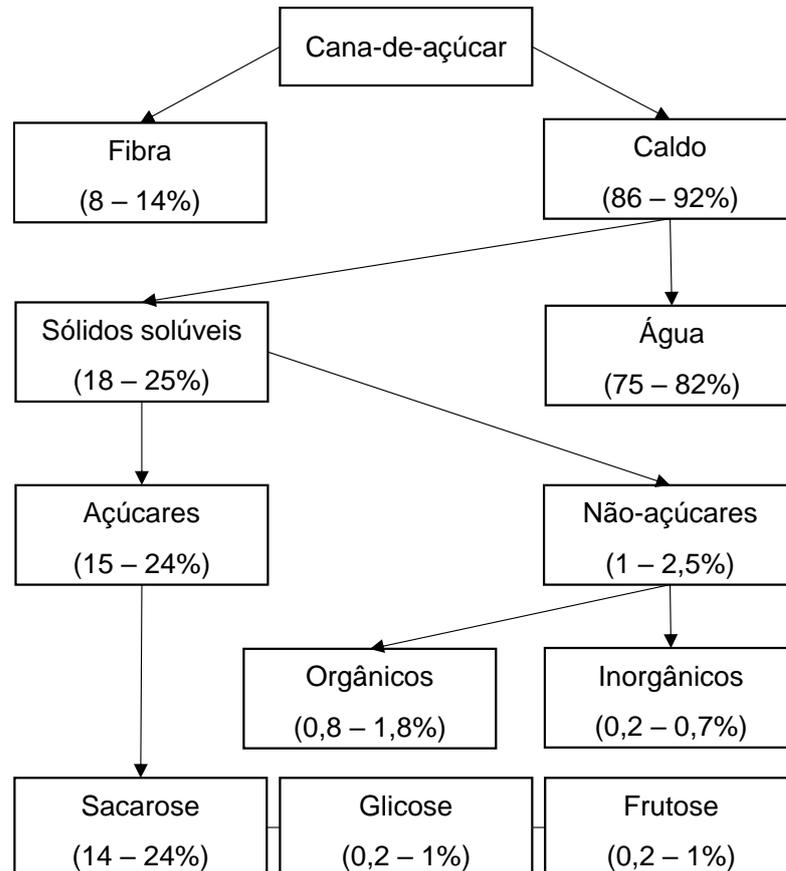


Figura 3. Composição tecnológica da cana-de-açúcar. Fonte: Lavanholi (2008).

A partir do caldo são realizadas as análises da matéria-prima para avaliação dos parâmetros de qualidade tecnológicos, que são: Brix, Pol% caldo, pureza, açúcares totais recuperáveis (ATR) e Pol% cana (Consecana, 2006). Estes atributos permitem a determinação das condições que a matéria-prima chega para o processamento, possibilitando prever a qualidade final do produto (Tasso Júnior et al., 2012).

A cana-de-açúcar caracteriza-se por apresentar potencial genético favorável para armazenar açúcares, principalmente sacarose. Sendo que, quando o potencial genético da cana é melhorado em razão das condições adequadas de cultivo e do uso

de cultivares apropriados para a região, resultam em excelente desenvolvimento da cultura (Silva et al., 2015).

2.1.4 Cultivares e manejo de cana-de-açúcar

As cultivares são híbridas obtidas por um cuidadoso e criterioso trabalho de seleção e melhoramento genético entre as cultivares conhecidas, fazendo com que características desejáveis para regiões e situações específicas sejam agrupadas por cruzamentos (Martins, 2004). A escolha da cultivar da cana-de-açúcar é a etapa mais importante, assumindo papel decisivo na produtividade da cultura e, conseqüentemente, possibilitando produzir cana-de-açúcar de qualidade e com menor custo (Silveira et al., 2002).

Resende Sobrinho (2000) estudando o comportamento de cultivares de cana-de-açúcar verificou que a escolha mais adequada de cultivares pode resultar em crescimento de 23% na produtividade da cana e 77% no teor de sacarose.

O estudo realizado por Landell et al. (2014) descreve as características agrônômicas de diferentes cultivares de cana-de-açúcar, entre as quais destacam-se as utilizadas no presente estudo: CTC 4, IACSP 93-3046, RB 86-7515, IACSP 95-5000 e IAC 91-1099.

a) CTC 4: Necessita de exigência média a alta em fertilidade do solo, possui ótima brotação de soqueiras, alto teor de sacarose, perfilhamento alto, diâmetro fino dos colmos, médio florescimento, destaque no plantio mecanizado, colheita no meio da safra e ótimo fechamento de entrelinha, além de ser tolerante à seca. Possui resistência a carvão, escaldadura, mosaico, ferrugem e tem intermediária resistência à broca.

b) IACSP 93-3046: Possui o perfil de maturação para o meio e fim de safra. Grande estabilidade de TCH (tonelada de cana por hectare) nos diversos ambientes de produção, sendo a época de colheita de junho a outubro. Não floresce nas condições do Centro-Sul do Brasil e tem hábito de crescimento ereto. Possui boa capacidade de brotação em áreas de colheita crua e queimada. Indicada para ambiente médio a desfavorável. Resistente ao carvão, escaldadura e à ferrugem. Ótimos resultados em condições de déficit hídrico.

c) RB 86-7515: Essa é uma cultivar lançada pela Universidade Federal de Viçosa, e surgiu do cruzamento da cultivar RB 72-454 com outra indefinida. Tem sido muito utilizada no oeste do Estado de São Paulo por possuir boa brotação (cana-planta), baixo perfilhamento, rápida velocidade de crescimento, porte alto, hábito de crescimento ereto, tombamento eventual e bom fechamento de entrelinhas. Sem restrição ao ambiente de produção, possui ainda boa despalha, alta densidade de colmo, tolerância a herbicidas, alta produção agrícola, alto teor de açúcar, eventual floração, maturação média, resistência média à seca e médio teor de fibra. Possui resistência ao carvão, escaldadura, ferrugem, mosaico, podridão abacaxi e ainda é classificada como intermediária para nematoides.

d) IACSP 95-5000: Produção agrícola muito alta, indicada para ambientes favoráveis, porte muito ereto, ótima brotação de soqueira, apresentando bom perfilhamento e fechamento de entrelinhas, não apresenta tombamento e florescimento. Adaptada à colheita mecanizada com elevadíssimo teor de sacarose, com possibilidade de colheita de junho a novembro, apresenta resistência as principais doenças e ótimos resultados nas condições de deficiência hídrica.

e) IAC 91-1099: Cultivar com boa adaptação para colheita mecânica crua, porte muito ereto, maturação médio-tardia, altíssima produtividade agrícola, indicada para ambientes médios a desfavoráveis, apresentando excelente soca com ótimo perfilhamento e manutenção da produtividade em cortes avançados e ótimo fechamento de entrelinhas. Apresenta ótimos resultados em condições de déficit hídrico e boa capacidade de acumular sacarose ao longo da safra, tornando boa opção para corte entre o inverno e a primavera.

Bueno et al. (2012) afirmam que há necessidades de estudos com genótipos de cana-de-açúcar combinados em diferentes ambientes de produção considerando a cana-planta e as socas subsequentes. Silva et al. (2014) estudando o efeito da irrigação, via gotejamento, no potencial produtivo de cultivares de cana, observaram que existem cultivares que apresentaram maiores potenciais produtivos com o menor consumo de água, destacando as cultivares IAC 91-1099, IACSP 96-3060, RB 85-5536, RB86-7515 e SP85-1115, as quais podem ser recomendadas para o manejo com a utilização de irrigação por gotejamento.

Estudando o desempenho de três cultivares de cana-de-açúcar, RB86-7515, RB92-579 e SP79-1011, no nordeste de Minas Gerais, Oliveira et al. (2014) verificaram efeito varietal significativo na produção de açúcar, destacando as cultivares RB86-7515 e RB92-579 que não diferiram estatisticamente e apresentaram valores médios, respectivamente, de 17,51 e 19,00 t ha⁻¹, sendo estas recomendadas para a produção nas condições e na região do trabalho.

O manejo varietal utilizado no cultivo da cana-de-açúcar é uma estratégia que visa explorar os ganhos gerados pela interação genótipo *versus* ambiente, de forma a proporcionar a melhor expressão produtiva da planta (Landell et al., 2008). Segundo os mesmos autores o potencial biológico da cana-de-açúcar é de 350 t ha⁻¹ em 360 dias de cultivo. Portanto, deve-se manejar o ambiente de forma a tornar a interação menos significativa e possibilitar a planta expressar o máximo do seu potencial.

Em uma área de canavial é ideal que se plantasse uma ou mais cultivares geneticamente melhoradas e com diferentes ciclos de maturação, além de diferentes características agrônomicas, tais como: teor de açúcares, produção, capacidade de rebrota, ausência de tombamento, resistência às principais pragas, doenças e nematoides, de modo que estas cultivares se adequem às diferentes condições locais em que estão expostas (Dias et al., 2012). Dito isso, para a escolha das cultivares, deve-se considerar as principais características específicas destas e adequá-las ao ambiente de produção aos quais serão expostas (Segato et al., 2006).

2.2 Irrigação por gotejamento subsuperficial

A irrigação é uma prática agrônômica que tem por objetivo fornecer água para as plantas em quantidade suficiente e no momento adequado, pelo umedecimento do solo, para obter a produtividade máxima das culturas (Bernardo et al., 2006), ou seja, o principal objetivo da irrigação é suprir as necessidades hídricas das culturas. Essa técnica deve ser conjugada com outras práticas de manejo da cultura, e não utilizada apenas de forma isolada. A irrigação, além de proporcionar incremento na produtividade das culturas, permite ampliar o tempo de exploração da planta e o número de colheitas (Dalri, 2004).

A irrigação pode ser realizada por diferentes métodos: aspersão, localizada, superfície e subsuperfície. A irrigação por gotejamento (localizada) é caracterizada

pelo fornecimento de água de forma frequente e lenta por meio de emissores, localizados em pontos selecionados ao longo das linhas laterais de distribuição de água (Howell et al., 1983). Estes emissores são caracterizados como peças conectadas às linhas laterais, capazes de dissipar a pressão disponível na linha lateral e aplicar a água em vazões pequenas. A vazão destes emissores, em geral, varia entre 1 a 20 L h⁻¹, aplicada gota a gota, sob pressões de serviço geralmente de 10 m de coluna d'água (m c. a.) (Bernardo et al., 2006).

A irrigação por gotejamento, quando bem manejada, possibilita maior eficiência de aplicação de água e nutrientes (pelo uso da fertirrigação) por aplicar diretamente no sistema radicular das plantas, de modo a melhorar a produção agrícola (Airoldi, 2007; Barros et al., 2009).

Com o desenvolvimento de novas técnicas e da tecnologia, outros segmentos têm surgido na área de irrigação por gotejamento visando maior eficiência do sistema, como o gotejamento subsuperficial, o qual apresenta grande potencial de uso em áreas irrigadas com cana-de-açúcar. Este sistema quando instalado, projetado e manejado de maneira correta pode apresentar eficiência maior que 95% (Silva Júnior, 2015), reduzindo assim as perdas de água no cultivo (Parkes et al., 2010).

A irrigação por gotejamento subsuperficial é definida pela ASAE (1997) como “aplicação de água abaixo da superfície do solo através de emissores com taxa de descarga semelhante à irrigação por gotejamento superficial”. Ou seja, é uma variação do modo tradicional do gotejamento, onde as mangueiras gotejadoras estão enterradas a uma profundidade de 15 a 40 cm, dependendo da cultura.

Mahesh et al. (2016) relataram que a irrigação por gotejamento subsuperficial e superficial podem economizar, respectivamente, 31% e 23% da água em relação à irrigação de superfície. Dinka (2016) relatou grandes perdas de percolação (cerca de 40%) na irrigação por aspersão na Etiópia, o que provoca desperdício de recursos hídricos, energia e nutrientes solúveis, resultando em aumento nos custos de produção e impactos ambientais. Matthias et al. (1986) estimaram que a evaporação da água respondeu por perdas de 33% a 40% da água aplicada em um solo descoberto irrigado por gotejamento em um período de sete dias.

Ao comparar os sistemas de gotejamento superficial e subsuperficial em relação à reserva de umidade do solo, Souza et al. (2007) verificaram que em

Latossolo Amarelo com textura argilosa o sistema subsuperficial proporcionou armazenamento de água 17% superior e menor variação da umidade no perfil do solo em relação ao gotejamento superficial.

O uso do gotejamento subsuperficial, além da economia no uso da água, apresenta outras vantagens: baixa umidade da superfície do solo, o que conseqüentemente, irá proporcionar menor evaporação; aumento da vida útil da tubulação; redução da ação de fatores climáticos; maior umedecimento do solo para um mesmo volume de água aplicado, o que eleva a eficiência do uso da água; redução da incidência de plantas daninhas, por aplicar água em menor volume do solo e próximo a raiz, deste modo a redução no uso de herbicidas (Dalri, 2004).

Apesar das vantagens apresentadas, problemas têm limitado o uso do gotejamento subsuperficial, os quais incluem as dificuldades em monitorar o desempenho do sistema, o entupimento dos emissores e o alto custo dos equipamentos (Elaiuy, 2012).

Gunarathna et al. (2018) estudando o uso do sistema de irrigação subsuperficial em relação ao sistema de irrigação por aspersão em cana-de-açúcar, observaram que a irrigação subsuperficial produziu plantas mais altas e, conseqüentemente, massa de cana fresca significativamente maior utilizando menor quantidade de água. Concluíram que a irrigação subsuperficial é uma técnica de irrigação que reduz o uso da água, o custo operacional, o consumo de energia e mão-de-obra; podendo ser considerada uma alternativa sustentável em cana-de-açúcar em ambientes subtropicais.

Em razão do elevado custo das áreas produtivas de cana em São Paulo, a adoção de técnicas como o gotejamento subsuperficial é alternativa viável para aumentar os índices de produtividade (Barros et al., 2009).

2.3 Irrigação em cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura que apresenta certa tolerância ao estresse hídrico, porém, responde altamente a irrigação (Singh et al., 2007). Na Austrália, cerca de 60% da cana produzida requer algum tipo de irrigação, 40% dos cultivos da África do Sul são feitos com irrigação e em alguns países como a Suazilândia e Sudão a planta não consegue crescer sem irrigação (Inman-Bamber e Smith, 2005). Apesar de

ser uma das culturas mais irrigadas, esta prática ainda não está consolidada na cana-de-açúcar, em razão da necessidade de investimentos para implantação do sistema (Campos et al., 2014).

A utilização de irrigação de cultivos agrícolas deve-se ao fato de que a água é um recurso chave que limita a produtividade das culturas, em razão das enormes quantidades utilizadas pelos vegetais no crescimento e nas reações bioquímicas da fotossíntese e outros processos metabólicos (Taiz e Zeiger, 2013). A cana-de-açúcar é uma cultura eficiente no uso da água, necessitando de 69 a 168 litros de água para produzir um kg de fitomassa (Casagrande e Vasconcelos, 2008).

Matioli et al. (1996) definiram os benefícios da irrigação em cana-de-açúcar em diretos e indiretos. Os benefícios direto consistem, principalmente, no aumento de produtividade agrícola e longevidade das soqueiras; já a economia com o arrendamento de terras e redução no custo de transporte logística, podem ser considerados como os benefícios indiretos. Outros benefícios da irrigação em cana-de-açúcar são o aumento da produtividade em açúcar por hectare, maximização da eficiência dos insumos durante o ciclo da cultura, o que acarreta em melhor qualidade da matéria prima e racionalização do uso da mão de obra empregada na produção de matéria prima (Cardozo, 2005).

A irrigação da cana-de-açúcar pode ser praticada de três formas: a irrigação de salvação, suplementar e deficitária. A irrigação de salvação constitui-se na aplicação de lâminas de 60 a 70 mm apenas na fase inicial de seu desenvolvimento, e visa proporcionar melhor brotação e desenvolvimento inicial, em muitos casos esta modalidade se faz com o uso da vinhaça, a qual além de fornecer água proporciona a aplicação de nutrientes.

A irrigação suplementar e deficitária, embora utilizadas em menor proporção, vem crescendo significativamente nos últimos anos. A irrigação suplementar procura atender toda a demanda hídrica da cultura (evaporanspirométrica), variando de acordo com a região de 400 a 750 mm por ciclo de cultivo anual. Na irrigação deficitária as lâminas variam entre 180 e 300 mm e visam o fornecimento de água inferior a evapotranspiração da cultura (Resende et al., 2016; Teodoro, 2011).

A irrigação deficitária pode ser utilizada na agricultura irrigada sem ocasionar perdas expressivas de produtividade, podendo atingir patamares elevados na

eficiência do uso da água (Geerts e Raes, 2009; Du et al., 2010), que pode ser alcançada quando a cultura é submetida ao déficit hídrico, entretanto este déficit mantém a viabilidade econômica da produção (Pereira et al., 2012). O tipo de irrigação a ser adotado no canal vai depender da lâmina de água a ser aplicada, da disponibilidade de água próximo à área, dos custos e do investimento.

Segundo Doorenbos e Kassan (2000), o sistema radicular da cana-de-açúcar atinge até 5 m de profundidade, mas em áreas irrigadas 100% da água é extraída de 1,2 a 2,0 m de profundidade e a distribuição do sistema radicular apresenta aproximadamente 50% (em peso) de raízes nos primeiros 20 cm de profundidade e 85% até os 60 cm de profundidade do solo (Blackburn, 1984).

Ao estudarem a biometria de sete cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes reposições hídricas, Oliveira et al. (2016) verificaram que todas as cultivares avaliadas na cana soca alcançaram máxima altura aos 270 dias de cultivo e maiores diâmetros nos tratamentos em que eram repostos, por irrigação, entre 70 e 80% da evapotranspiração da cultura (ETc), logo, concluíram que não existe a necessidade de reposição máxima da ETc para se atingir a máxima altura e diâmetro. Entretanto, os mesmos autores observaram relação positiva entre o aumento no número de perfilhos e o aumento da reposição hídrica.

Machado et al. (2009) ao pesquisarem as respostas biométricas ao déficit hídrico, em duas cultivares de cana-de-açúcar, em três diferentes fases fenológicas, verificaram que independentemente da fase em que ocorreu déficit hídrico, a cultivar IACSP 94-2094 mostrou-se tolerante ao déficit hídrico, em razão de manter a produção de fitomassa. Entretanto, a cultivar IACSP 96-2042, apresentou redução na produção de fitomassa e de sólidos solúveis, quando o déficit hídrico ocorreu na fase inicial da cultura.

Silva et al. (2008) avaliaram 25 clones de cana-de-açúcar para selecionar cultivares tolerantes à seca, e observaram que na existência de um estresse hídrico, a cultura manifesta diversas mudanças específicas e morfofisiológicas, tais como a diminuição na altura das plantas, redução no diâmetro de colmos, queda de folhas verdes, porcentagem reduzida da área foliar, dentre outras; e concluíram que é possível a seleção de genótipos que sob condições de déficit hídrico moderado podem

apresentar maior produtividade, associada a maiores qualidades e diâmetro de colmos, possibilitando tornar o processo de melhoramento mais rápido e barato.

A combinação da irrigação com cultivares edafoclimaticamente adaptadas propicia incrementos na qualidade do caldo e na produção de colmos e de açúcar (Carvalho et al., 2009). Assim, o manejo racional da água na cultura de cana-de-açúcar é fundamental para a maximização da produção (Dantas Neto et al., 2006). Desse modo, o entendimento de como os vegetais respondem ao estresse hídrico é um dos pré-requisitos para selecionar a melhor cultivar e as melhores práticas de manejo, visando, aperfeiçoar a exploração dos recursos naturais e a maior produtividade (Smit e Singels, 2006). No entanto, cabe ressaltar que em virtude das variações de solo, clima e genótipos avaliados, difere a recomendação dos níveis de disponibilidade de água no solo a serem mantidos, para obtenção de produtividades elevadas de açúcar e álcool. Portanto, é necessária a condução de experimentos nos diferentes ambientes de produção do País.

2.4 Necessidades hídricas e déficit hídrico na cana-de-açúcar

Segundo Scardua e Rosenfeld (1987), é difícil estabelecer a relação entre produção e consumo de água pela cana-de-açúcar, em razão de que o consumo varia de acordo com a cultivar utilizada, o estágio fenológico e o ciclo da cultura, como também das condições climáticas e da água disponível no solo, além dos diversos fatores que interferem no desenvolvimento da planta.

A cana-de-açúcar é adaptada às condições de alta intensidade luminosa, altas temperaturas, e relativa escassez de água, uma vez que a cultura necessita de grande quantidade de água para suprir suas necessidades hídricas, cerca de 1500 a 2500 mm por ciclo (Doorenbos e Kassam, 2000). A umidade é importante em todos os estádios fenológicos da cultura, sendo indispensável precipitação de pelo menos 1000 mm, distribuídos ao longo do ano, para suprir suas necessidades hídrica (Castro, 2008).

O consumo diário de água pela cultura nas principais regiões produtoras do País, dependendo da cultivar e do estágio de desenvolvimento da cultura, em geral varia de 2,0 a 6,0 mm dia⁻¹ (Salassier, 2006). Sendo assim, uma umidade adequada do solo durante todo o período de crescimento da cultura é de grande importância

para se obter produtividades potenciais da cana-de-açúcar, em virtude de que o crescimento vegetativo é proporcional à água transpirada pela mesma (Dalri, 2004).

Em função do seu ciclo semi perene, a cana-de-açúcar sofre influência das variações climáticas durante todo o ano. Para atingir alta produção de sacarose, a planta precisa de temperatura e umidade adequadas para permitir o máximo crescimento na fase vegetativa, seguida de restrição hídrica e/ou térmica para favorecer o acúmulo de sacarose no colmo na época do corte (Doorenbos e Kassam, 2000). A planta encontra suas melhores condições em regiões que proporcionam um período quente e úmido, com intensa radiação solar durante a fase de crescimento, seguida de um período seco durante as fases de maturação e colheita (Casagrande, 1991) o que irá reduzir a taxa de crescimento do vegetal, desidratando a planta e forçando a transformação de todos os açúcares em sacarose recuperável (Doorenbos e Kassam, 2000; Andrade, 2006).

O déficit hídrico pode ser definido como o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do maior conteúdo de água exibido pela planta em melhor estado de hidratação (Taiz e Zeiger, 2013). Os períodos críticos em relação à água ocorrem no estabelecimento da cana-de-açúcar (emergência e perfilhamento) e no crescimento vegetativo (Almeida et al., 2008). Destaca-se que neste último período a taxa de evapotranspiração da cultura é máxima, em razão do rápido alongamento dos colmos e do sistema radicular (Keating et al., 1999), e conseqüentemente, há maior necessidade hídrica.

Dependendo da fase fenológica da cultura, a deficiência hídrica causa injúrias e o nível de dano varia dependendo da duração do estresse (Farias et al., 2007). Rosenfeld e Leme (1984) apontaram que o déficit hídrico nos períodos de máximo desenvolvimento, em cana planta, e no estágio inicial, em cana soca, são os quais mais proporcionaram reduções nas produtividades da cultura.

O crescimento e o desenvolvimento das plantas são afetados tanto pela falta quanto pelo excesso do suprimento de água. Sendo que entre os diferentes fatores abióticos que afetam as plantas, a deficiência hídrica destaca-se como um dos que mais interferem nas culturas, em razão dos efeitos prejudiciais provocados no desenvolvimento da planta, principalmente por meio da redução da expansão celular (Gava et al., 2011); afetando também a emissão de brotos, crescimento e acúmulo de

sacarose (Castro, 2008). Inman-Bamber (2004) relata, que quando o estresse hídrico não é bem manejado, a deficiência hídrica no solo pode reduzir a emissão foliar e aumentar a velocidade de senescência das folhas e dos perfilhos, resultando em menor interceptação da radiação fotossinteticamente ativa.

As avaliações dos dados biométricos possibilitam observar possíveis reduções no comportamento do crescimento vegetal da cana-de-açúcar sob deficiência hídrica. Assim, a área foliar é reduzida (área de captação da luz solar), em consequência reduz a demanda de água pela cultura. A planta também pode reduzir o número de folhas emergentes, o que pode variar de acordo com o potencial genético de cada cultivar (Rodolfo Júnior, 2015).

Nos canaviais, são comuns os problemas causados pela redução da disponibilidade de água no solo, em virtude de que não se limitam apenas a regiões áridas e semiáridas do mundo. Em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição sazonal irregular de chuvas pode, em alguns períodos, limitar o crescimento das plantas (Taiz e Zeiger, 2013; Silva et al. 2014). Em regiões que se têm déficits hídricos, a disponibilidade de água apresenta-se como fator de grande importância para a maior produtividade da cana-de-açúcar, sendo responsável pela variação de 44% do seu rendimento (Ribeiro et al., 1984).

Sánchez-Román et al. (2015) estudando a produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes reposições hídricas observaram que a cada 25% de reposição de água, houve o incremento de 9,64 e 19,29 t ha⁻¹ sem e com reposição de nitrogênio, respectivamente. Dalri et al. (2008) estudando o efeito da irrigação por gotejamento subsuperficial na qualidade e na produção de cana-de-açúcar, verificaram três pontos importantes: i) a irrigação não alterou as características tecnológicas avaliadas da cultura, ii) a produtividade e o perfilhamento foram responsivos a irrigação, quando comparado ao sequeiro, entretanto os intervalos de irrigação relativos a evapotranspirações de 10, 20 e 30 mm não se diferiram, e iii) a irrigação proporcionou incremento de 58,5% na produtividade de colmos e 66,1% na produtividade açúcares, em relação aos tratamentos não irrigados.

A partir disso, a irrigação apresenta-se como uma das alternativas para redução dos efeitos do déficit hídrico na cana-de-açúcar, entretanto nem sempre essa alternativa é viável, seja por escassez de recursos hídricos, custo elevado de

implantação e manutenção ou por questões ambientais. Então, deve-se também realizar a seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico, que podem representar uma alternativa para diminuir a quantidade de água utilizada na irrigação, mantendo ou aumentando a produtividade (Holanda et al., 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Época e localização do experimento

O experimento foi conduzido entre os meses de maio de 2016 a julho de 2017, na Área Demonstrativa e Experimental de Irrigação da FCAV, UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP (Figura 4). As coordenadas geográficas são 21°14'50" S e 48°17'05" O, a 570 m acima do nível do mar.



Figura 4. Brotação inicial da cana-de-açúcar após o segundo corte.

O clima predominante é Aw, de acordo com a classificação de Köppen; caracterizado como subtropical com chuvas de verão, inverno relativamente seco, com precipitação pluvial média de 1425 mm por ano, com média de 255,2 mm para o mês mais chuvoso (dezembro) e de 25,3 mm para o mês mais seco (julho), e as temperaturas do ar média anual de 22,2 °C, máxima e mínima média anual de 28,9 °C e 16,8 °C, respectivamente.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutroférico, textura argilosa e relevo suave ondulado (Tabela 1).

Tabela 1. Características físicas do solo da área experimental.

Prof. (cm)	ds (g cm ⁻³)	Areia total (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Textura do solo
0 – 20	1,29	220	580	200	Argiloso
20 – 40	1,20	190	600	210	Argiloso
40 – 60	1,07	160	650	190	Muito argiloso

As curvas características de retenção de água no solo, das camadas de 0 – 20; 20 – 40; e 40 – 60 cm foram obtidas com amostras indeformadas. Os respectivos modelos das curvas são representados na Tabela 2. Os dados foram obtidos no laboratório de Água e Solo do Departamento de Engenharia Rural da UNESP.

Tabela 2. Equações que descrevem as curvas características de retenção de água da área experimental.

Camada de solo (cm)	Equação
0 – 20	$\theta = 0,106 + \frac{0,490 - 0,106}{\left[1 + (0,0272 \times \Psi_m)^{1,342}\right]^{0,255}}$
20 – 40	$\theta = 0,127 + \frac{0,570 - 0,127}{\left[1 + (0,0270 \times \Psi_m)^{1,650}\right]^{0,810}}$
40 – 60	$\theta = 0,154 + \frac{0,550 - 0,154}{\left[1 + (0,0244 \times \Psi_m)^{1,886}\right]^{0,469}}$

θ = umidade com base em volume (cm³ cm⁻³); Ψ_m = potencial matricial (kPa).

3.2 Delineamento experimental

O experimento constituiu de dois fatores de irrigação (sequeiro, deficitária e suplementar, que correspondem a 0, 50% e 100% da ETc) e cinco cultivares de cana-de-açúcar (A – CTC4, B – IACSP 93-3046, C – RB 86-7515, D – IACSP 95-5000, E – IAC 91-1099), conforme Figura 5.

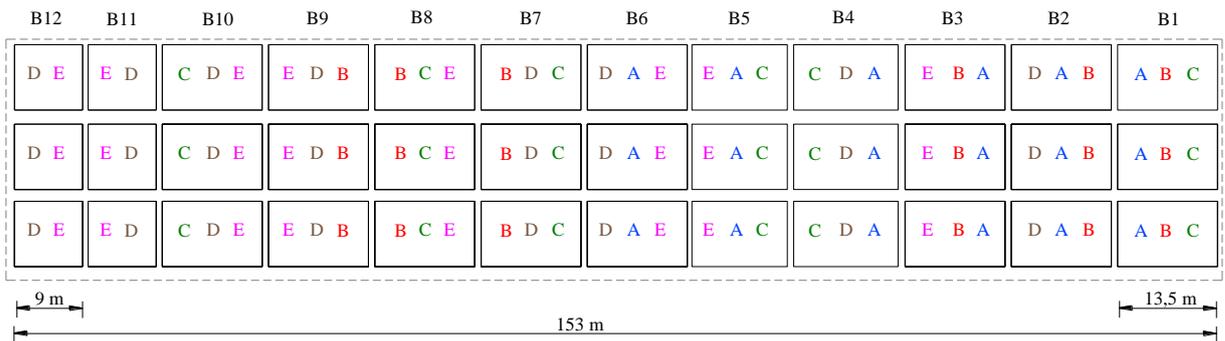


Figura 5. Esquema da área experimental.

O fator irrigação está em três faixas paralelas e cortadas em 12 blocos, cada um com as três faixas de irrigação. As cultivares estão dispostas em um delineamento em blocos incompletos, repetido igualmente nas três faixas de irrigação. Os blocos 1 a 10, igualmente em cada faixa, possuem as cultivares em blocos incompletos balanceados, de tamanho três e seis repetições e os blocos 11 e 12 repetem adicionalmente as cultivares D e E, em blocos de tamanho dois.

Dentro das faixas de irrigação e dos blocos as cultivares estão dispostas em quatro linhas com 4,5 m de comprimento, espaçadas por 1,5 m entrelinhas.

3.3 Estrutura experimental

3.3.1 Plantio da cultura

O plantio da cana-de-açúcar foi realizado no mês de novembro de 2014, sendo manual e por meio de mudas pré-brotadas (MPB) fornecidas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Foram utilizadas duas mudas por metro de sulco, ou seja, o espaçamento de plantio foi de 0,50 m, o equivalente a 13.333 mudas ha⁻¹. A princípio, esse sistema de plantio melhora o vigor e garante padronização das respectivas cultivares plantadas.

3.3.2 Adubação mineral e controle fitossanitário

A análise química do solo foi realizada no Laboratório de Solos da UNESP – FCAV, seguindo os protocolos padrões do laboratório. Foram analisados: pH, matéria orgânica, C_{orgânico}, Al, H + Al, P, K, Na, Ca e Mg (Tabela 3) e Fe, B, Cu, Zn e Mn

(Tabela 4). A análise do solo foi realizada nas profundidades 0 – 20; 20 – 40; e 40 – 60 cm, após o segundo corte da cultura.

Tabela 3. Características químicas do solo após o segundo corte da cana, em maio de 2016, Jaboticabal, SP.

Camada	pH	M.O.	P _{resina}	S	H+Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
(cm)	CaCl ₂	(g dm ⁻³)	(mg dm ⁻³)					(mmol _c dm ⁻³)			(%)	
0 – 20	5,0	25	35	30	31	0	2,9	30	9	42,0	73,2	57
20 – 40	5,2	21	13	55	29	0	2,5	22	8	32,4	61,7	53
40 – 60	5,1	16	9	64	29	0	1,1	20	9	29,6	58,8	50

Tabela 4. Características químicas do solo (micronutrientes) após o segundo corte da cana, em maio de 2016, Jaboticabal, SP.

Camada	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
(cm)	(mg dm ⁻³)				
0 – 20	0,25	3,5	12	19,7	1,6

Na adubação após o corte da primeira soca, foram aplicados 180 kg de K₂O ha⁻¹, tendo como fonte o cloreto de potássio, e 180 kg de N ha⁻¹, tendo como fonte o sulfato de amônio, conforme a análise química do solo (Tabela 3) e de acordo com Spironello et al. (1997). Não foi realizada a adubação fosfatada em razão dos teores satisfatórios de fósforo presentes no solo.

No regime sem irrigação (sequeiro) a adubação potássica foi realizada, em dose total, aos 45 dias após o corte (DAC) da cana-de-açúcar. Já a adubação nitrogenada foi parcelada em dois momentos, a primeira realizada juntamente com a potássica (45 DAC) e a segunda aos 120 DAC.

Nos tratamentos irrigados, a aplicação do N e K₂O foi realizada via água de irrigação. A fertirrigação foi parcelada em oito vezes, sendo a primeira realizada em 05 de julho de 2016 e a última ocorreu em 10 de janeiro de 2017 (Tabela 5).

Tabela 5. Datas das fertirrigações, número da aplicação e a porcentagem da dose aplicada via fertirrigação por gotejamento.

Data	Nº fertirrigação	% da dose a aplicada
05/07/2016	1	12,5
12/08/2016	2	12,5
30/08/2016	3	12,5
15/09/2016	4	12,5
06/10/2016	5	12,5
05/11/2016	6	12,5
06/12/2016	7	12,5
10/01/2017	8	12,5

Foi realizada adubação em cobertura com zinco e boro nas dosagens de 3 kg ha⁻¹, na forma de sulfato de zinco, e 1,0 kg ha⁻¹, na forma de ácido bórico, aos 130 DAC. Nos tratamentos irrigados, o micronutriente foi aplicado via água de irrigação e nos tratamentos não irrigados a aplicação foi realizada via foliar, por meio de um pulverizador costal.

Para prevenir a incidência de pragas foi aplicado Fipronil (Regent®). O controle de plantas daninhas foi realizado manualmente e com a aplicação do herbicida Dinamic®, o qual é seletivo para cana-de-açúcar.

Para evitar a intrusão de radículas no interior dos emissores foi aplicado, via água de irrigação, 0,05 g de trifluralina por emissor, em duas épocas, em novembro de 2016 e abril de 2017.

3.3.3 Cultivares utilizadas

Foram utilizadas como fator de resposta no presente estudo as cultivares: CTC 4, IACSP 93-3046, RB 86-7515, IACSP 95-5000 e IAC 91-1099, as quais destacam-se em áreas cultivadas no Brasil.

3.3.4 Tubo gotejador utilizado no trabalho

O gotejador utilizado no experimento apresenta vazão de 1,30 L h⁻¹, caracterizado por Fischer Filho et al. (2018), com espaçamento entre os emissores igual a 0,30 m e diâmetro do tubo de 16 mm.

3.3.5 Equipamentos e manejo da irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento subsuperficial (enterrado) sob a linha de plantio, com os tubos emissores instalados a 30 cm de profundidade. A instalação foi realizada antes do plantio da cultura em novembro de 2014. A água, de origem subterrânea, era filtrada por um filtro de disco de 125 micra e o sistema operava com pressão de 100 kPa.

O manejo da irrigação foi realizado via clima, com dados climáticos e de precipitação obtidos diariamente na estação agroclimatológica automatizada próxima a área. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada diariamente pela equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), Equação 1.

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

em que:

ET_o - evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

Δ - declividade da curva de pressão de vapor na saturação *versus* temperatura do ar, kPa °C⁻¹;

R_n - saldo de radiação na superfície do cultivo, MJ m⁻² d⁻¹;

G - fluxo total de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹;

γ - coeficiente psicrométrico, kPa °C⁻¹;

U₂ - velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;

e_s - pressão de vapor na saturação, kPa;

e_a - pressão de vapor atual, kPa;

T - temperatura média diária do ar, °C.

A evapotranspiração diária da cultura da cana-de-açúcar (ET_c), Equação 2, foi estimada pelo produto da ET_o e os coeficientes de cultura (k_c), de acordo com os valores propostos por Doorenbos e Kassam (2000).

$$ET_c = E_{To} \times k_c \quad (2)$$

em que:

ET_c - evapotranspiração da cultura, mm;

E_{To} - evapotranspiração de referência, mm;

k_c - coeficiente de cultura (Tabela 6).

Tabela 6. Valores do coeficiente de cultura (k_c) utilizados no manejo da cultura de cana-de-açúcar em segunda soca.

Idade da cana (dias)	Fase fenológica	K_c
0 – 30	Brotação	0,50
31 – 60	Perfilhamento	0,60
61 – 90	Perfilhamento	0,75
91 – 120	Perfilhamento	0,85
121 – 180	Crescimento	0,95
181 – 240	Crescimento	1,10
241 – 340	Crescimento	1,20
351 – 380	Maturação	1,20
381 – 412	Maturação	Sem irrigação

Fonte: Doorenbos e Kassam, 2000.

A irrigação foi realizada sempre que ocorreu um déficit hídrico acumulado da cultura de 20 mm, ou seja, quando o somatório da ET_c menos a precipitação total foi maior que 20 mm, como demonstrado na Equação 3, sendo que para o tratamento com irrigação deficitária era aplicado metade da lâmina em relação a irrigação suplementar.

$$\sum_{i=1}^n (ET_{c_i} - P_i) > 20 \text{ mm} \quad (3)$$

em que:

ET_{c_i} = evapotranspiração da cultura no i-ésimo dia, mm, e

P_i = precipitação total no i-ésimo dia, mm.

A irrigação foi interrompida 30 dias antes da colheita visando o acúmulo de sacarose nos colmos e o aumento da produtividade de açúcar, prática conhecida como "dry-off" (Inman-Bamber, 2004).

3.4 Avaliações

3.4.1 Características biométricas

Foram realizadas sete avaliações biométricas ao longo do período de desenvolvimento da cana-de-açúcar (Tabela 7).

Tabela 7. Datas das avaliações biométricas e dias após o corte (DAC).

Nº da avaliação	Data	DAC
1	20/09/2016	120
2	18/10/2016	150
3	15/11/2016	180
4	13/12/2016	210
5	11/01/2017	240
6	13/02/2017	270
7	13/03/2017	300

Para as avaliações biométricas foram adotadas cinco plantas, em cada subparcela, previamente demarcadas, descritas a seguir.

a) Altura (comprimento do colmo): a medida padrão foi a distância da superfície do solo até a inserção da folha +1, como mostra a Figura 6 (Nassif et al. 2013), com auxílio de uma fita métrica, expressa em metros.

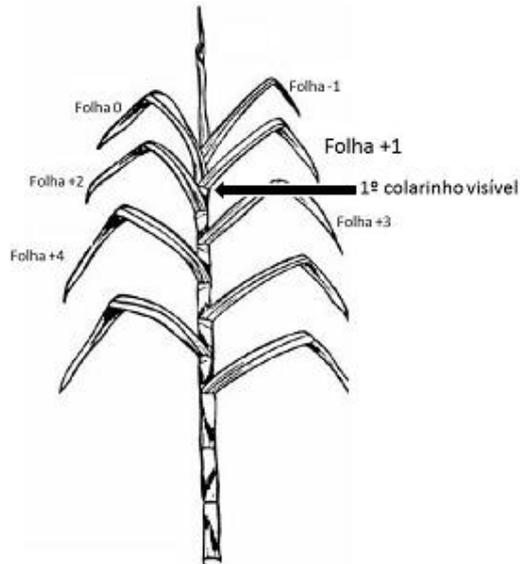


Figura 6. Representação de uma planta de cana-de-açúcar e localização de suas folhas. Fonte: Nassif et al. (2013).

Para descrever a variação no tempo do crescimento em altura do colmo da cana-de-açúcar, utilizou-se uma regressão não linear do tipo sigmoide (Equação 4), a qual caracteriza o crescimento vegetal (Silveira et al., 1985).

$$ALT = \frac{A}{\left(1 + \left(\frac{DAC}{B}\right)^{-C}\right)} \quad (4)$$

em que,

ALT - altura, m;

A - altura máxima do colmo avaliada, m;

DAC - número de dias após o segundo corte;

B e C - constantes estimadas.

A partir dos dados obtidos na estimativa do crescimento foram calculados o coeficiente de determinação (R^2) para verificar a precisão, o erro médio da estimativa (Equação 5) e o índice de concordância (Equação 6) proposto por Willmont (1985) para determinar a acurácia das regressões. O índice de Willmont varia de 0 a 1, sendo que valores próximos a 1 indicam concordância máxima dos valores estimados para o observado.

$$EME = \frac{\sum |ALT_{obs} - ALT_{est}|}{n} \quad (5)$$

$$d = 1 - \frac{\sum (ALT_{obs} - ALT_{est})^2}{\sum (|ALT_{est} - ALT_{obsmédio}| - |ALT_{obs} - ALT_{obsmédio}|)} \quad (6)$$

em que,

EME - erro médio da estimativa, m;

d - índice de concordância de Willmon, adimensional;

ALT_{obs} - leituras de altura dos colmos avaliadas, m;

ALT_{est} - leituras de altura dos colmos estimadas, m;

$ALT_{obsmédio}$ - leituras médias de altura dos colmos avaliadas, m;

n - número de leituras realizadas.

b) Diâmetro do colmo: foi realizada a medida do diâmetro no terço médio do colmo com o auxílio de um paquímetro, expresso em milímetros.

c) Número de perfilhos: foi quantificado pela contagem dos perfilhos vivos em cada subparcela experimental, ou seja, foram contados os perfilhos vivos nas duas linhas da subparcela. Após a contagem, foi atribuído o valor médio de perfilhos por metro (perfilhos m^{-1}).

d) Número de folhas verdes: foram realizadas a contagem de folhas verdes totalmente abertas, as quais são capazes de realizar a fotossíntese. Foi considerada folha verde aquela que apresentou mais de 50% de área fotossinteticamente ativa, ou seja, possui uma área com mais de 50% de coloração verde (Mazzucchelli et al., 1997). As demais folhas foram consideradas mortas (Figura 7).

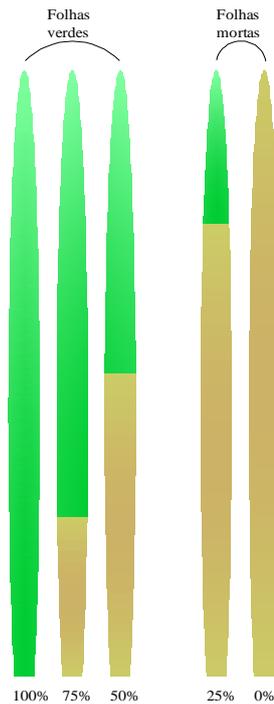


Figura 7. Representação das folhas de cana-de-açúcar considerando as folhas verdes e folhas mortas.

e) Área foliar: foi utilizada uma fita métrica, sendo realizada a leitura da largura e comprimento da folha +3, como mostra a Figura 6, por esta ser completamente desenvolvida do ponto de vista fisiológico e totalmente desenrolada morfologicamente. A área foliar foi estimada conforme a Equação 7.

$$AF = C \times L \times FF \quad (7)$$

em que:

AF - área da folha +3, cm²;

C - comprimento da folha +3, cm;

L - largura da folha +3, cm;

FF - fator forma, adimensional.

O valor do FF foi obtido pela regressão entre os valores do produto de C e L, medidos nas folhas +3 de duas plantas, em cada subparcela, coletadas aleatoriamente aos 180 DAC, e os valores de área foliar medidos, das mesmas folhas, por um integrador de área foliar de bancada (modelo LI-3100, marca LI-COR),

conforme apresentado na Figura 8. Então, foi determinado um valor de FF médio para cada regime hídrico.

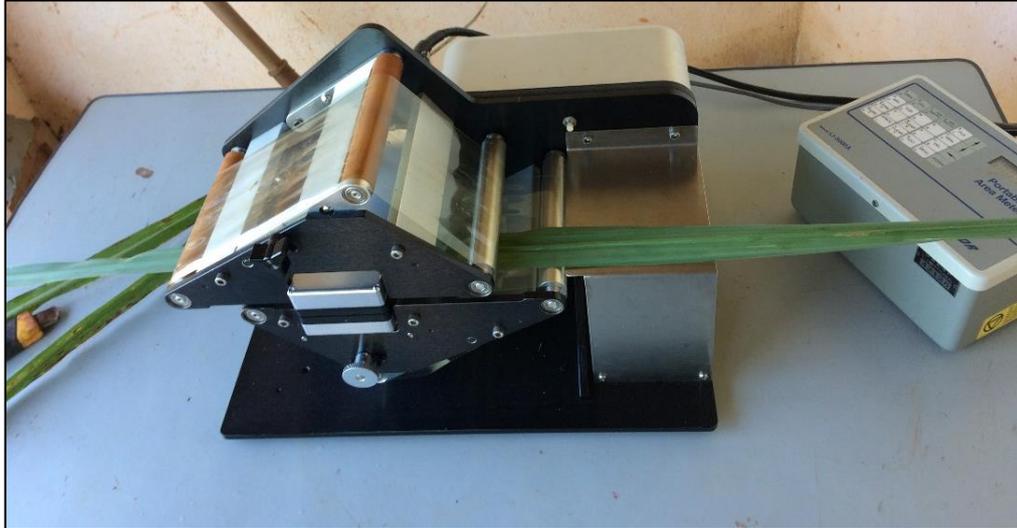


Figura 8. Integrador de área foliar de bancada (modelo LI-3100, marca LI-COR) determinando área foliar da cana-de-açúcar.

A área foliar do colmo foi estimada, conforme metodologia adaptada de Hermann e Câmara (1999), Equação 8.

$$AF_c = C \times L \times FF \times (N + 2) \quad (8)$$

em que:

AF_c - área foliar do colmo, cm^2 ;

C - comprimento da folha +3, cm;

L - largura da folha +3, cm;

FF - fator estimado pela equação 5 para cada tratamento;

N - número de folhas totalmente abertas e com pelo menos 50% de área verde;

2 - fator de correção.

Foi determinado o índice de área foliar pela razão entre a área foliar total e a área do solo correspondente (Equação 9).

$$IAF = \frac{AFT}{As} \quad (9)$$

em que:

IAF - índice de área foliar, adimensional;

AFT - área foliar total (Equação 10), ha;

As - área do solo, ha.

$$AFT = AF_c \times P \quad (10)$$

em que:

AF_c - área foliar média de cinco plantas por parcela, cm^2 ;

P - número de perfilhos ha^{-1} .

3.4.2 Características tecnológicas

Para quantificação da qualidade tecnológica das cultivares foram separados seis colmos de cada subparcela, durante a colheita, e enviados ao laboratório para análise tecnológica, que foram as seguintes:

a) Sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix): expressa a porcentagem de sólidos solúveis contidos em uma solução de sacarose quimicamente pura, ou seja, mede o teor de sacarose na solução. Por consenso, admite-se o Brix como a porcentagem aparente de sólidos solúveis contidos em solução açucarada impura, por exemplo, o caldo extraído da cana.

b) Fibra da Cana: é a matéria insolúvel em água contida na cana-de-açúcar. De acordo com o Consecana (2006), o teor de fibra da cana é calculado segundo a Equação 11.

$$F = [(100 \times PBS) - (PBU \times B)] + [5 \times (100 - B)] \quad (11)$$

em que:

F - fibra, %;

PBS - peso do bagaço seco, g;

PBU - peso do bagaço úmido, g;

B - brix do caldo.

c) POL e PC: definido como a quantidade de sacarose, em porcentagem, presente na cana (PC) ou no caldo (POL) da cana-de-açúcar. O cálculo do POL% cana (PC) é definido pelo Consecana (2006) como sendo (Equação 12):

$$PC = S \times (1 - 0,01 \times F) \times C \quad (12)$$

em que:

PC - POL% cana;

S - POL% caldo;

F - fibra, %;

C - Coeficiente de transformação (Equação 13).

$$C = 1,0313 - 0,00575 \times F \quad (13)$$

em que:

F - Fibra da cana, %.

d) Pureza da Cana: é determinada pela razão POL/Brix x 100. Quanto maior a pureza da cana, melhor a qualidade da matéria-prima para recuperar açúcar. Todas as substâncias que apresentam atividade óptica ativa podem interferir na POL, como açúcares redutores (glicose e frutose), polissacarídeos e algumas proteínas.

e) ATR: açúcares totais recuperáveis expressos em açúcares redutores. O cálculo do ATR é definido de acordo com a Equação 14 (Consecana, 2006).

$$ATR = 9,5263 \times PC + 9,05 \times ARC \quad (14)$$

em que,

ATR - kg t⁻¹;

PC - POL por tonelada de cana;

9,05 - coeficiente de recuperação, para uma perda industrial de 9,5%;

ARC - açúcares redutores por tonelada de cana.

3.4.3 Produtividade e eficiência do uso da água

a) Estimativa da produtividade da cultura (TCH): por meio do comprimento do colmo, diâmetro de colmos e o número de perfilhos, é possível estimar a produtividade da cana-de-açúcar através da Equação 15, sugerida por Martins e Landell (1995).

$$TCH = D^2 \times C \times H \times \left(\frac{0,007854}{E} \right) \quad (15)$$

em que:

TCH - toneladas de cana-de-açúcar por hectare, t ha⁻¹;

D - diâmetro médio dos colmos, mm;

C - número de colmos de cana-de-açúcar por metro, colmos m⁻¹;

H - comprimento médio dos colmos, m;

E - espaçamento entre sulcos de plantio, m.

b) Produtividade de colmos: atingido o ponto de maturação, em julho de 2017, a cana-de-açúcar foi colhida manualmente e a produtividade foi determinada por meio da pesagem de quatro metros lineares de cada subparcela, e posteriormente transformada em toneladas ha⁻¹.

c) Produtividade de açúcar: com base nos teores de sacarose e nas produtividades de colmos foi estimada a produtividade de açúcar, expresso em toneladas ha⁻¹.

d) Eficiência do uso da água: A eficiência do uso da água em cada tratamento foi calculada usando expressões semelhantes à utilizada por Lu, Ookawa e Hirasawa (2000), Equação 16.

$$EUA = \frac{Y_r}{A_t} \quad (16)$$

em que:

EUA - eficiência de uso da água, t ha⁻¹ mm⁻¹;

Y_r - produtividade da cultura, t ha⁻¹;

A_t - lâmina total de água pela cultura (irrigação e precipitação), mm.

3.5 Forma de análise dos resultados

Os procedimentos estatísticos constaram de análise de variância e teste de comparação de médias (teste t) ao nível de 1 e 5% de probabilidade para todas as características biométricas em função dos dias após o corte e para as características tecnológicas e produtivas.

A análise de variância com os respectivos graus de liberdade (GL) foi distribuída da seguinte maneira (Tabela 8).

Tabela 8. Esquema da análise de variância para o experimento.

Fontes de Variação	GL
Bloco	11
Irrigação ajustada	2
Resíduo (a)	22
Cultivares	4
Cultivares x Irrigação	8
Resíduo (b)	54
Total	101

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros climáticos

O registro dos parâmetros climáticos iniciou-se no dia 17 de maio de 2016 representando o início do ciclo e encerrou em 03 de julho de 2017, em razão da colheita da cultura, compreendendo 412 dias de cultivo.

Os valores de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), máxima, mínima e média observadas no período experimental são apresentados na Figura 9, as médias das temperaturas máxima, média, e mínima foram, respectivamente igual a $29,2^{\circ}\text{C}$, $22,1^{\circ}\text{C}$ e $16,5^{\circ}\text{C}$.

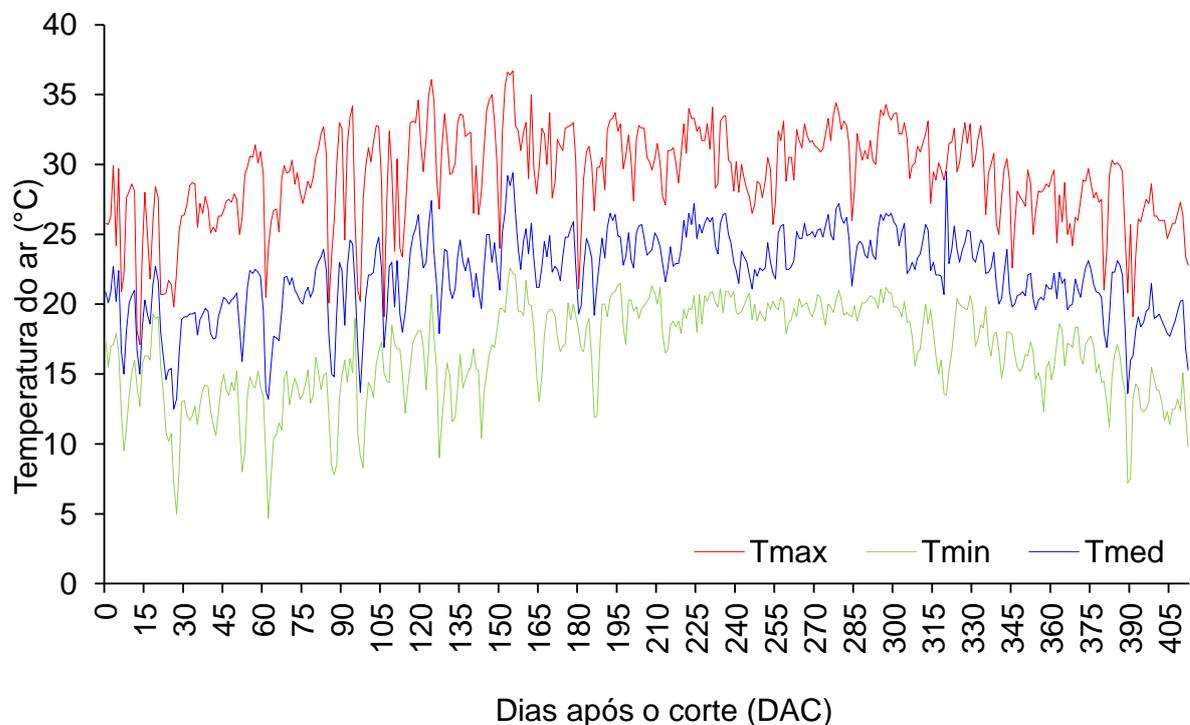


Figura 9. Valores da temperatura máxima, temperatura mínima, e temperatura média diária do ar.

As leituras das temperaturas, obtidas na estação agroclimatológica automatizada, permitem inferir que não houve anormalidade dos dados desta variável, ou seja, os valores estão dentro da média histórica para o local em que foi desenvolvido o trabalho e não foram registradas geadas no inverno, que poderiam interferir no desenvolvimento da cultura.

Os valores de chuva no período experimental estão apresentados na Figura 10. Verifica-se que nos meses de setembro e outubro de 2016 e fevereiro e março de 2017 (destacados em vermelho) ocorreu pouca precipitação na área, podendo ser indicativos de favorecimento dos tratamentos irrigados, e conseqüentemente, foram os meses em que ocorreu a necessidade de aplicações mais frequentes de irrigação.

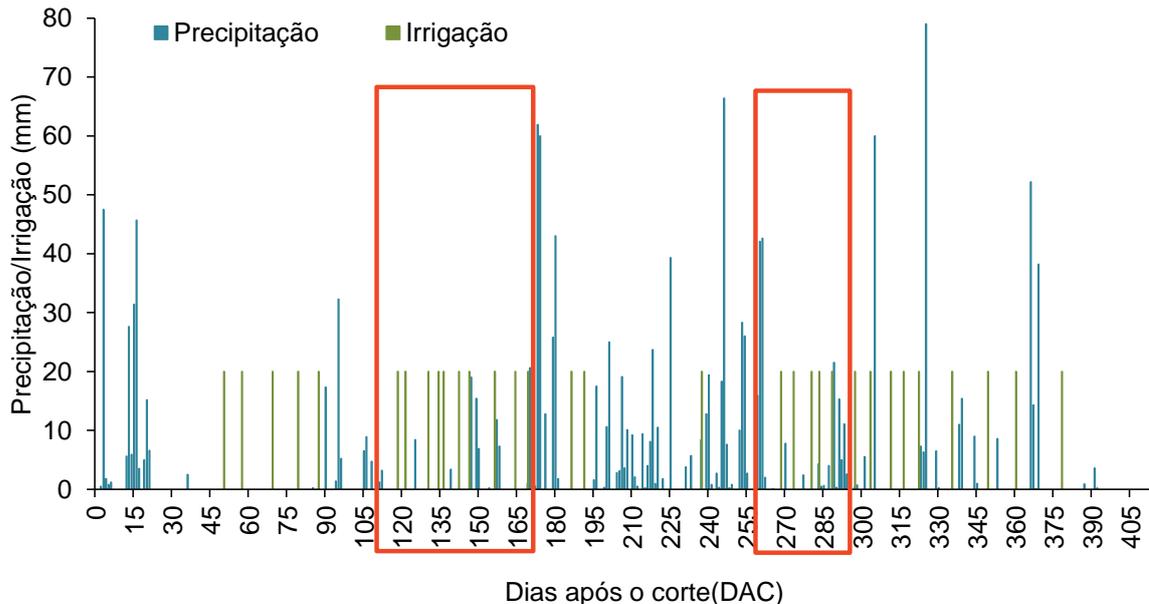


Figura 10. Valores observados de precipitação diária no período experimental e as lâminas de irrigação aplicadas.

A chuva total ocorrida no período entre 17/05/2016 a 03/07/2017 foi de 1497,9 mm. A precipitação média anual normal da região é de 1425 mm, portanto os valores de chuva ficaram dentro do esperado. Destaca-se que a cultura requer uma lâmina de água entre 1500 e 2500 mm por ciclo (Doorenbos e Kassan, 2000), ou seja, parte dessa água deve ser aplicada de forma artificial, justificando a importância da utilização da irrigação. A partir do manejo de irrigação, foram realizadas 32 irrigações na área e a lâmina total de água aplicada foi de 640,0 mm para o tratamento suplementar e 320,0 mm para o deficitário (Figura 10).

O valor máximo estimado da evapotranspiração diária da cultura foi de 7,1 mm e ocorreu aos 282 e 301 DAC, justificando assim a aplicação mais frequente de irrigações nestes períodos (Figura 11). Dessa forma, as irrigações ocorreram com maior frequência nos meses de setembro/outubro de 2016 e fevereiro/maio de 2017,

período o qual a cultura encontrava-se em fase de pleno desenvolvimento, e conseqüentemente, com valores de ETc (kc) diários elevados. Assim, a cultura teve maior necessidade hídrica, afinal a adequada aplicação de água durante a fase de crescimento vigoroso proporciona a formação de internódios mais longos interferindo positivamente a produção da cultura (Doorenbos e Kassan, 2000).

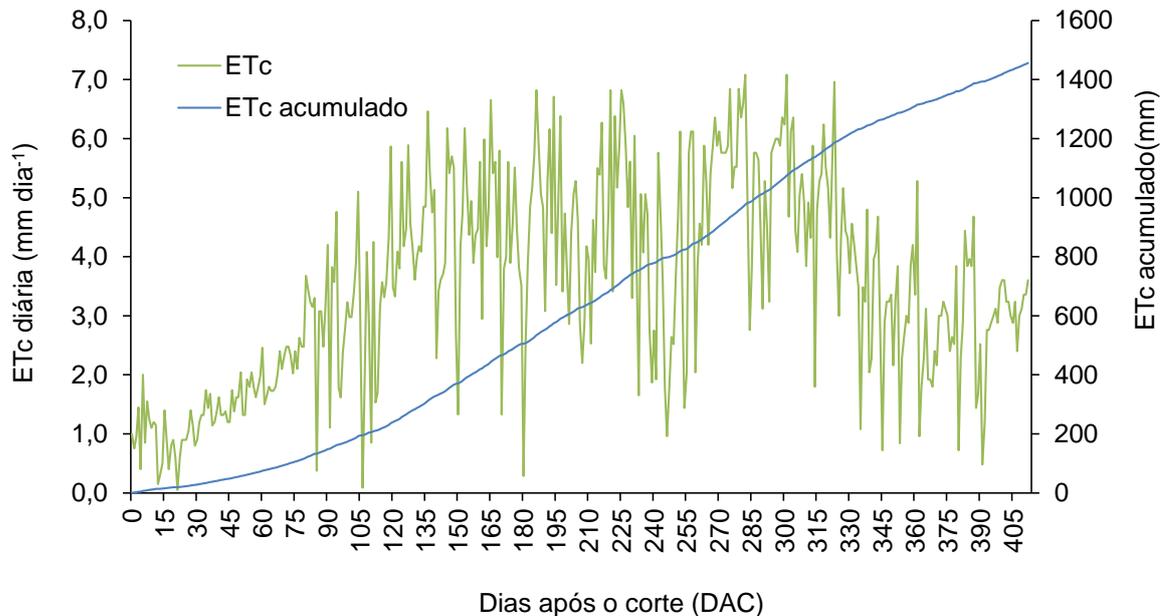


Figura 11. Valores estimados da evapotranspiração da cana-de-açúcar, diários e acumulados.

4.2 Análises biométricas da cultura

A análise de crescimento de genótipos de cana-de-açúcar auxilia na condução da cultura nos diferentes ambientes de cultivo, na modelagem e predição da produção e permite identificar características importantes para o melhoramento genético, buscando cultivares que apresentem boa produtividade e qualidade e sejam resistentes a fatores abióticos, como o déficit hídrico.

4.2.1 Crescimento da cana-de-açúcar

Para a descrição da altura da cana-de-açúcar para cada tratamento, utilizou-se uma regressão não linear do tipo sigmoide, a qual simula de forma satisfatória o desenvolvimento da cultura durante o seu ciclo (Tabela 9).

Tabela 9. Equações para altura média em cada regime hídrico das cultivares em função dos DAC.

Cultivar	Regime	Equação	R ²	d	EME
CTC 4	Sequeiro	$ALT = 2,37/(1+(DAC/214,16)^{-7,89})$	0,979	0,999	0,12
	Deficitária	$ALT = 2,72/(1+(DAC/201,45)^{-5,95})$	0,985	1,000	0,38
	Suplementar	$ALT = 2,78/(1+(DAC/196,81)^{-5,23})$	0,980	0,999	0,50
IACSP 933046	Sequeiro	$ALT = 1,89/(1+(DAC/216,86)^{-7,18})$	0,980	1,000	0,09
	Deficitária	$ALT = 2,40/(1+(DAC/212,98)^{-6,50})$	0,981	1,000	0,33
	Suplementar	$ALT = 2,55/(1+(DAC/212,36)^{-6,18})$	0,979	0,999	0,39
RB867515	Sequeiro	$ALT = 2,59/(1+(DAC/216,86)^{-7,18})$	0,978	0,999	0,13
	Deficitária	$ALT = 2,72/(1+(DAC/200,75)^{-6,23})$	0,987	1,000	0,34
	Suplementar	$ALT = 2,79/(1+(DAC/198,21)^{-5,93})$	0,980	0,999	0,40
IACSP 955000	Sequeiro	$ALT = 2,20/(1+(DAC/216,41)^{-7,43})$	0,978	0,999	0,11
	Deficitária	$ALT = 2,67/(1+(DAC/207,91)^{-5,92})$	0,980	0,999	0,37
	Suplementar	$ALT = 2,66/(1+(DAC/205,25)^{-5,79})$	0,979	0,999	0,40
IAC911099	Sequeiro	$ALT = 2,29/(1+(DAC/210,61)^{-7,11})$	0,978	0,999	0,12
	Deficitária	$ALT = 2,71/(1+(DAC/203,71)^{-5,94})$	0,976	0,999	0,36
	Suplementar	$ALT = 2,82/(1+(DAC/198,32)^{-5,27})$	0,981	0,999	0,45

*ALT - altura (m); DAC - dias após o corte; R² - coeficiente de determinação; d - coeficiente de Willmont; EME - erro médio da estimativa.

As equações expressam um crescimento lento no início da brotação até a fase de perfilhamento, posteriormente têm-se um aumento gradual, até alcançar a taxa máxima de crescimento, em seguida à medida que a cana começa a amadurecer, a taxa de crescimento da planta é desacelerada, mantendo-se constante. A estabilização dos valores de altura é uma resposta esperada para a fase fenológica de maturação do colmo, o que ocorre por volta dos 300 dias do ciclo, quando a planta mantém as suas atividades metabólicas (Oliveira et al., 2007).

Todos os modelos ajustados foram significativos ($p < 0,01$), com valores de R² superiores a 97% e coeficiente de Willmont (d) próximos a 1,0, indicando que o crescimento da cana-de-açúcar pode ser estimado usando as regressões não lineares com boa precisão (Tabela 9). Destaca-se que os erros médios da estimativa (EME) foram inferiores no regime sequeiro em todas as cultivares estudadas em comparação

ao regime deficitário e este superior ao regime suplementar; demonstrando que os modelos dos tratamentos não irrigados apresentam maior acurácia em comparação aos regimes irrigados e possibilitam o acompanhamento do crescimento das plantas com menor probabilidade de erros.

Foi realizada análise de variância e constatou-se que a interação cultivar x irrigação foi significativa apenas aos 150 DAC (Tabela 10).

Tabela 10. Resumo da análise de variância, valores de F, para as alturas médias avaliadas, para cada DAC.

FV	Dias após o corte (DAC)						
	120	150	180	210	240	270	300
Irrigação (I)	62,85**	167,84**	172,92**	72,15**	68,02**	57,29**	62,89**
Cultivar (C)	33,55**	27,70**	24,24**	21,53**	27,19**	38,88**	14,23**
I x C	0,62 ^{NS}	2,99**	1,60 ^{NS}	1,06 ^{NS}	1,46 ^{NS}	1,15 ^{NS}	1,64 ^{NS}
CV (%)	10,66	12,31	12,19	10,69	7,92	5,80	6,62

FV – fator de variação, CV – coeficiente de variação, *significativo a 5%, ** significativo a 1%, ^{NS} – não significativo.

Sendo assim o teste de comparação de médias (teste t) entre as cultivares e entre os regimes hídricos para cada avaliação de crescimento, foram analisados de forma separada. A cultivar RB867515 destacou-se perante as demais nos três regimes hídricos, com maiores alturas, exceto aos 120 DAC e aos 150 DAC (no regime suplementar), sendo que o porte alto é uma característica genética desta cultivar (Landell et al., 2014). A cultivar IACSP 933046 apresentou, estatisticamente, menor altura nos três regimes em todas avaliações (Tabela 11).

Tabela 11. Valores médios de altura (m) de cultivares de cana-de-açúcar, em cada regime hídrico, em função de DAC.

Cultivares	Sequeiro						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	0,24 ab	0,28 ab	0,50 bc	1,03 b	1,57 b	2,18 ab	2,37 b
IAC911099	0,26 a	0,32 a	0,55 ab	1,06 ab	1,56 b	2,05 bc	2,29 b
IACSP 933046	0,17 c	0,21 c	0,39 c	0,83 c	1,15 d	1,61 d	1,89 c
IACSP 955000	0,21 b	0,26 bc	0,47 bc	0,93 bc	1,37 c	1,94 c	2,20 d
RB867515	0,23 b	0,31 a	0,65 a	1,21 a	1,82 a	2,26 a	2,59 a

Cultivares	Deficitária						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	0,30 ab	0,46 a	0,88 ab	1,46 a	1,92 ab	2,36 ab	2,72 a
IAC911099	0,33 a	0,46 a	0,91 a	1,31 ab	1,87 ab	2,41 a	2,71 a
IACSP 933046	0,21 c	0,33 b	0,62 c	1,06 c	1,55 c	2,00 c	2,40 b
IACSP 955000	0,28 b	0,42 a	0,79 b	1,28 b	1,78 b	2,21 b	2,67 a
RB867515	0,28 b	0,46 a	0,89 ab	1,45 a	1,98 a	2,43 a	2,72 a

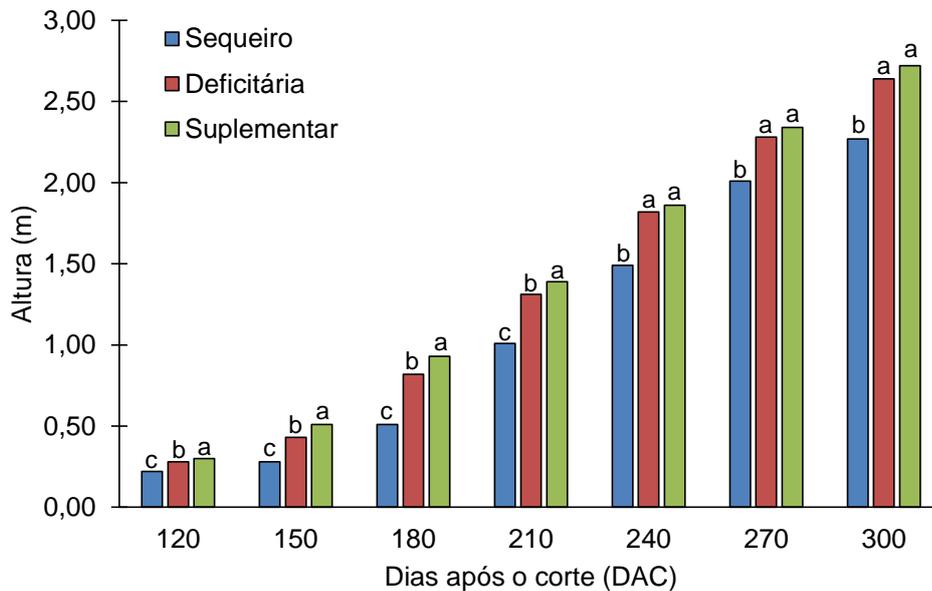
Cultivares	Suplementar						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	0,34 a	0,61 a	1,04 a	1,54 a	1,91 ab	2,41 b	2,78 a
IAC911099	0,35 a	0,58 ab	1,05 a	1,49 a	1,98 a	2,39 b	2,82 a
IACSP 933046	0,23 c	0,35 c	0,71	1,13 b	1,64 c	2,07 c	2,55 b
IACSP 955000	0,28 b	0,46 c	0,86 b	1,28 b	1,81 bc	2,26 b	2,66 ab
RB867515	0,30 b	0,53 b	1,00 a	1,52 a	1,96 ab	2,60 a	2,79 a

*médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Aos 300 DAC, no regime sequeiro a cultivar RB867515 apresentou altura de 2,59 m, diferindo da demais. Já no regime deficitário as cultivares CTC4, IACSP 955000 e IAC911099 não diferiram estatisticamente a cultivar RB867515, com alturas próximas a 2,70 m. No regime suplementar as cultivares CTC4, IAC911099 e RB867515 apresentaram alturas próximas a 2,80 m e não diferiram estatisticamente. A cultivar IACSP 933046 expressou menores valores em todas as avaliações e regimes hídricos, sendo que aos 300 DAC sua altura média foi de 1,89; 2,40 e 2,55 m, respectivamente, nos regimes sequeiro, deficitário e suplementar.

A aplicação adequada de água nos períodos de crescimento vigoroso proporciona formação de internódios mais longo, e conseqüentemente, maior altura das plantas (Doorenbos e Kassam, 2000), como verificado na Figura 12, em que o tratamento sequeiro apresentou, estatisticamente, menores alturas em todas as avaliações e o tratamento suplementar maiores. É importante destacar que a partir dos 240 DAC o tratamento deficitário assemelhou-se ao suplementar, não apresentando diferenças nas alturas da planta, ou seja, a aplicação de 50% da água requerida pela cultura, foi suficiente para as plantas terem um crescimento satisfatório.

Resultados similares foram observados por Gonçalves et al. (2017) que constataram que o período de crescimento é crítico para a demanda hídrica da cana-de-açúcar, logo os danos causados pelo estresse hídrico, nesta fase, são mais prejudiciais à produção. Os autores observaram que os baixos volumes precipitados reduziram significativamente a altura dos colmos no tratamento não irrigado a partir dos 136 DAC, e que os tratamentos irrigados não apresentaram diferenças estatísticas significativas.



*colunas seguidas de uma mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 12. Crescimento médio de cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico e dias após o corte.

Ao estudarem o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar em função da tensão de água no solo, Alamilla-Maganã et al. (2016) relataram alturas das plantas em média de 2,14; 2,13 e 2,04 m, respectivamente, nos tratamentos com irrigações quando as tensões de água no solo eram iguais a -15 kPa -45 kPa, -75 kPa, as quais não diferiram estatisticamente, entretanto apresentaram-se diferentes do tratamento controle (1,68 m), em que não foi irrigado. Koehler (1982) indica que uma planta quando em estresse hídrico pode ter seu crescimento reduzido em até 80%.

Existe forte correlação positiva entre a taxa de crescimento da cana-de-açúcar e os regimes ótimos de umidade do solo (Surendran et al., 2016), assim, a restrição hídrica pode interferir no crescimento da cana-de-açúcar por causar redução na remobilização de água, nutrientes e transporte de carboidratos para as raízes,

favorecendo assim a redução no alongamento celular do colmo, conseqüentemente, no comprimento do entrenó o que pode afetar diretamente a produtividade da cultura (Inmam-Bamber e Smith, 2005; Oliveira et al., 2011), tal fato pode ser observado na Figura 13, onde é possível identificar, em campo, menores alturas dos colmos no regime de sequeiro.



Figura 13. Altura da cana-de-açúcar em três regimes hídricos.

4.2.2 Diâmetro da cana-de-açúcar

A análise de variância para o diâmetro da cana-de-açúcar apresentou diferenças entre as cultivares e entre os regimes hídricos, não ocorrendo interação entre os mesmos (Tabela 12).

Tabela 12. Resumo da análise de variância, valores de F, para os diâmetros médios avaliados, para cada DAC.

FV	Dias após o corte (DAC)						
	120	150	180	210	240	270	300
Irrigação (I)	4,98**	11,80**	40,85**	20,91**	4,13**	11,80**	1,04 ^{NS}
Cultivar (C)	14,04**	16,28**	17,58**	15,34**	23,72**	19,68**	17,53**
I x C	0,66 ^{NS}	0,33 ^{NS}	0,46 ^{NS}	1,22 ^{NS}	1,61 ^{NS}	0,78 ^{NS}	1,69 ^{NS}
CV (%)	9,29	10,75	9,87	8,24	7,71	6,86	5,97

FV – fator de variação, CV – coeficiente de variação, *significativo a 5%, ** significativo a 1%, ^{NS} – não significativo.

Portanto o teste de comparação de médias (teste t) entre as cultivares (Tabela 13) e entre os regimes hídricos para cada avaliação do diâmetro das plantas, foram analisados de forma separada.

Tabela 13. Valores médios do diâmetro (mm) de cultivares de cana-de-açúcar, em cada regime hídrico, em função de DAC.

Cultivares	Sequeiro (DAC)						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	12,1 ab	13,8 b	16,5 bc	20,6 c	22,8 b	22,9 b	22,4 c
IAC911099	13,1 a	16,7 a	18,9 a	23,8 ab	27,3 a	26,8 a	25,9 b
IACSP 933046	11,6 b	13,7 b	15,5 c	20,2 c	22,9 b	26,8 a	25,3 b
IACSP 955000	13,4 a	17,4 a	18,5 ab	23,1 b	27,5 a	28,0 a	25,2 b
RB867515	13,2 a	17,4 a	20,4 a	26,3 a	29,0 a	28,5 a	28,7 a
Cultivares	Deficitária (DAC)						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	12,9 bc	15,7 b	18,8 b	21,7 b	21,9 c	22,0 c	22,0 c
IAC911099	13,4 ab	18,0 a	22,6 a	26,0 a	26,6 ab	27,6 ab	26,7 ab
IACSP 933046	11,4 c	14,6 b	18,2 b	23,0 b	25,5 b	25,6 b	24,8 b
IACSP 955000	14,9 a	18,8 a	22,5 a	26,4 a	28,4 a	26,8 b	26,6 ab
RB867515	14,9 a	20,1 a	24,0 a	27,2 a	28,0 a	29,1 a	27,0 a
Cultivares	Suplementar (DAC)						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	12,9 bc	16,4 b	20,7 b	23,4 b	20,3 b	20,1 b	22,3 b
IAC911099	13,8 ab	18,8 a	24,6 a	27,3 a	25,3 a	24,8 a	25,1 a
IACSP 933046	11,7 c	16,0 b	19,6 b	25,5 ab	25,4 a	25,1 a	26,2 a
IACSP 955000	14,5 a	18,7 a	23,6 a	27,6 a	26,2 a	26,0 a	25,3 a
RB867515	15,1 a	19,9 a	23,8 a	26,6 a	26,4 a	25,9 a	26,0 a

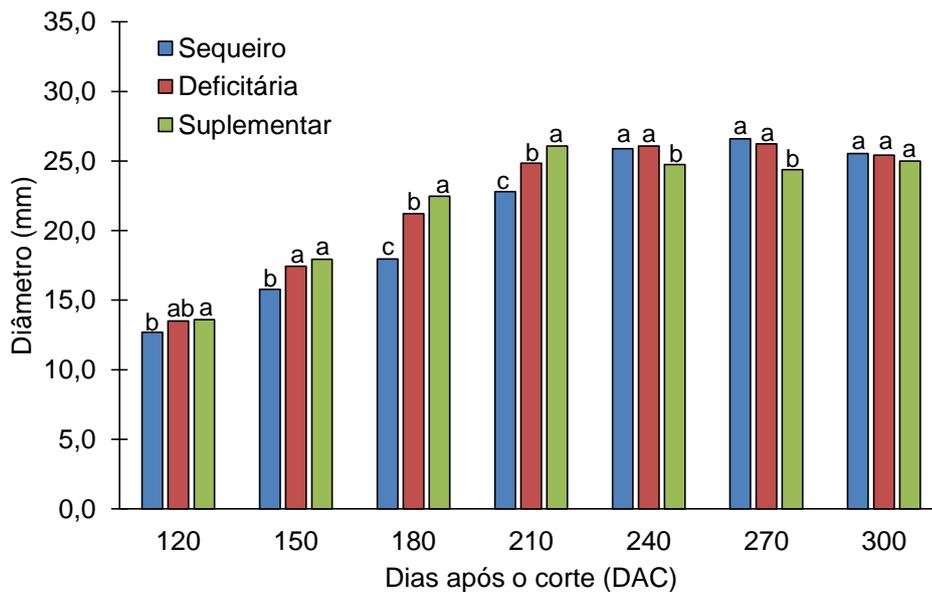
*médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

A cultivar CTC4 apresentou menores diâmetros dentro de cada regime e nas avaliações; ressalta-se que é uma característica genética desta cultivar em apresentar diâmetros finos do colmo (Landell et al., 2014). No regime sequeiro a cultivar RB867515 apresentou maiores diâmetros em todas as avaliações e aos 300 DAC teve diâmetro médio de 28,7 mm, sendo superior, estatisticamente, às quatro outras cultivares. No regime deficitário, a RB867515, a IAC911099 e a IACSP 955000, na

última avaliação destacaram-se com diâmetros próximos a 27,0 mm, não diferindo estatisticamente. No regime suplementar, com exceção da CTC4, todas as cultivares apresentaram aos 300 DAC valores estatisticamente iguais, superiores a 25 mm.

A cultivar RB867515 foi a que apresentou maiores valores durante o ciclo da cultura para o diâmetro, em regime irrigado, em estudo realizado por Rodolfo Júnior (2015). Entretanto, é possível observar que esta cultivar tem como característica uma redução do diâmetro no final do ciclo, como observado aos 300 DAC, e possivelmente, o uso da irrigação suplementar, forneceu condições para uma redução mais acentuada, possibilitando as cultivares (IAC911099, IAC 3046 e IAC 5000) apresentarem diâmetros semelhantes, porém é importante destacar que os valores dos diâmetros encontrados para a RB867515 estão dentro do esperado e apresentado na literatura.

O diâmetro da cana-de-açúcar tem por característica apresentar um aumento gradual até na metade da fase de crescimento da planta, a partir desta fase a taxa de alongação das plantas se torna máxima e a taxa de expansão do diâmetro dos colmos é mínima, posteriormente os diâmetros das plantas mantem-se constante ou apresentam uma leve redução até a colheita (Silva et al., 2012). A partir disso, na Figura 14, verifica-se que os diâmetros de todas as cultivares nos regimes irrigados apresentaram aumento até 210 DAC, após esta avaliação, se mantiveram, praticamente inalterados. No regime sequeiro esta estabilização ocorreu após os 240 DAC, sendo provável que a aplicação de água por irrigação promoveu antecipação no ciclo da cultura.



*colunas seguidas de uma mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.
 Figura 14. Diâmetro médio de cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico e dias após o corte.

Observa-se que o regime suplementar, proporcionou às plantas apresentarem maiores diâmetros até os 210 DAC. Entretanto aos 240 e 270 DAC o diâmetro foi interior aos regimes de sequeiro e deficitário, essa constatação foi a mesma observada por Campos et al. (2014) que verificaram que lâminas crescentes de irrigação de salvamento na cultura da cana-de-açúcar diminuíram o diâmetro do colmo das plantas. Isso pode estar associado que no tratamento com irrigação, as plantas transferem os fotoassimilados ao crescimento vertical em detrimento do crescimento do diâmetro do colmo.

É importante destacar que aos 300 DAC os três regimes hídricos não se diferiram estatisticamente, e apresentaram valores médios superiores a 25 mm. Gunarathna et al. (2018) encontraram diâmetros médios de cana-de-açúcar entre 25 e 30 mm, e verificaram que a partir 150 DAC ocorreu a estabilização dos diâmetros das plantas, e também, não observaram efeito significativo no diâmetro da cana em função dos métodos de irrigação. Sendo assim, o uso da irrigação favorece os diâmetros da cana-de-açúcar em praticamente todo o ciclo de cultivo, entretanto, o fator genético é preponderante no fator avaliado.

4.2.3 Número de perfilhos

O Teste F para o número de perfilhos foi significativo para as cultivares em todas as avaliações, já entre os regimes hídricos não foram encontradas diferenças aos 210, 240, 270 e 300 DAC e na colheita (412 DAC). A análise de variância não foi significativa para a interação irrigação x cultivares (Tabela 14).

Tabela 14. Resumo da análise de variância, valores de F, para o número de colmos avaliados, para cada DAC.

FV	Dias após o corte (DAC)							
	120	150	180	210	240	270	300	Colheita
Irrigação (I)	19,15**	11,84**	11,68**	0,59 ^{NS}	1,79 ^{NS}	1,62 ^{NS}	1,82 ^{NS}	1,57 ^{NS}
Cultivar (C)	15,70**	9,71**	7,77**	3,54**	6,23**	6,45**	3,89**	21,02**
I x C	0,66 ^{NS}	1,22 ^{NS}	1,40 ^{NS}	0,58 ^{NS}	1,39 ^{NS}	0,54 ^{NS}	1,51 ^{NS}	0,23 ^{NS}
CV (%)	17,63	18,12	16,69	18,37	17,71	16,34	17,57	15,70

FV – fator de variação, CV – coeficiente de variação, *significativo a 5%, ** significativo a 1%, ^{NS} – não significativo.

As cultivares CTC4 e IAC911099 destacaram com maiores perfilhamentos, nos três regimes hídricos, e a cultivar RB867515 menor perfilhamento (Tabela 15).

Tabela 15. Valores médios do número de colmos por metro, de cultivares de cana-de-açúcar, em cada regime hídrico, em função de DAC.

Cultivares	Sequeiro						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	33,6 a	29,3 a	38,3 a	24,2 a	21,8 ab	18,3 a	15,7 ab
IAC911099	29,0 ab	29,7 a	32,8 ab	22,7 ab	23,6 a	17,0 a	17,4 a
IACSP 933046	21,0 b	24,9 a	28,6 bc	24,4 a	19,1 bc	15,1 ab	14,5 ab
IACSP 955000	21,0 b	24,4 a	24,8 c	19,1 b	17,4 c	14,0 b	13,6 b
RB867515	18,2 b	24,0 a	27,3 bc	19,5 ab	17,4 c	13,5 b	13,1 b
Cultivares	Deficitária						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	53,4 a	38,7 a	32,6 a	23,6 a	20,6 a	18,8 a	18,1 a
IAC911099	40,3 b	34,1 ab	28,7 ab	20,2 a	21,0 a	18,3 a	15,9 a
IACSP 933046	30,7 bc	30,0 bc	28,6 ab	20,9 a	19,7 ab	14,7 b	14,8 a
IACSP 955000	36,0 bc	34,6 ab	29,3 ab	20,5 a	18,7 ab	16,9 ab	15,0 a
RB867515	29,1 c	25,1 c	24,3 b	19,3 a	16,0 b	14,5 b	14,0 a

Cultivares	Suplementar						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	52,3 a	40,7 a	27,5 a	23,8 a	20,8 a	20,1 a	19,7 a
IAC911099	38,0 b	34,2 ab	26,4 a	23,6 a	16,2 bc	16,4 ab	14,2 b
IACSP 933046	30,6 bc	32,5 ab	25,3 a	21,1 a	18,8 ab	15,9 b	17,2 ab
IACSP 955000	30,4 bc	28,9 bc	22,9 a	19,5 a	16,7 bc	16,2 b	15,3 b
RB867515	24,7 c	24,5 c	22,0 a	19,7 a	14,3 c	14,8 b	14,5 b

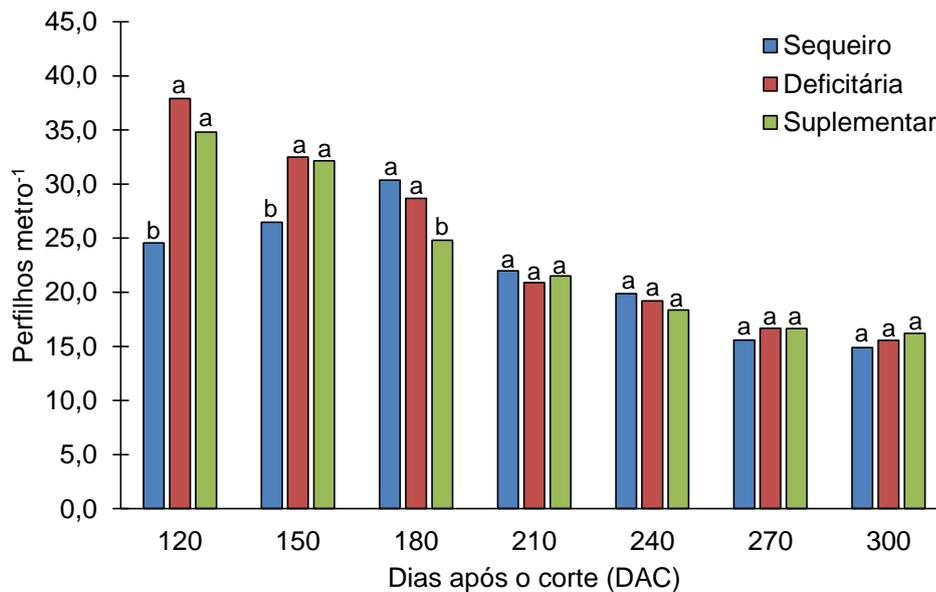
*médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

O perfilhamento em cana-de-açúcar é máximo no período entre 120 e 180 dias após o plantio/corte, para um grande número de cultivares plantadas (Tokeshi, 1986). Na Tabela 15, observa-se que as cinco cultivares estudadas, no regime sequeiro, atingiram um pico de perfilhamento aos 180 DAC, destacando-se as cultivares CTC4 e IAC911099, com 38,3 e 32,8 perfilhos m^{-1} , respectivamente.

Nos regimes deficitário e suplementar, na primeira avaliação (120 DAC) já foi constatado o maior perfilhamento, com a cultivar CTC4 diferindo das demais, com 38,7 e 40,7 perfilhos m^{-1} . Sendo assim, é possível que a irrigação tenha proporcionado a antecipação do ciclo da cultura, em razão dos maiores valores de perfilhamento serem encontrados já na primeira avaliação (120 DAC).

Almeida et al. (2008) observaram que em cana-planta, o maior perfilhamento ocorreu aos 120 dias para todas as cultivares estudadas, com a cultivar RB92579 apresentando o maior número de perfilhos (27,6 perfilhos m^{-1}) enquanto a média das demais cultivares estudadas foi de 20,6 perfilhos m^{-1} e resultados semelhantes foram encontrados em cana-soca com valores de 14,4 perfilhos m^{-1} para a RB92579 e 11,0 perfilhos m^{-1} para a média das demais.

A quantidade de perfilhos da cana-de-açúcar tem como característica de na fase inicial do desenvolvimento ocorrer elevado perfilhamento (conhecido como fase de perfilhamento), posteriormente, na fase de crescimento da planta, há redução no número de colmos, decrescendo até a colheita (Machado et al., 1982). Tal fato é evidenciado no regime sequeiro, no qual apresentou-se o pico de perfilhamento aos 180 DAC, com média de 30 perfilhos m^{-1} , decrescendo para 15 perfilhos m^{-1} no momento da colheita (Figura 15).



*colunas seguidas de uma mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.
 Figura 15. Número de colmos médio de cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico e dias após o corte.

A irrigação promoveu efeito significativo ($p < 0,05$) no perfilhamento quando as avaliações foram realizadas entre 120 e 180 DAC, nas demais não foram encontradas diferenças estatísticas significativas (Tabela 14). Destaca-se que aos 120 DAC os regimes deficitário e suplementar não diferiram, e apresentaram, respectivamente, 33 e 18% maior perfilhamento em relação ao regime sequeiro, tal fato também foi observado aos 150 DAC. Aos 180 DAC, os regimes sequeiro e deficitário não diferiram, e foram superiores ao regime suplementar, enfatizando que a aplicação de água proporciona o adiantamento do ciclo da planta. A partir dos 210 DAC não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os regimes hídricos.

Um perfilhamento vigoroso no início do ciclo da cultura é importante, pois, irá proporcionar brotos, aproximadamente, da mesma idade (Doorenbos e Kassam, 2000), assim, as plantas atingem ponto de maturação na mesma época e, conseqüentemente, facilita o processo de colheita e melhora a qualidade tecnológica do canavial. Bezuidenhout et al. (2003) indicam que o estresse hídrico pode causar redução na emissão de novos perfilhos, devido a deficiência hídrica cessar a divisão celular impedindo a diferenciação e o crescimento dos tecidos que darão origem às novas estruturas dos perfilhos, então a aplicação de água de irrigação, embora em pequenas quantidades, é uma alternativa, por estimular as plantas a manterem o crescimento e o número de colmos.

Na colheita da cana-de-açúcar foi determinado o perfilhamento dos tratamentos (Tabela 16). Observa-se que a irrigação não promoveu efeito significativo no perfilhamento das cultivares avaliadas, ou seja, nas condições irrigadas e de sequeiro os números de colmos por metro foram semelhantes para as cultivares. No entanto, a análise de variância indicou diferença significativa entre cultivares ($p < 0,05$), demonstrando existir cultivares que tem por características apresentarem maior perfilhamento.

Tabela 16. Teste de comparação de médias para o perfilhamento na colheita (412 DAC) de cinco cultivares de cana-de-açúcar em função do regime hídrico.

Cultivares	Perfilhos metro ⁻¹			Média
	Sequeiro	Deficitária	Suplementar	
CTC4	19,0 aA	20,8 aA	21,5 aA	20,5 A
IAC911099	16,3 aB	17,0 aB	17,6 aB	17,0 B
IACSP 933046	15,0 aB	15,8 aB	16,3 aB	15,7 BC
IACSP 955000	14,7 aB	16,2 aB	14,9 aB	15,3 C
RB867515	11,5 aC	12,7 aC	12,5 aC	12,2 D
Média	15,3 a	16,53 a	16,6 a	

*médias seguidas de uma mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores médios de perfilhamento (Tabela 16) na colheita demonstram que, nos três regimes hídricos, a cultivar que menos perfilhou foi a RB867515 (com, aproximadamente, 12 perfilhos m⁻¹), e a CTC4 destacou positivamente, com valores próximos a 20 perfilhos m⁻¹, sendo o alto perfilhamento uma característica intrínseca da cultivar.

O perfilhamento é um dos principais componentes para a estimativa do potencial de produção da cana-de-açúcar, existindo grande correlação com a altura e o diâmetro de colmos, sendo que em cultivares com menor perfilhamento, os colmos tendem a possuir maior altura e maior diâmetro (Silva et al., 2008), fato observado no presente estudo, em que a cultivar RB867515 apresentou maiores alturas (Tabela 11) e diâmetros (Tabela 13) que as demais cultivares, entretanto, destacou-se com menor perfilhamento.

4.2.4 Área foliar

4.2.4.1 Número de folhas verdes

Observa-se que houve diferença significativa entre as cultivares para cada avaliação, entretanto não foram encontradas significâncias no fator irrigação aos 120 e 240 DAC na interação regime hídrico x cultivar (exceto aos 300 DAC) (Tabela 17).

Tabela 17. Resumo da análise de variância, valores de F, para o número de folhas avaliados, para cada DAC.

FV	Dias após o corte (DAC)						
	120	150	180	210	240	270	300
Irrigação (I)	1,94 ^{NS}	38,00 ^{**}	9,53 ^{**}	2,38 [*]	0,49 ^{NS}	6,07 ^{**}	14,89 ^{**}
Cultivar (C)	6,80 ^{**}	7,35 ^{**}	4,32 ^{**}	6,25 ^{**}	4,56 ^{**}	17,45 ^{**}	15,44 ^{**}
I x C	1,03 ^{NS}	0,81 ^{NS}	0,79 ^{NS}	1,48 ^{NS}	0,79 ^{NS}	0,39 ^{NS}	2,46 [*]
CV (%)	9,54	8,14	7,89	8,01	8,97	7,96	7,42

FV – fator de variação, CV – coeficiente de variação, *significativo a 5%, ** significativo a 1%, ^{NS} – não significativo.

Nas Tabela 18 estão apresentados os resultados do número médio de folhas para as cultivares de cana-de-açúcar estudadas, nos diferentes regimes hídricos.

Tabela 18. Valores médios do número de folhas verdes por colmo de cultivares de cana-de-açúcar, em cada regime hídrico, em função de DAC.

Cultivares	Sequeiro						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	6,4 bc	4,6 b	5,1 a	5,1 ab	4,7 b	4,9 b	5,0 b
IAC911099	7,5 a	5,1 ab	5,3 a	5,3 a	5,3 a	5,4 a	5,5 a
IACSP 933046	6,0 c	5,2 a	5,2 a	4,7 b	4,5 b	4,3 b	5,2 ab
IACSP 955000	6,3 bc	4,7 b	5,5 a	4,7 b	4,7 b	4,6 b	4,4 c
RB867515	6,9 ab	5,4 a	5,3 a	5,2 a	4,9 ab	4,6 b	4,9 b
Cultivares	Deficitária						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	6,2 a	5,4 b	4,8 a	5,1 ab	4,7 a	5,1 b	5,0 b
IAC911099	6,8 a	5,8 ab	5,2 a	5,4 a	5,2 a	5,5 a	5,9 a
IACSP 933046	6,2 a	5,9 ab	4,9 a	4,8 b	5,1 a	4,6 b	5,1 b
IACSP 955000	6,4 a	5,7 ab	5,2 a	5,3 ab	4,8 a	4,5 b	4,8 b
RB867515	6,3 a	6,2 a	5,0 a	5,0 ab	4,7 a	4,7 b	5,0 b

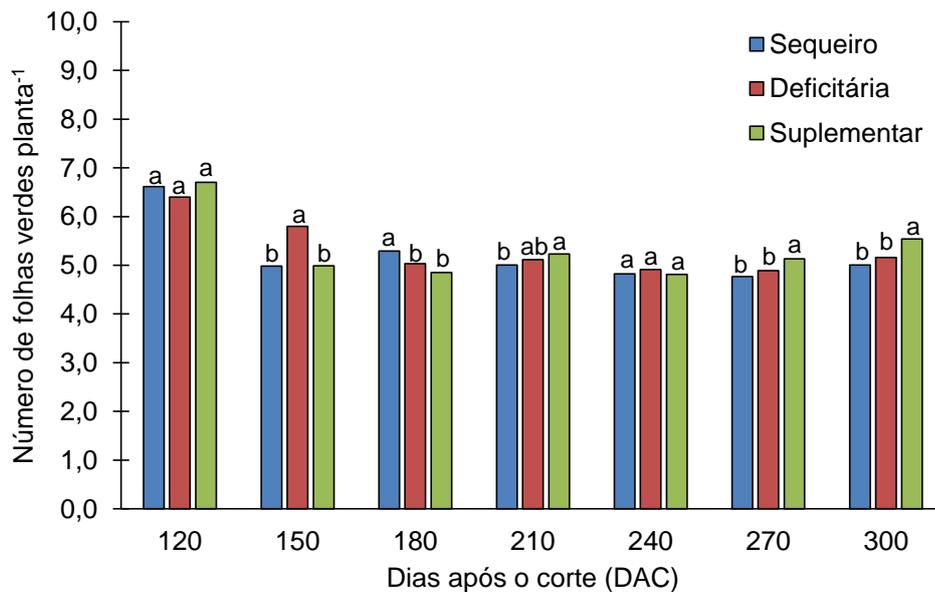
Cultivares	Suplementar						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	6,0 b	4,4 b	4,3 b	4,8 c	4,6 b	5,3 ab	5,8 a
IAC911099	7,3 a	5,1 a	5,3 a	5,8 a	5,2 a	5,6 a	5,6 ab
IACSP 933046	6,6 ab	5,3 a	4,9 a	5,1 bc	4,6 b	5,0 b	6,0 a
IACSP 955000	6,8 a	5,1 a	5,0 a	5,1 bc	4,8 ab	4,7 b	5,3 bc
RB867515	6,8 a	5,1 a	4,8 a	5,4 ab	4,8 ab	5,0 b	5,1 c

*médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

A cultivar IAC911099 destacou-se com maiores quantidades de folhas verdes, nos três regimes hídricos durante todo o ciclo da cultura, sendo que aos 300 DAC apresentou médias de 5,5 e 5,6 folhas por colmo, respectivamente, para os tratamentos sequeiro e suplementar; e para o regime deficitário, média de 5,9 folhas por colmo, sendo esta estatisticamente superior a todas as cultivares, as quais se igualaram.

As cultivares IACSP 955000 (4,4 folhas por colmo) e RB867515 (5,1 folhas por colmo), apresentaram-se com menores quantidades de folhas verdes, respectivamente, nos regimes sequeiro e suplementar, aos 300 DAC. Inman-Bamber (2004) afirma que a redução de folhas verdes tem sido relatada em plantas de cana-de-açúcar com deficiência hídrica. Holanda et al. (2014) observaram que a variável número de folhas teve menor sensibilidade ao nível de estresse hídrico aplicado, sendo necessários estresses mais severos para causar reduções mais significativas.

A aplicação de lâminas de irrigação não proporcionou diferenças estatísticas significativas aos 120 e 240 DAC (Tabela 17), porém, nas demais avaliações foram observadas diferenças, com destaque para o regime suplementar (Figura 16).



*colunas seguidas de uma mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 16. Número de folhas verdes de cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico e dias após o corte.

Aos 120 DAC foram encontrados maiores quantidades de folhas por colmo, em média de 6,5 para os três regimes hídricos. Posteriormente, ocorreu uma redução, a qual se manteve praticamente inalterada durante todo o ciclo da planta, com valores próximos a 5,0 folhas verdes por colmo. Ramesh (2000) relata que, passada a fase de intenso crescimento, a cultura diminui o gasto de energia para produção de folhas verdes.

Salienta-se que aos 210, 270 e 300 DAC, as cultivares no regime suplementar, apresentaram em média, valores superiores aos regimes sequeiro e deficitário, portanto, é provável que a redução do número de folhas verdes é uma estratégia da planta, que visa reduzir a transpiração (diminuição da superfície) e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos quando a planta está com déficit hídrico (Inman-Bamber e Smith, 2005).

4.2.4.2 Área foliar

Foram ajustadas equações para estimar a área foliar a partir daquelas sugeridas por Hermann e Câmara (1999), Equação 5, de acordo com regime hídrico em que as cultivares foram submetidas (Tabela 19).

Tabela 19. Equações para determinação da área foliar (folha +3) de cultivares de cana-de-açúcar em função do regime hídrico.

Regime	Equação	S	R ²
Sequeiro	$AF = C \times L \times 0,734$	**	0,993
Deficitária	$AF = C \times L \times 0,704$	**	0,990
Suplementar	$AF = C \times L \times 0,698$	**	0,990

AF – área foliar da folha +3 (cm²); C – comprimento da folha +3; L – largura da folha +3; S - significância; ** - significativo a 1% pelo teste F (P<0,01); R² - coeficiente de determinação.

Observou-se significância a 1% de probabilidade das equações ajustadas e grande correlação entre os valores do produto (largura x comprimento da folha +3) e a área foliar determinada pelo integrador de área foliar, com coeficientes de determinação (R²) próximos a 0,99. É importante destacar que os valores de fator forma encontrados para os três regimes hídricos foram inferiores a 0,75, que foi sugerido por Hermann e Câmara (1999), indicando que as cultivares utilizadas pelos autores apresentam características diferentes das atuais.

Ferreira Júnior et al. (2014) encontraram valor do fator forma igual a 0,65 e o ajuste apresentou coeficiente de determinação (R²) de 0,96, indicativo de que as dimensões foliares (comprimento e largura) permitem explicar a maior parte da variabilidade da área foliar.

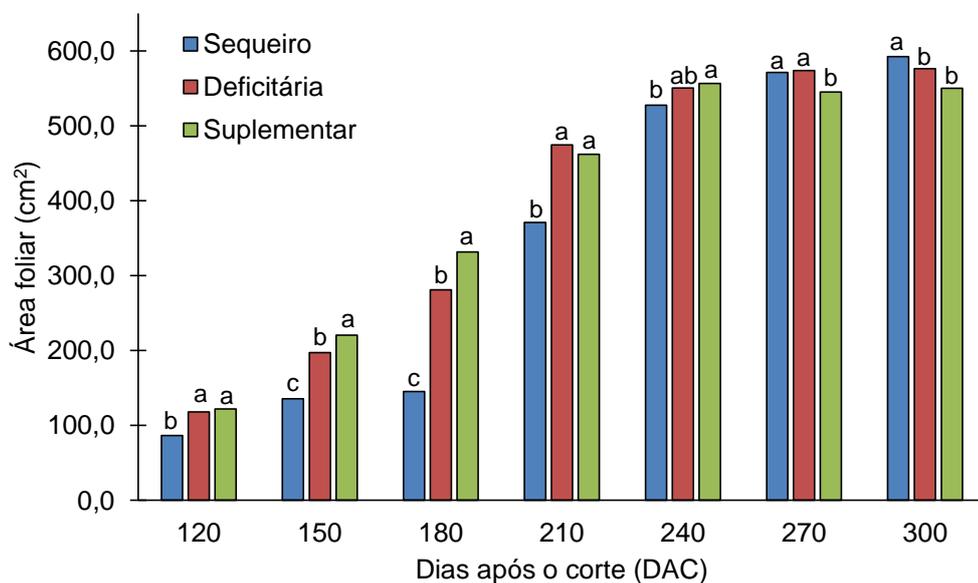
A partir das equações encontradas (Tabela 19) e com base nos comprimentos e larguras das folhas +3, foram estimadas as áreas foliares das cultivares durante o ciclo da cultura, sendo que a análise de variância indicou diferenças entre cultivares e regimes hídricos de forma isolada (Tabela 20).

Tabela 20. Resumo da análise de variância, valores de F, para a área da folha +3, para cada DAC.

FV	Dias após o corte (DAC)						
	120	150	180	210	240	270	300
Irrigação (I)	29,28**	71,54**	98,54**	5,93*	2,03*	6,28**	4,24**
Cultivar (C)	4,12**	13,92**	4,84**	3,94**	41,98**	88,99**	16,73**
I x C	0,81 ^{NS}	0,68 ^{NS}	1,86 ^{NS}	0,69 ^{NS}	2,04*	1,99 ^{NS}	0,26 ^{NS}
CV (%)	13,35	12,67	15,93	17,56	10,91	7,04	12,04

FV – fator de variação, CV – coeficiente de variação, *significativo a 5%, ** significativo a 1%, ^{NS} – não significativo.

Na Figura 17 observa-se que até os 240 DAC, a área foliar do regime sequeiro foi estatisticamente inferior aos regimes irrigados. Para Silva et al. (2013b), a área foliar está diretamente relacionada a demanda hídrica para cada fase de desenvolvimento, revelando que limitações hídricas em períodos específicos diminuem a área foliar, a taxa fotossintética e o desenvolvimento das plantas. Assim, o estresse hídrico proporcionado no início do desenvolvimento afetou diretamente a área foliar das plantas, entretanto, no final do ciclo o estresse não afeta a expansão da área foliar, a qual praticamente se mantém constante.



*colunas seguidas de uma mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 1% de probabilidade.
 Figura 17. Área da folha +3 de cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico e dias após o corte.

Silva Júnior (2015) estudando a resposta da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação por gotejamento subsuperficial, encontrou para a cultivar RB855453 diferenças estatísticas significativas, de área foliar, entre os tratamentos irrigados aos 120 e 240 DAC, porém aos 360 DAC os tratamentos não diferiram estatisticamente, e apresentaram valores próximos 350 cm². Inmann-Bamber (2004) salienta que a redução na abertura e crescimento das folhas é afetado pela baixa absorção de água, diminuindo assim a superfície foliar e, também a demanda por água, entretanto, a planta retorna ao seu crescimento normal quando o seu suprimento de água se normaliza.

Os valores médios de área foliar e o teste de comparação de médias para as cultivares de cana-de-açúcar, nos diferentes regimes hídricos, são apresentados na Tabela 21. As cultivares RB867515 e CTC4 apresentaram, respectivamente, maiores e menores áreas foliares nos três regimes hídricos.

Tabela 21. Valores médios da área da folha+3 de cultivares de cana-de-açúcar (cm²), em cada regime hídrico, em função de DAC

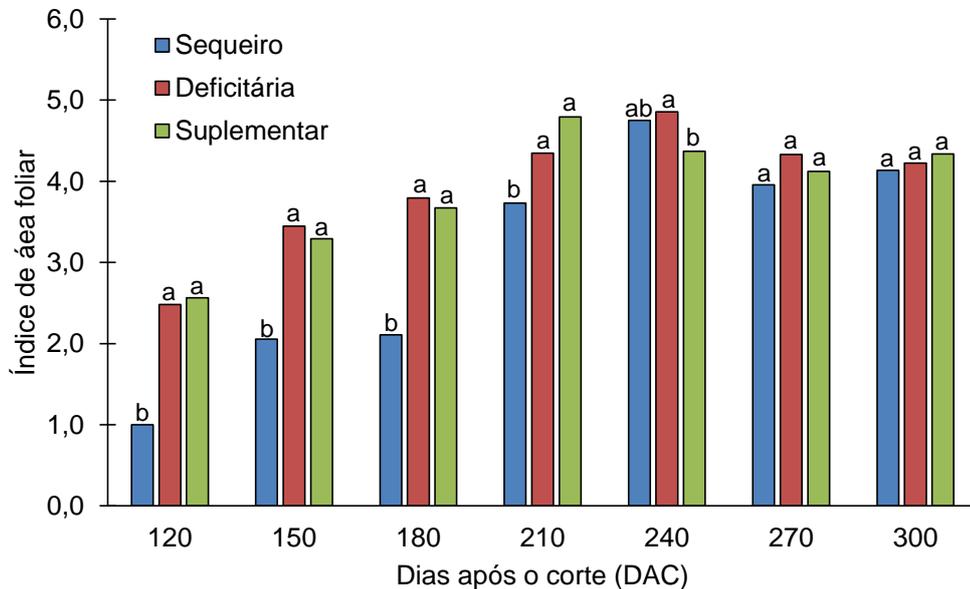
Cultivares	Sequeiro						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	83,5 a	123,9 ab	121,1 a	291,3 a	426,4 b	393,6 c	468,5 c
IAC911099	91,0 a	121,8 b	166,6 a	395,8 a	536,4 a	579,9 b	588,2 b
IACSP 933046	80,4 a	119,4 b	118,7 a	327,3 a	515,7 a	621,4 ab	663,4 ab
IACSP 955000	86,6 a	153,4 ab	156,8 a	442,9 a	580,6 a	640,5 a	651,0 ab
RB867515	91,0 a	159,5 a	163,5 a	397,9 a	578,4 a	621,2 ab	704,7 a
Cultivares	Deficitária						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	117,0 ab	183,3 b	263,8 bc	364,6 b	369,1 b	388,9 d	406,7 b
IAC911099	126,9 a	186,6 b	295,4 b	442,1 ab	556,0 a	564,8 c	528,6 b
IACSP 933046	98,2 b	165,9 b	222,3 c	485,6 ab	585,8 a	638,6 ab	642,0 a
IACSP 955000	125,1 a	226,7 a	363,4 a	491,1 ab	615,9 a	598,1 b	640,8 a
RB867515	122,5 ab	224,3 a	260,3 bc	588,9 a	624,8 a	677,3 a	662,2 a
Cultivares	Suplementar						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	110,8 b	197,4 c	263,0 b	320,6 b	324,9 c	331,2 c	393,2 c
IAC911099	126,2 ab	218,6 b	356,4 a	513,8 a	574,9 b	524,8 b	523,2 b
IACSP 933046	101,2 b	176,8 c	343,4 a	482,2 ab	597,6 ab	602,9 a	619,6 ab
IACSP 955000	123,4 ab	265,5 a	350,1 a	540,8 a	645,1 a	630,1 a	556,7 ab
RB867515	147,3 a	244,5 ab	344,6 a	451,7 ab	639,4 ab	602,1 a	656,7 a

*médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

4.2.4.3 Índice de área foliar

O índice de área foliar decresce com a redução do número de perfilhos por metro e da área foliar. Tal fato é evidenciado na Figura 18, na qual é possível

identificar maiores valores de IAF aos 210 DAC para o regime suplementar (4,8) e aos 240 DAC para os regimes sequeiro e deficitário (respectivamente, 4,8 e 4,9).



*colunas seguidas de uma mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 1% de probabilidade.
 Figura 18. Índice de área foliar de cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico e dias após o corte.

O tratamento sequeiro apresentou estatisticamente valores inferiores aos regimes irrigados (os quais se igualaram) até os 210 DAC. Posteriormente não foram identificadas diferenças entre os regimes hídricos (com exceção aos 240 DAC, em que o regime suplementar foi inferior), e os valores de IAF ficaram próximos a 4,5. Machado et al. (1982) relatam que o IAF ideal estaria em torno de 4,0; que seria suficiente para interceptar cerca de 95% da radiação solar, o que condiz aos resultados encontrados neste trabalho.

A limitação no crescimento é considerada como o primeiro mecanismo de defesa da cultura ao déficit hídrico, uma vez que as atividades que dependem da turgidez celular ficam comprometidas, sendo as primeiras a expressarem resposta à menor disponibilidade de água na planta, por meio da redução da área foliar e crescimento radicular (Taiz e Zeiger, 2013), o que justifica os menores valores de IAF no regime sequeiro; porém, ressalta-se que entre 210 e 240 DAC as plantas encontravam-se no período chuvoso (como descrito na Figura 10), sendo assim, possivelmente a precipitação ocorrida na área foi suficiente para as cultivares no sequeiro expandirem suas áreas foliares e assemelharem aos regimes irrigados.

Na Tabela 22 são apresentados os valores médios do índice de área foliar e o teste de comparação de médias para as cultivares de cana-de-açúcar, nos diferentes regimes hídricos.

Tabela 22. Valores médios de índice de área foliar (IAF) de cultivares de cana-de-açúcar, em cada regime hídrico, em função de DAC

Cultivares	Sequeiro						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	1,2 a	2,0 a	2,2 a	3,3 a	4,1 b	3,2 b	3,3 b
IAC911099	1,3 a	2,3 a	2,6 a	4,3 a	6,2 a	4,9 a	5,2 a
IACSP 933046	0,8 a	1,6 a	1,7 a	3,5 a	4,2 b	3,9 ab	4,2 ab
IACSP 955000	0,8 a	2,1 a	2,0 a	3,8 a	4,6 b	4,0 ab	3,8 b
RB867515	0,8 a	2,3 a	2,1 a	3,7 a	4,6 b	3,7 b	4,2 ab
Cultivares	Deficitária						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	3,1 a	4,0 a	3,8 ab	3,7 b	3,3 b	3,5 b	2,9 b
IAC911099	3,1 a	3,4 ab	4,1 ab	4,7 ab	5,7 a	5,1 a	4,5 a
IACSP 933046	1,8 b	2,9 b	3,0 b	4,2 ab	5,4 a	4,2 ab	4,5 a
IACSP 955000	2,6 ab	3,8 a	4,9 a	5,2 a	5,3 a	4,5 ab	4,5 a
RB867515	2,1 ab	3,1 ab	3,3 b	3,9 b	4,5 b	4,4 ab	4,6 a
Cultivares	Suplementar						
	120 DAC	150 DAC	180 DAC	210 DAC	240 DAC	270 DAC	300 DAC
CTC4	3,1 a	3,4 ab	3,0 b	3,4 c	3,4 b	3,1 b	4,3 b
IAC911099	3,1 a	3,6 ab	4,6 a	6,3 a	4,4 ab	4,4 ab	4,0 b
IACSP 933046	1,9 c	2,8 b	3,8 ab	4,9 b	4,9 a	4,5 a	5,7 a
IACSP 955000	2,3 c	3,7 a	3,7 ab	5,1 b	4,9 a	4,5 a	4,0 b
RB867515	2,1 c	2,9 ab	3,2 b	4,5 bc	4,2 ab	4,1 ab	3,9 b

*médias seguidas de uma mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Observa-se que as aplicações de lâminas de água foi fator preponderante para a determinação dos maiores valores do IAF (Tabela 22). No regime sequeiro e deficitário, todas as cultivares apresentaram maiores índices aos 240 DAC, com destaque a cultivar IAC911099 com 6,2 e 5,7; respectivamente. No regime suplementar as cultivares atingiram o máximo valor aos 210 DAC, com a cultivar

IAC911099, também, sendo superior as demais com 6,3. Um efeito notável do déficit hídrico nas plantas é a limitação à expansão da área foliar; sendo que o decréscimo da área foliar é uma das consequências em resposta ao déficit hídrico, podendo ser considerado uma forma inicial de defesa contra a seca (Santos e Carlesso, 1998)

Rodolfo Júnior (2015) caracterizando cultivares de cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos obteve resultados semelhantes, com destaque a cultivar RB867515 apresentando maiores valores de área foliar, e também, verificou que as plantas em regime sequeiro apresentaram rápida recuperação da área foliar e do índice de área foliar aos 300 DAC, os quais se igualaram aos regimes irrigados.

A cultivar CTC4 apresentou menores valores de IAF em comparação as demais nos três regimes hídricos, em quase todas as avaliações; sendo que nos períodos de máximos IAF, obteve IAF de 4,1; 3,3 e 3,4, nos regimes sequeiro, deficitário e suplementar. Inman-Bamber e Smith (2005) relatam que, embora o crescimento do IAF seja sensível ao estresse hídrico, ele não terá um efeito profundo sobre a fotossíntese, desde que o IAF seja maior do que 3,0; em razão da grande interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, mesmo com IAF menores. Portanto, apesar da cultivar apresentar valores inferiores em relação as demais cultivares, estes valores encontram-se dentro do esperado.

Em estudo de lâminas de irrigação na cana-de-açúcar, Farias et al. (2007) encontraram valores máximos de IAF aos 150 DAP (dias após o plantio) e foram em média iguais a 3,8 para o máximo valor encontrado, com irrigação de 100% da ETc e 1,8 para o mínimo, com 25% da ETc. Costa et al. (2011), ao estudarem crescimento e produtividade de quatro cultivares de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo, observaram que no período da colheita, a cultivar RB93509 atingiu o máximo de IAF igual a 4,2, seguida da SP79-1011 com 3,4; da RB92579 com 2,7 e da RB931530 com 2,5. Demonstrando que as variações do IAF além de serem afetadas pelo estresse hídrico, é influenciado pela arquitetura foliar das diferentes cultivares.

4.3 Análises tecnológicas dos colmos

A análise de variância para os parâmetros tecnológicos dos colmos é apresentada na Tabela 23.

Tabela 23. Resumo da análise de variância, valores de F, para os parâmetros tecnológicos dos colmos

FV	Parâmetros					
	°Brix	Fibra	PC	POL	Pureza	ATR
Irrigação (I)	1,73 ^{NS}	1,96 ^{NS}	2,13*	2,57*	2,00*	2,06*
Cultivar (C)	0,40 ^{NS}	0,57 ^{NS}	1,08 ^{NS}	0,90 ^{NS}	1,71 ^{NS}	1,00 ^{NS}
I x C	0,97 ^{NS}	0,19 ^{NS}	1,16 ^{NS}	1,11 ^{NS}	1,56 ^{NS}	1,13 ^{NS}
CV (%)	5,97	5,70	6,89	7,17	3,00	6,40

FV – fator de variação, °Brix – sólidos solúveis totais, PC – quantidade de sacarose na cana, POL – quantidade de sacarose no caldo, ATR – açúcar total recuperável, CV – coeficiente de variação, *significativo a 5%, ^{NS} – não significativo.

Apenas para os parâmetros sólidos solúveis totais e teores de fibra não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, apresentando, respectivamente, valores superiores a 20 °Brix e 11% (Tabela 24).

Tabela 24. Valores médios de sólidos solúveis e teor de fibra na qualidade da cana-de-açúcar.

Cultivares	Sólidos solúveis totais (°Brix)			Teor de fibra (%)		
	Sequeiro	Deficitária	Suplementar	Sequeiro	Deficitária	Suplementar
CTC4	21,23	19,97	20,64	11,68	10,92	11,44
IAC911099	20,49	20,68	21,57	11,31	11,06	11,35
IACSP 933046	20,00	21,26	21,06	11,53	10,84	11,13
IACSP 955000	20,73	21,15	21,48	11,43	10,84	11,35
RB867515	21,39	20,40	21,20	11,80	11,13	11,49

Na Tabela 25 verifica-se que a quantidade de sacarose na cana (PC) não apresentou diferenças estatísticas entre as cultivares e na interação lâmina x cultivar. Entretanto, ocorreram diferenças estatísticas para as lâminas de irrigação dentro das cultivares CTC4 e IAC911099, nas quais o regime sequeiro e a irrigação suplementar proporcionaram maiores valores, respectivamente, 15,64 e 16,77%. As cultivares IACSP 933046, IACSP 955000 e RB867515 não tiveram diferenças entre lâminas de irrigação e apresentaram valores próximos a 16%. As diferenças estatísticas encontradas na quantidade de sacarose no caldo (POL) foram semelhantes ao PC,

com o regime sequeiro e a irrigação suplementar sendo superior, respectivamente, para as cultivares CTC4 e IAC911099.

Tabela 25. Valores médios de PC (%) e POL (%) na qualidade da cana-de-açúcar.

Cultivares	PC (%)			POL (%)		
	Sequeiro	Deficitária	Suplementar	Sequeiro	Deficitária	Suplementar
CTC4	16,43 aA	14,92 bA	15,64 abA	19,29 aA	17,31 bA	18,30 abA
IAC911099	15,47 bA	16,06 abA	16,77 aA	18,07 bA	18,66 abA	19,58 aA
IACSP 933046	15,21 aA	16,06 aA	16,28 aA	17,82 aA	18,58 aA	18,95 aA
IACSP 955000	16,46 aA	16,19 aA	16,59 aA	19,24 aA	18,75 aA	19,37 aA
RB867515	15,86 aA	15,54 aA	16,23 aA	18,67 aA	18,07 aA	19,00 aA
Teste F	1,16*			1,11*		

*médias seguidas de uma mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

A análise estatística da pureza não apresentou diferenças significativas na interação cultivar x lâmina, ou seja, os fatores agem de modo independente sobre a variável (Tabela 26). A irrigação suplementar não promoveu diferenças entre as cultivares, já a irrigação deficitária proporcionou maiores valores de pureza, superiores a 90%, para as cultivares IAC911099 e IACSP 955000 diferindo da CTC4 com 86,4%. Para o tratamento sequeiro a CTC4 destacou-se com maior pureza, próximo a 91%, superior ao regime deficitário, podendo inferir que esta apresenta certa tolerância ao déficit hídrico. Valores de pureza recomendados para a colheita de cana-de-açúcar são aqueles maiores do que 85% (Ripoli e Ripoli, 2004), portanto não há nenhuma restrição para os tratamentos deste trabalho.

Tabela 26. Valores médios de Pureza (%) e ATR (kg t⁻¹) na qualidade da cana-de-açúcar.

Cultivares	Pureza (%)			ATR (kg t ⁻¹)		
	Sequeiro	Deficitária	Suplementar	Sequeiro	Deficitária	Suplementar
CTC4	90,84 aA	86,40 bB	88,47 abA	162,29 aA	149,02 bA	155,42 abA
IAC911099	88,17 aAB	90,33 aA	90,83 aA	153,88 bA	159,00 abA	165,62 aA
IACSP 933046	89,08 aAB	87,71 aAB	89,94 aA	151,11 aA	159,65 aA	161,14 aA
IACSP 955000	90,96 aA	90,41 aA	90,15 aA	162,57 aA	160,22 aA	164,08 aA
RB867515	87,28 aB	88,49 aAB	89,56 aA	157,83 aA	154,40 aA	160,75 aA

*médias seguidas de uma mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Dentre os atributos analisados, o açúcar total recuperável (ATR) é um dos mais importantes, pois é em função do seu valor que as unidades industriais elaboram o preço pago aos produtores, de acordo com metodologia criada pelo CONSECANA (2006). A análise de variância para este parâmetro apresentou diferenças estatísticas apenas para os regimes hídricos dentro das cultivares CTC4 e IAC911099, destacando, respectivamente para cada cultivar, o regime sequeiro com 162,29 kg t⁻¹ e a irrigação suplementar com 165,62 kg t⁻¹, este último sendo o maior ATR entre todos os tratamentos (Tabela 26).

O maior incremento de ATR entre o regime sequeiro e o suplementar ocorreu na cultivar IAC911099, que foi igual a 7,6%. Os valores elevados dos atributos tecnológicos das cultivares irrigadas, podem estar associados ao manejo pleno da irrigação, que intensifica o perfilhamento e a alongação do colmo e, conseqüentemente, antecipa a maturação fisiológica da cana-de-açúcar e promove o aumento dos níveis de sacarose nas células do colmo (Oliveira et al., 2011).

Com valores semelhantes aos encontrados neste trabalho, Gonçalves et al. (2017) estudando as relações hídricas e a produtividade da cana irrigada com águas residuárias domésticas por meio do gotejamento subsuperficial, não observaram diferenças significativas entre os tratamentos para nenhum dos parâmetros tecnológicos, com valores médios de SST, POL, Pureza, Fibra e ATR iguais a 21,50 °Brix; 19,21%; 89,33%; 11,02%; e 16,39 kg t⁻¹, respectivamente.

As poucas diferenças estatísticas encontradas nos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar salientam que a implantação da irrigação por gotejamento subsuperficial não tem efeito na redução da concentração da sacarose, o que possibilita a obtenção de maiores produções de cana e sacarose em áreas irrigadas.

4.4 Análises produtivas da cana-de-açúcar

4.4.1 Estimativa da produtividade

A estimativa da produtividade é importante para se prever possíveis alterações que possam ocorrer no desenvolvimento da cultura. Os valores estimados da produtividade da cana-de-açúcar, aos 300 DAC, obtidos pelo modelo sugerido por Martins e Landell (1995), Equação 13, são apresentados nas Tabela 27.

Tabela 27. Valores médios para a produtividade estimada de cinco cultivares de cana-de-açúcar, em função do regime hídrico.

Cultivares	Produtividade simulada (t ha ⁻¹)			
	Sequeiro	Deficitária	Suplementar	Média
CTC4	93,02	123,48	148,21	121,57
IAC911099	141,80	162,95	153,52	146,09
IACSP 933046	90,23	117,08	157,82	121,71
IACSP 955000	103,42	150,56	136,67	130,22
RB867515	146,52	150,83	139,49	145,61
Média	115,00	141,00	143,14	

As cultivares IAC911099 e RB867515 destacaram-se, na média, com produtividades superiores às demais (acima de 145 t ha⁻¹). Dentro do regime deficitário a cultivar IACSP 933046 apresentou menor produtividade (117 t ha⁻¹) e a IACSP 955000 no regime suplementar (136 t ha⁻¹). E no regime sequeiro, as cultivares CTC4 e IACSP 933046 apresentaram menores valores, inferiores a 100 t ha⁻¹.

Destaca-se que as produtividades médias dos regimes deficitário e suplementar apresentaram pouca diferença e foram superiores a 140 t ha⁻¹. A irrigação proporcionou em média maiores produtividades estimadas para as cultivares em relação ao sequeiro, com aumento de 22,6 e 24,5%, respectivamente, para os tratamentos deficitário e suplementar. As práticas de manejo de culturas aplicadas à cana-de-açúcar nos campos comerciais variam consideravelmente de uma área para outra, levando a cultura a responder diferentemente às condições edafoclimáticas (Dias e Sentelhas, 2017).

Valores próximos aos encontrados neste trabalho foram relatados por Campos et al. (2014) que obtiveram produtividades (TCH) em cana-de-açúcar com irrigação suplementar, iguais a 140,68 t ha⁻¹, 168,59 t ha⁻¹, 144,57 t ha⁻¹ e 154,98 t ha⁻¹ para as cultivares CTC 4, IAC 91-1099, IAC 95-5000 e RB86-7515, respectivamente.

É importante destacar que a utilização ou não de um sistema de irrigação deve ser baseado em outras perspectivas e não somente a uma análise de produtividade, ou seja, deve-se considerar os benefícios que a irrigação pode trazer aos canaviais, como aumento da vida útil e possibilidades de se adotar fertirrigação e quimigação. Frizzone et al. (2001) estudando a viabilidade econômica do uso da irrigação

suplementar na cultura da cana-de-açúcar no norte do estado de São Paulo, concluíram que a irrigação suplementar de canas socas colhidas entre maio e julho, apresentam potencial de viabilidade técnico-econômica para ser introduzida nas lavouras canavieiras.

4.4.2 Produtividade de colmos e de açúcar

Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as médias das produtividades de colmos e de açúcar da cana em relação aos regimes hídricos e as cultivares, de forma isolada (Tabela 28).

Tabela 28. Resumo da análise de variância, valores de F, para as produtividades de colmos e de açúcar.

FV	Produtividade de colmos	Produtividade de açúcar
Irrigação (I)	20,08**	21,70**
Cultivar (C)	3,71**	3,70**
I x C	0,81 ^{NS}	0,88 ^{NS}
CV (%)	15,05	16,23

FV – fator de variação, **significativo a 1%, ^{NS} – não significativo.

O teste de comparação de médias (teste t) para a produtividade de colmos é apresentado na Tabela 29.

Tabela 29. Produtividade de colmos de cinco cultivares de cana-de-açúcar.

Cultivares	Produtividade de colmos (t ha ⁻¹)			
	Sequeiro	Deficitária	Suplementar	Média
CTC4	112,40 aAB	128,72 aA	122,46 aB	121,19 B
IAC911099	121,11 bA	147,83 aA	157,02 aA	142,00 A
IACSP 933046	95,90 bB	126,96 aA	145,34 aAB	122,74 B
IACSP 955000	105,10 bAB	132,09 aA	131,45 aB	122,88 B
RB867515	111,57 bAB	132,41 aA	132,40 aB	125,46 B
Média	109,22 b	133,60 a	137,74 a	

*médias seguidas de uma mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Apenas a CTC4 não apresentou diferenças estatísticas significativas em relação aos regimes hídricos, ou seja, a água não foi fator determinante para o aumento produtivo da cultivar (Tabela 29), enfatizando a característica da cultivar ser resistente ao déficit hídrico. As demais cultivares diferiram estatisticamente, com os tratamentos sequeiros sendo inferiores aos tratamentos deficitários e suplementares, os quais se igualaram. Assim, pode-se inferir que períodos prolongados com baixa disponibilidade hídrica afetam negativamente a produtividade de colmos e de açúcar (Inman-Bamber e Smith, 2005).

Por ser uma planta de metabolismo C_4 a cana-de-açúcar apresenta maior eficiência no uso da água em comparação às plantas de metabolismo C_3 (Taiz e Zeiger, 2013). Logo, a lâmina de água de 320 mm (aplicada no regime deficitário) foi suficiente para as cultivares apresentarem desempenho semelhante aos tratamentos com 640 mm de irrigação suplementar. Em vista disso, a aplicação de menores quantidades de água proporcionou à cultura produtividades semelhantes a aplicação de maiores lâminas de irrigação.

A cultivar IAC911099 destacou-se das demais, com produtividade de colmos de 157,02 t ha⁻¹ e 147,83 t ha⁻¹, respectivamente, para os regimes suplementar e deficitário, que não diferiram e foram superiores às demais cultivares para seus respectivos regimes hídricos. A irrigação proporcionou incremento de 29,6 e 22,1%, respectivamente, suplementar e deficitário, em relação ao sequeiro para a cultivar IAC911099, e ainda é importante ressaltar que esta foi mais produtiva em comparação às demais cultivares dentro do regime sequeiro, com 121,11 t ha⁻¹.

Diferenças de produção entre regimes hídricos e entre cultivares também foram encontradas por Costa et al. (2016), os quais avaliando a lâmina de irrigação que promovia maior produtividade de duas cultivares de cana-de-açúcar, observaram que para a cultivar RB855453 a produtividade máxima de colmos (189 t ha⁻¹) foi alcançada com fornecimento de 75% da ETc; já para a cultivar RB96-5902 a produtividade máxima (173 t ha⁻¹) foi obtida com lâmina equivalente a 150% da ETc.

Bastos et al. (2015) avaliando a aplicação de nitrogênio e de irrigação na produtividade da cana, observaram que ocorreu incremento de 90,61 t ha⁻¹ na produtividade de colmos do tratamento de sequeiro para o de irrigação 100%. Segundo Machado et al. (2009), as plantas de cana-de-açúcar podem apresentar

decréscimos significativos em sua produção de fitomassa como resposta fisiológica para evitar os efeitos do estresse hídrico, podendo atingir produções 35% menores.

A produtividade de açúcar apresentou a mesma tendência que a produtividade de colmos, ou seja, a produtividade da sacarose (açúcar) aumentou em razão da melhoria na produtividade da cultura, portanto, a aplicação de água proporcionou incremento na quantidade de açúcar (Tabela 30), excetuando as cultivares CTC4 e a RB867515, as quais podem ser atribuídas a expressões genéticas de tolerância e podem variar de acordo com a resposta da cultivar de cana-de-açúcar utilizada (Ianman-Bamber e Smith, 2005).

Tabela 30. Produtividade de açúcar de cinco cultivares de cana-de-açúcar.

Cultivares	Produtividade de açúcar (t ha ⁻¹)			
	Sequeiro	Deficitária	Suplementar	Média
CTC4	17,39 aAB	19,55 aA	19,54 aB	18,83 B
IAC911099	18,65 bA	23,51 aA	26,01 aA	22,72 A
IACSP 933046	14,49 bB	20,28 aA	23,14 aAB	19,30 B
IACSP 955000	17,26 bAB	21,16 aA	21,62 aB	20,01 B
RB867515	17,42 aAB	20,30 aA	21,34 aB	19,69 B
Média	17,04 b	20,96 a	22,33 a	

*médias seguidas de uma mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade.

Para as cultivares IAC911099, IACSP 933046 e IACSP 955000 foram encontrados aumentos, respectivamente, de 39,5; 59,7 e 25,3% em produtividade de açúcar, dos tratamentos com irrigação suplementar em comparação com o de sequeiro. Gava et al. (2011), avaliando a produtividade de colmos de três cultivares de cana-de-açúcar (primeira soca), encontraram produção estatisticamente maior para os tratamentos irrigados, com aumento médio de 24% em colmos e 23% em açúcar em comparação com o não irrigado. Portanto, o uso da irrigação subsuperficial propicia maior produtividade de açúcar, favorecendo o retorno econômico da cultura.

4.4.3 Eficiência do uso da água

A irrigação deficitária proporcionou maiores valores de EUA para as cultivares IAC911099, IACSP 933046 e IACSP 955000 e o regime sequeiro para as cultivares CTC4 e RB867515 (Tabela 31).

Tabela 31. Eficiências do uso da água em função das cultivares e dos regimes hídricos.

Cultivares	EUA* (t ha ⁻¹ mm ⁻¹)			
	Sequeiro	Deficitária	Suplementar	Média
CTC4	0,075	0,071	0,057	0,067
IAC911099	0,081	0,081	0,073	0,078
IACSP 933046	0,064	0,070	0,068	0,067
IACSP 955000	0,070	0,073	0,061	0,068
RB867515	0,074	0,072	0,062	0,069
Média	0,073	0,073	0,064	
Água total (mm)	1497,9	1832,4	2166,9	

* EUA - eficiência de uso da água (chuva ou chuva mais irrigação).

Observa-se que a maior aplicação de água não necessariamente apontou para maior produtividade (Figura 19). De acordo com Tolk e Howell (2003), a EUA pode reduzir com o aumento da aplicação de irrigação e Azevedo et al. (2006) apontaram que a aplicação de um grande volume de água de irrigação não resulta em aumento de produtividade. Tal situação pode ocorrer, pois, a EUA é influenciada por diferentes aspectos, tais como o manejo da irrigação, a morfologia da cultura, as práticas agrícolas e as variáveis atmosféricas (Hatfield et al., 2001).

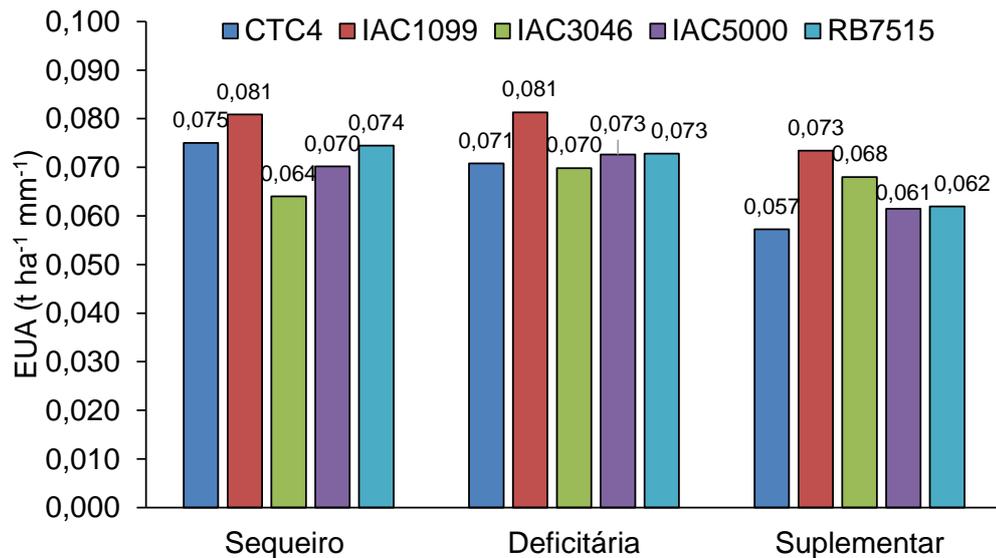


Figura 19. Eficiências do uso da água em função das cultivares e dos regimes hídricos.

Resultados semelhantes foram identificados por Alamilla-Maganã et al. (2016) que observaram maiores valores de EUA quando aplicadas menores lâminas de irrigação, porém a produtividade da cultura foi geralmente superior para maiores lâminas de irrigação.

Silva et al. (2013) encontraram valores de EUA iguais a 0,083 e 0,073 t ha⁻¹ mm⁻¹ respectivamente, para irrigações com 100 e 50% da evapotranspiração da cultura. Por fim, Basnayake et al. (2012) relatam que, em vários experimentos em campo, as interações entre cultivares de cana-de-açúcar e ambientes (água) são surpreendentemente pequenas, apesar dos grandes impactos que o estresse hídrico proporciona sobre as produtividades médias da cultura.

A cultivar IAC911099 destacou-se perante as demais em todos os regimes hídricos e apresentou 0,012 t ha⁻¹ mm⁻¹ a mais no regime deficitário em comparação ao suplementar. Portanto, para proporcionar aumento da eficiência da água na cana-de-açúcar, é fundamental identificar a quantidade de água ideal responsável pelas máximas produções (Wiedenfeld e Enciso, 2008).

Portanto, avaliando os valores de EUA é possível destacar que a irrigação deficitária proporciona maiores eficiências com a mesma quantidade de água para todas as cultivares estudadas. Dessa forma, constata-se que a aplicação de 50% da ETc é suficiente para que as cultivares de cana-de-açúcar expressem melhor o seu potencial produtivo.

5. CONCLUSÃO

1. O uso da irrigação proporciona condições para as plantas se estabelecerem e expressarem melhor suas características biométricas, principalmente no início do desenvolvimento vegetativo.

2. A cultivar RB86-7515 destacou-se, em média, com maiores alturas (2,70 m), diâmetros de plantas (27,2 mm) e área foliar (674,5 cm²). A cultivar CTC4 apresentou maior capacidade de perfilhamento (17,8 perfilhos m⁻¹) e a cultivar IAC91-1099 maiores números de folhas verdes (5,7 folhas) e índices de área foliar (4,6 cm² cm⁻²), concluindo que estes fatores são explicados em grande parte pelas características genéticas de cada cultivar.

3. A produtividade e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar são afetadas pelo manejo de irrigação bem como pela cultivar. A irrigação suplementar proporcionou ganho percentual de produtividade de colmos e de açúcar, em média e em relação ao sequeiro, de 26,1% e 31,0%, respectivamente.

4. A irrigação sob déficit é uma alternativa de manejo de irrigação em cana-de-açúcar, por propiciar incremento de 22,3% na produtividade de colmos e 23,0% na produtividade de açúcar em relação ao cultivo sequeiro e apresentar ganhos semelhantes a irrigação suplementar, conseqüentemente, apresenta maior eficiência de uso da água.

5. A cultivar IAC91-1099 destacou-se quanto à produtividade de colmos e de açúcar e à eficiência de uso da água média, respectivamente, 142 t ha⁻¹, 22,7 t ha⁻¹ e 0,078 t ha⁻¹ mm⁻¹, podendo ser recomendada para plantio em áreas de sequeiro e irrigadas por gotejamento subsuperficial.

6. REFERÊNCIAS

Airoidi RPS (2007) **Análise do desempenho de gotejadores e da prevenção do entupimento em irrigação com água residuária**. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – USP, Piracicaba.

Alamilla-Magaña JC, Carrillo-Ávila E, Obrador-Olán JJ, Landeros-Sánchez C, Vera-Lopez J, Juárez-López JF (2016) Soil moisture tension effect on sugar cane growth and yield. **Agricultural Water Management** 177:264-273. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.004>.

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. In: FAO Irrigation Drainage Paper No. 56. FAO, Rome.

Almeida ACS, Souza JL, Teodoro I, Barbosa GVS, Moura Filho G, Júnior RAF (2008) Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, 32:1441-1448, <http://doi.org/10.1590/S1413-70542008000500013>.

Andrade, LAB (2006) Cultura da cana-de-açúcar. In.: Cardoso, MG (Ed.) **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA, p. 25-67.

ASAE (1997) **Soil and Water Terminology**: S526.1. In.: ASAE Standards St Joseph, 1997, p. 936-952.

Azevedo PV, Sousa IF, Silva BB, Silva VPR (2006) Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in northeast Brazil. **Agricultural Water Management** 84:259–264, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.03.001>.

Barros AC, Folegatti MV, Souza CF, Santoro BL (2009) Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 13:700-707.

Basnayake J, Jackson PA, Inman-Bamber NG, Lakshmanan P (2012) Sugarcane for water-limited environments: genetic variation in cane yield and sugar content in response to water stress. **Journal of Experimental Botany** 63:6023-6033, <https://doi.org/10.1093/jxb/ers251>.

Bastos AVS, Oliveira RC, Silva NF, Teixeira MB, Soares FAL, Silva EC (2015) Productivity and dry matter accumulation of sugarcane crop under irrigation and nitrogen application at Rio Verde GO, Brazil. **American Journal of Plant Sciences** 6:2374-2384, <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.614240>.

Batalha BR (2011) **Temperatura do dossel vegetativo da cana-de-açúcar sob diferentes condições meteorológicas e potenciais de água no solo**. 142 f. Dissertação (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – UFV, Viçosa.

Bernardo S, Soares A, Mantovani E (Eds) (2006) Manual de irrigação. Viçosa: Editora UFV, 625p.

Bezuidenhout CN, O'Leary GJ, Singels A, Bajic VB (2003) A process-based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. **Agricultural Systems** 76:589-599, [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00076-8](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00076-8).

Blackburn F (Ed.) (1984) Sugar cane. New York: Longman, 414p.

Bueno OMC, Daros E, Oliveira RA, Zambon JLC, Bespalhok Filho JC, Weber H (2012) Épocas de corte e a produtividade em genótipos de cana-de-açúcar, em cana-soca. **Semina: Ciências Agrárias** 33:2715-2726.

Campos PF, Alves Júnior J, Casaroli D, Fontoura PR, Evangelista AWP (2014) Cultivares de cana-de-açúcar submetidas à irrigação suplementar no cerrado goiano. **Engenharia Agrícola** 34:1139-1149.

Cardozo AA (2005) Manejo de cana-de-açúcar em áreas com irrigação complementar. In: XXII Simpósio de Agroindústria da Cana-de-Açúcar no Estado de Alagoas, **Anais...** Maceió: STAB.

Carvalho CMD, Azevedo HMD, Dantas Neto J, Farias CHDA, Silva CT, Gomes Filho RR (2009) Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 4:72-77.

Casagrande AA (1996) Crescimento da cana-de-açúcar. **STAB** 14:7-8.

Casagrande AA (Ed.) (1991) Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 157p.

Casagrande, A. A.; Vasconcelos, A. C. M (2008) Fisiologia da parte aérea. In: Dinardo Miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA (Eds.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, p.57-78.

Castro HS (2008) **Rendimento Agrícola e Forrageiro de três cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em diferentes épocas de corte**. 48 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – UFLA, Lavras.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (2017) **Séries históricas: cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

Consecana, 2006. Manual de instruções, CONSECAN, Piracicaba: Concecana.

Costa CTS, Saad JCC, Silva Júnior HM (2016) Growth and productivity of sugarcane varieties under various irrigation levels. **Revista Caatinga** 29:945-955, <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n420rc>.

Costa CTS, Ferreira VM, Endres L, Ferreira DTDRG, Gonçalves ER (2011) Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. **Revista Caatinga** 24:56-63.

Cronquist A (Ed.) (1981) An integrated system of classification of flowering plants. New York: Columbia University Press, 519 p.

Crusciol CAC, Silva MA, Rossetto R, Soratto RP (Eds.) (2010) Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu: FEPAF, 111 p.

Cuenca MAG, NAZARIO CC (Eds.) (2005) Caracterização agrossocioeconômica da atividade canavieira no Brasil e distribuição espacial da produção mundial entre 1961 e 2003. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros.

Dalri AB (2004) **Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos**. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Unesp, Botucatu.

Dalri AB, Cruz RL, Garcia CJB, Duenhas LH (2008) Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga** 13:1-11.

Dantas Neto J, Figueirêdo JLC, Farias CHA, Azevedo HM, Azevedo CAV (2006) Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 10:283-288.

Deng G, Wang L, Song Y (2015). Effect of variation of water – Use efficiency on structure of virtual water trade - analysis based on input-Output model. **Water Resources Management** 29:2947-2965, <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-015-0980-4>.

Dias CMO, Corsato CE, Santos VM, Santos AFS (2012) Indicadores fitotécnicos, de produção e agroindustriais em cana de açúcar cultivada sob dois regimes hídricos. **Revista Caatinga** 25:58-65.

Dias HB, Sentelhas PC (2017) Evaluation of three sugarcane simulation models and their ensemble for yield estimation in commercially managed fields. **Field Crops Research**, 213:174-185, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.022>.

Dinka MO (2016) Evaluating the adequacy performance of sprinkler irrigation systems at Finchaa sugar cane plantation, Eastern Wollega zone (Ethiopia). **Irrigation and Drainage** 65:537-548.

Doorenbos J, Kassam AH (Eds.) (2000) Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: FAO, 306p.

Ecco M, Santiago EF, Lima PR (2014) Respostas biométricas em plantas jovens de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico e ao alumínio. **Comunicata Scientiae** 5:59-67.

Elaiuy MLC (2012) **Bulbos úmidos a partir da irrigação por gotejamento subsuperficial com água de abastecimento e efluente de esgoto tratado**. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UNICAMP, Campinas.

Fader M, Rost S, Müller C, Bondeau A, Gerten D (2010) Virtual water content of temperate cereals and maize: present and potential future patterns. **Journal Hydrology** 384:218-231, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.12.011>.

Farias CHA, Dantas Neto J, Fernandes PD, Gheiy HR (2007) Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na paraíba. **Revista Caatinga** 20:45-55.

Fernandes AC (Ed.) (2000) Cálculos na agroindústria canavieira. Piracicaba: STAB, 193p.

Ferreira Junior RA, Souza JLD, Escobedo JF, Teodoro I, Lyra GB, Araújo Neto RAD (2014) Cana-de-açúcar com irrigação por gotejamento em dois espaçamentos entrelinhas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 18:798-804.

Fischer Filho JA, Silva YF, Dalri AB, Palaretti LF, Zanini JR, Coelho AP (2018) Caracterização hidráulica de gotejadores de fluxo turbulento. **Irriga** 23:380-38, <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2018v23n2p380-389>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Faostat**. Disponível em: <<http://fao.org/faostat>>. Acesso em 16 ago. 2017.

Frizzone JA, Matioli CS, Rezende R, Gonçalves ACA (2001) Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum* spp., para a região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum** 23:1131-1137.

Gava GJDC, Silva MDA, Silva RC, Jeronimo EM, Cruz JCS, Kölln OT (2011) Produtividade de três cultivares de cana de açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 15:250-255, <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000300005>.

Gascho GJ, Shih SF (1983) Sugarcane. In.: TEARE ID, PEET MM (Eds.) **Crop-water relations**. New York: John Wiley, p. 445-479.

Geerts S, Raes D (2009) Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management** 96:1275-1284, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>.

Goldemberg J (2007) Ethanol for a Sustainable Energy Future. **Science** 315:808-810.

Gonçalves IZ, Barbosa EAA, Santos LNS, Nazário AA, Feitosa DRC, Tuta NF, Matsura EE (2017) Water relations and productivity of sugarcane irrigated with domestic wastewater by subsurface drip. **Agricultural Water Management** 185:105-115, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.01.014>.

Gunarathna MHJP, Sakai K, Nakandakari T, Momii K, Onodera T, Kaneshiro H, Uehara H, Wakasugi K (2018) Optimized Subsurface Irrigation System: The Future of Sugarcane Irrigation. **Water** 10:314-328, <http://doi.org/10.3390/w10030314>.

Gupta V, et al. (2010) The water-deficit stress and red-rot-related genes in sugarcane. **Functional Integrative Genomics** 10:207-214.

Hatfield JL, Sauer TJ, Prueger JH (2001) Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. **Agronomy Journal** 93:271-280, <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2001.932271x>.

Hermann ER, Câmara GMS (1999) Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **STAB** 17:32-34.

Holanda LA, Santos CM, Neto GDS, Pádua Sousa A, Almeida Silva M (2014) Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga** 19:573-584, [10.15809/irriga.2014v19n4p573](http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2014v19n4p573).

Howell TA, Stevenson DS, Aljibury FK, Gitlin HM, Wu IP, Warrick AW, Raats PAC (1980) Design and operation of trickle (drip) systems. In.: Jensen ME (Ed.) **Design and operation of trickle (drip) systems**. Michigan: American Society of Agricultural Engineers, p. 663-717.

Humbert RP (Ed.) (2013) *The Growing of Sugar Cane*. Elsevier: Amsterdam, 722p.

Inman-Bamber NG (2004) Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Res.** 89:107-122, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.018>.

Inman-Bamber NG, Smith DM (2005) Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research** 92:185–202, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.023>.

Irvine JE (1975) Relations of photosynthetic rates and leaf and canopy characters to sugarcane yield. **Crop Science** 15:671-676.

Keating BA, Robertson MJ, Muchow RC, Huth NI (1999) Modeling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research** 61:253-271, [http://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00167-1](http://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00167-1).

Ko J, Piccini G (2009) Corn yield responses under crop evapotranspiration-based irrigation management. **Agricultural Water Management** 96:799-808, <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.10.010>.

Landell MGA, et al. (2014) Cana-de-açúcar. In.: Aguiar ATE, Gonçalves C, Paterniani MEAGZ, Tucci MLS, Castro CEF (Eds.) **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 106-113.

Landell MGA, Bressiani JA (2008) Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In.: Dinardo-Miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA (Eds.) **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, p. 101-155.

Lavanholi MGA (2008) Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool. In: Dinardo-Miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA (Eds.) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 697-722.

Liu DL, Kingston G, Bull TA (1998) A new technique for determining the thermal parameters of phenological development in sugarcane, including suboptimum and supra-optimum temperature regimes. **Agricultural and Forest Meteorology** 90:119-139.

Liu JG, Williams JR, Zehnder AJB, Yang H (2007) GEPIC-modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on global scale. **Agricultural Systems** 94:478-493, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2006.11.019>.

Lu J, Ookawa T, Hirasawa T (2000) The effects of irrigation regimes on the water use, dry matter production and physiological responses of paddy rice. **Plant and Soil** 223:207-216.

Machado EC, Pereira AR, Fahl JI, Arruda HV, Cione J (1982) Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 17:1323-1329.

Machado RS, Ribeiro RV, Marchiori PER, Machado DFSP, Machado EC, Landell MGA (2009) Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 44:1575-1582.

Magalhães ACN (1987) Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In.: Castro PRC, Ferreira SO, Yamada T (Eds.) **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 113-118.

Mahesh, R.; Asoka, R.N.; Archana, H.A. Performance of surface and subsurface drip fertigation on yield and water use efficiency of sugarcane. In Proceedings of the 2nd World Irrigation Forum, Chiang Mai, Thailand, 6–8 November 2016

Marafon AC (Ed.) (2012) Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 29p.

Martins NGS (2004) **Os fosfatos na cana-de-açúcar**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – USP, Piracicaba.

Martins LM, Landell MGA (Eds.) (1995) Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizando no Programa Cana IAC. Pindorama: IAC, 45p.

Matioli CS, Peres FC, Frizzone JA (1996) Análise de decisão sobre a viabilidade da irrigação suplementar de cana-de-açúcar colhida no mês de julho na região de Ribeirão Preto - SP. In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA e II CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, **Resumos...** Bauru: SBEA.

Matthias AD, Salehi R, Warrick W (1986) Bare soil evaporation near a surface pointsource emitter. **Agricultural Water Management** 11:257-277.

Mazzucchelli DK, Spillman MF, Muchow RC (Eds.) (1997) **Minimum dataset manual for the collection of crop, soil and climate data in sugar-cane field experimentation**. CSRIO Tropical Agriculture, 65 p.

Mozambani AE, Pinto AS, Segato SV, Mattiuz CFM (2006) História e morfologia da cana-de-açúcar. In.: Segato SV, Pinto AS, Jendiroba E, Nóbrega JCM (Eds.) **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Prol Editora Gráfica, p. 11-18.

Nassif DSP, Marin FR, Costa LG (Eds.) (2013) Padrões mínimos para coleta de dados experimentais para estudos sobre crescimento e desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 28 p. (Documentos, 127).

Oliveira AR, Braga MB, Santos BLS, Walker AM (2016). Biometria de cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes reposições hídricas no vale do Submédio São Francisco. **Energia na Agricultura**, 31:48-58, <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2016v31n1p48-58>

Oliveira ECA, Freire FJ, Oliveira AC, Neto DES, Rocha AT, Carvalho LA (2011) Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 46:617-625.

Oliveira MW, Silva VSG, Reis LS, Oliveira DC, Silva JCT (2014) Produção e qualidade de três cultivares de cana-de-açúcar cultivadas no nordeste de Minas Gerais. **Revista Ciência Agrícola** 12:17-20.

Oliveira RA, Daros E, Zambon JLC, Weber H, Ido OT, Bepalhok Filho JC, Zuffellato-Ribas KC, Silva DKT (2007) Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 37:71-76.

Olivier FC, Singels A (2015) Increasing water use efficiency of irrigated sugarcane production in South Africa through better agronomic practices. **Field Crops Res.** 176:87-98, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.02.010>.

Parkes M, Yao WW, Ma XY, Li J (2010) Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. **Irrigation Science** 29:331-339.

Pereira LS, Cordery I, Iacovides I (2012) Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management** 108:39-51, 2012, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.022>.

Ramesh P (2000) Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science** 185:83-89.

Resende R, Amorim JRA, Pacheco E, Meneses T, Carvalho TB (Eds.) (2016). Épocas de plantio e demanda de irrigação da cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 26p.

Resende Sobrinho EA (2000) **Comportamento de cultivares de cana-de-açúcar em Latossolo Roxo, na região de Ribeirão Preto – SP**. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Unesp, Jaboticabal.

Ribeiro MR, Halstead EH, Jong E (1984) Rendimento da cana-de-açúcar e características das terras da microrregião da Mata Norte de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 8:209-213.

Ripoli TCC, Ripoli MLC (2004) Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 302 p.

Robertson MJ, Wood AW, Muchow RC (1996) Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. I. Radiation use, biomass accumulation and partitioning. **Field Crops Reserach** 48:11-25.

Rosenfeld UE, Leme EJA (1984) Produtividade da cana-de-açúcar irrigada por aspersão - estudo de épocas de irrigação. In: III CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL. **Anais...** São Paulo: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, p.77 - 84.

Rodolfo Júnior F (2015) **Caracterização de cultivares de cana-soca sob diferentes regimes hídricos no cerrado**. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNB, 2015.

Salassier B (2006) Manejo da Irrigação na Cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, **Anais....** Brasília: ABID.

Scardua R, Rosenfeld U (1987) Irrigação da cana-de-açúcar. In.: Paranhos SB (Ed.) **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, p.373-431.

Sanchez-Román RM, Silva NF, Cunha FN, Teixeira MB, Soares FAL, Ribeiro PHP (2015) Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes reposições hídricas e nitrogênio em dois ciclos. **Irriga** 1:198-210.

Santos RF, Carlesso R (1998) Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 2:287-294, <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v2n3p287-294>.

Segato SV, Mattiuz CFM, Mozambani AE (2006) Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In.: Segato SV, Pinto AS, Jendiroba E, Nóbrega JCM (Eds.) **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Prol Editora Gráfica, p. 19-36.

Silva MDA, Arantes MT, Rhein AFDL, Gava GJ, Kolln OT (2014) Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de cultivares e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 18:241-249.

Silva MDA, Soares RAB, Landell MGD, Campana MP (2008) Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia** 67:655-661.

Silva TGF, Moura MSB, Zolnier S, Carmo JFA, Souza LSB (2012). Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. **Revista Ciência Agronômica** 43:500-509.

Silva VDP, Silva BB, Albuquerque WG, Borges CJ, Sousa IF, Neto JD (2013) Crop coefficient, water requirements, yield and water use efficiency of sugarcane growth in Brazil. **Agricultural Water Management** 128:102-109, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2013.06.007>.

Silva MA, Santos CM, Arantes MT, Brunelli MC, Holanda LA (2013b) Respostas fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. **Revista Caatinga** 26:28-35.

Silva Júnior HM (2015) **Avaliação de duas cultivares de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação por gotejamento subsuperficial, no noroeste paulista**. 100 f. Tese (Doutorando em Agronomia – Irrigação e Drenagem) – Unesp, Botucatu.

Silveira JAG (1985) **Interação entre assimilados de nitrogênio e o crescimento da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) cultivada em condições de campo**. 152 f. Tese (Doutorado em Ciências) – USP, Piracicaba.

Silveira LCI, Barbosa MHP, Oliveira MW (2002) Manejo de cultivares de cana-de-açúcar predominantes nas principais regiões produtoras de cachaça de Minas Gerais. **Informe Agropecuário** 23:25-32.

Singh PN, Shukla SK, Bhatnagar VK (2007) Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum* spp. Hybrid complex) in subtropical India. **Agricultural Water Management** 90:95-100.

Smit MA, Singels A (2006) The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research** 98:91-97.

Souza EA, Coelho EF, Paz VPS (2007) Distribuição da umidade num perfil de solo irrigado por gotejamento superficial e subsuperficial. **Ciência e Agrotecnologia** 31:1161-1166.

Spironello A, Raij B, Penatti CP, Cantarella H, Morelli JL, Orlando Filho J, Landell MGA, Rossetto R (1997). Cana-de-açúcar. In.: Boletim Técnico 100. IAC, Campinas, Brasil.

Stone PJ, Sorensen IB, Jamieson PD (1999) Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperature climate. **Field Crops Research** 48:169-178.

Sun SK, Wu PT, Wang YB, Zhao XN (2013) The virtual water content of major grain crops and virtual water flows between regions in China. **Journal of the Science Food and Agriculture**. 93:1427-1437, <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.5911>.

Surendran U, Jayakumar M, Marimuthu S (2016) Low cost drip irrigation: Impact on sugarcane yield, water and energy saving in semiarid tropical agro ecosystem in India. **Science of the Total Environment** 573:1430-1440.

Taiz L, Zeiger E (Eds.) (2013) Plant Physiology. Massachusetts: Sinauer Associates, 782p.

Tasso Júnior LC, Rosa DAS, Nogueira GA, Silva Neto HF, Marques MO (2012) Avaliação tecnológica em caldo de seis cultivares de cana-de-açúcar com ciclo de maturação no meio de safra, ano agrícola 2009/2010. In: WORKSHOP AGROENERGIA. **Resumos...** Ribeirão Preto: Agroenergia, p. 1-4.

Teodoro I (2011) **Respostas Técnico-econômicas da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada**. 81 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UFCG, Campina Grande.

Tolk JA, Howell TA (2003) Water use efficiencies of grain sorghum grown in three USA southern Great Plains soils. **Agricultural Water Management** 59:97-111, [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00157-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00157-9).

Tokeshi H (1986) Perfilhamento e perdas pelo carvão da cana-de-açúcar. **STAB** 4:34-44.

Vian CEF (2017) **Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar. Qualidade de matéria prima**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília: Embrapa. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_138_22122006154842.html. Acesso em: 12 dez. 2017.

Wiedenfeld B, Enciso J (2008) Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**. 100:665-671, <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2007.0286>.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do gotejamento subsuperficial mostrou-se uma alternativa praticável para o cultivo da cana-de-açúcar, por proporcionar melhores condições para o desenvolvimento das plantas, além de proporcionar ganhos de produtividade, superiores a 130 t ha^{-1} , os quais são superiores à média nacional, que não ultrapassa os 80 t ha^{-1} , e ganhos tecnológicos na melhoria do caldo da cana-de-açúcar.

A utilização do manejo da irrigação deficitária demonstrou ser viável na utilização da irrigação por gotejamento subsuperficial, por permitir as plantas terem alcançado valores biométricos, produtivos e tecnológicos semelhantes a irrigação suplementar.

São necessários maiores estudos quanto ao uso da irrigação deficitária e suplementar através do gotejamento subsuperficial em outras regiões e com cultivares de cana-de-açúcar, que possam responder a aplicação de água de maneiras diferentes. E ainda, trabalhos que relacionem o efeito na longevidade do canavial quando irrigado em comparação ao sequeiro.