



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA  
FILHO FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL**



**FERTIRRIGAÇÃO COM SILÍCIO NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO  
OCASIONADOS EM CANA-DE-AÇÚCAR**

**HEITOR MASCHIETTO ROSSETTI**

**Orientador: Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti**

**Coorientadora: MSc. Marcilene Machado dos Santos Sarah**

**JABOTICABAL - SP**

**1º Semestre de 2022**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**HEITOR MASCHIETTO ROSSETTI**

**Orientador: Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti**

**Coorientadora: MSc. Marcilene Machado dos Santos Sarah**

**FERTIRRIGAÇÃO COM SILÍCIO NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO  
OCASIONADOS EM CANA-DE-AÇÚCAR**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de  
Jaboticabal, para graduação em ENGENHARIA  
AGRONÔMICA.**

**JABOTICABAL - SP**

**1º Semestre de 2022**

R829f

Rossetti, Heitor Maschietto

FERTIRRIGAÇÃO COM SILÍCIO NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO  
OCASIONADOS EM CANA-DE-AÇÚCAR / Heitor Maschietto Rossetti. --

Jaboticabal, 2022

39 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) -  
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,  
Jaboticabal

Orientador: Luiz Fabiano Pararetti

Coorientador: Marcilene Machado dos Santos Sarah

1. Produtividade. 2. Gotejamento subsuperficial. 3. Fertirrigação silicatada. 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.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir o dom da vida, proteção, fé e guarda.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP, ao Departamento de Engenharia e Ciências Exatas e ao Grupo de Pesquisa em Irrigação e Meio Ambiente – GPIMA – pelas oportunidades geradas e portas abertas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti, pelo incentivo à pesquisa, tutoria, inspiração, ensinamentos técnicos e pela confiança, e à minha coorientadora, MSc. Marcilene Machado dos Santos Sarah, por me orientar e capacitar durante todo o período do experimento e a escrita deste.

À Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão – FEPE, em especial ao Marcelo Scatolin – *in memoriam* – por proporcionar a área para realização do experimento e todas as ajudas necessárias.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ – pelo financiamento da pesquisa.

Ao meu pai, Donato José Garcia Rossetti – *in memoriam* – meu eterno espelho, homem íntegro, responsável, trabalhador e meu eterno professor da vida. Que possa sempre estar me iluminando, guiando e ser sempre meu eterno exemplo.

À minha mãe, Regina Waldemarin Maschietto Rossetti, ao meu irmão, Rodolfo Maschietto Rossetti, aos meus avós, Jose Paschoal Rossetti e Therezinha Garcia Soares Rossetti e demais familiares, que sempre me apoiaram em todas decisões, me acompanharam nas conquistas até o momento e sempre estarem presentes.

À Usina Santa Adélia, pelas oportunidades de estágio, no qual pude aprender sobre inovação, produtividade, vivência em campo e trabalho em equipe do setor sucroenergético.

À Republica Agrotóxico, pelo convívio, ensinamentos e ajudas de todos os moradores que pude dividir esse lar, tornando-se a minha segunda família em Jaboticabal. E aos demais amigos sempre presentes.

**SUMÁRIO**

RESUMO .....	V
ABSTRACT .....	VI
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. MATERIAL E METODOS .....	4
2.1. Área e classificação climática.....	4
2.2. Preparo de solo.....	4
2.3. Esquema experimental.....	4
2.4. Análise do solo e adubação .....	5
2.5. Sistema de irrigação .....	6
2.6. Manejo de plantas daninhas.....	6
2.7. Manejo do Silício .....	6
2.8. Clima e manejo da irrigação .....	7
2.9. Avaliação biometrica .....	9
2.10. Análises tecnológicas .....	8
2.11. Análise de silício .....	9
2.12. Análises estatísticas .....	10
3. RESULTADOS .....	11
3.1. Análises tecnológicas.....	12
3.2. Avaliação de crescimento.....	17
4. DISCUSSÃO .....	23
5. CONCLUSÃO .....	25
REFERÊNCIAS .....	27

## RESUMO

### FERTIRRIGAÇÃO COM SILÍCIO NA MITIGAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO OCASIONADOS EM CANA-DE-AÇÚCAR

O estresse hídrico afeta significativamente o desenvolvimento e estabelecimento de plantas em estágio de desenvolvimento inicial. Dessa forma, o fornecimento de silício (Si), via fertirrigação, pode aliviar esse estresse, estimulando o crescimento de plantas. O objetivo nesse trabalho foi avaliar os efeitos do Si aplicado via fertirrigação em plantas de cana-de-açúcar cultivadas em campo. A partir disto, o experimento foi realizado em faixas (Slip-block), com os seguintes tratamentos: duas condições de Si: ausência ( $0 \text{ mm L}^{-1}$ ) e presença ( $1,8 \text{ mmol L}^{-1}$ ) de Si; e três capacidade de retenção de água no solo (CRA): 70% (controle sem restrição hídrica), e 35% (restrição hídrica) e 10% (semi-sequeiro). Foram realizadas análises tecnológicas como ATR, POL, PC, fibra, pureza e °Brix e biométricas. O efeito do silício mostrou-se positivo para a cultura da cana-de-açúcar resultando incremento de 4mm no diâmetro de colmos, 4 perfilhos por metro, e 0,6 metros de altura e conseqüentemente um aumento de  $71,2 \text{ t.ha}^{-1}$  de produtividade, sendo uma estratégia na redução do estresse ocasionado pelo déficit hídrico na cultura.

**Palavras chave:** produtividade, gotejamento subsuperficial, fertirrigação silicatada.

## ABSTRACT

### FERTIRRIGATION WITH SILICON IN THE MITIGATION OF WATER STRESS IN SUGARCANE

Water stress significantly affects the development and establishment of plants at early developmental stages. Thus, the supply of silicon (Si), via fertigation, can alleviate this stress, stimulating plant growth. The objective of this work was to evaluate the effects of Si applied via fertigation on sugarcane plants grown in the field. The experiment was conducted in strips (Strip-block), with the following treatments: two conditions of Si: absence ( $0 \text{ mm L}^{-1}$ ) and presence ( $1.8 \text{ mmol L}^{-1}$ ) of Si; and three water retention capacities (WCR): 70% (control without water restriction), and 35% (water restriction) and 10% (semi-seasonal). Technological analyses such as ATR, POL, PC, fiber, purity and °Brix and biometric analyses were performed. The effect of silicon was positive for the sugarcane crop resulting in an increase of 4 mm in cane diameter, 4 tillers per meter, and 0.6 meters in height and consequently an increase of  $71.2 \text{ t.ha}^{-1}$  in yield, as a strategy to reduce stress caused by water deficit in the crop.

**Keywords:** yield, subsurface drip irrigation, silicate fertigation.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), liderando o mercado de bioenergia, açúcar e derivados (CONAB, 2021). Em 2016 o Brasil representou 27% da produção e etanol no mundo, ficando atrás apenas do Estados Unidos da América (RFA, 2017). Essa cultura é de grande importância econômica, social e ambiental, gerando matéria-prima para a agroindústria do açúcar, do etanol e da aguardente, além de representar para o nosso país uma fonte de geração de empregos e renda no meio rural (SILVA et al., 2010). Segundo MAPA, em 2021, o complexo sucroalcooleiro gerou para o Brasil uma renda de exportações na casa de R\$ 10,2 Bilhões, destacando sua grandeza. Em 2021, a área colhida foi de 8,05 milhões de hectares, sendo 1,15 milhões de hectares plantados, somando um total de área cultivada de 9,75 milhões de hectares (CONAB, 2020).

Uma elevada produtividade da cana-de-açúcar está diretamente ligada a disponibilidade hídrica na área de cultivo, e apesar de ser adaptada ao clima tropical, demanda grande volume de água no seu sistema de produção (WIENDENFELD, 2004), ocupando cerca de 71% de sua massa fresca (DALRI E CRUZ, 2008). O consumo anual de água pela cultura varia de 1500 a 2500 mm, dependendo da região, do clima, das variedades e da classe de solo (DOORENBOS E KASSAM, 1994).

O estresse ocasionado pela deficiência hídrica limita a produtividade vegetal, além de restringir regionalmente o cultivo (MITTLER, 2006). O déficit hídrico leva a redução de área foliar, que resulta em menor captação da luz solar, e menor número de folhas emergentes, que podem variar com o potencial genético de cada cultivar (RODOLFO JÚNIOR et al., 2016). Dessa forma, interferindo negativamente no crescimento vegetativo.

Neste contexto, torna-se importante a implantação de um sistema de irrigação adequado para suprir as necessidades hídricas da cultura, principalmente quando se pretende incrementar os índices de produtividade e melhorar a qualidade do produto sem depender

exclusivamente da precipitação (DALRI E CRUZ, 2002). Devido aos intempéries climáticos e diferenças de disponibilidade de água nos solos, a irrigações de salvamento e fertirrigações são recursos que vêm sendo adotados para reduzir o impacto do déficit hídrico na produção (ANA, 2019).

Somado a isso, alternativas como uso de Si podem ser aliadas na redução dos efeitos deletérios ocasionados pela restrição hídrica em plantas (CHEN et al., 2018). O Si é considerado elemento benéfico, sendo absorvido na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) pelas raízes (EPSTEIN, 1999). O efeito mitigador do Si no aumento do conteúdo de água nas folhas sob déficit hídrico pode ser atribuído a manutenção do volume de água no tecido foliar devido o elemento formar uma barreira física à perda de água, ocasionada pela deposição de sílica amorfa no tecido epidérmico, na parede celular e nos espaços intercelulares (MA, 2004; MA E YAMAJI, 2006; PEI et al., 2010).

Na cana-de-açúcar, os efeitos deletérios resultantes do déficit hídrico podem ser amenizados com a aplicação de Si (TEIXEIRA et al., 2020). Segundo Camargo et al. (2017), a absorção de Si aumenta a capacidade fotossintética, a produção de colmos e açúcar, e reduz os danos causados por doenças e insetos.

Acredita-se que o Si também pode ser inserido nos sistemas de fertilização, para que as mudas recebam uma quantidade do elemento suficiente para induzir efeito benéfico após o transplântio (TEIXEIRA et al., 2020). Logo, alternativas como o fornecimento do Si via fertirrigação, injetado em sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial podem ser adotadas. Esse modelo de irrigação é definido pela ASAE S526.1 (1997) como “aplicação de água abaixo da superfície do solo através de emissores com taxa de descarga semelhante à irrigação por gotejamento superficial.

A partir disso, a hipótese desse trabalho é que o Si pode melhorar o desempenho de plantas de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes níveis de água no solo, mitigando os

estresses por déficit hídrico. Para isso, objetivou-se avaliar se o fornecimento de Si via fertirrigação em sistema de gotejamento subsuperficial ao longo do cultivo da cultura pode ser usado como estratégia a redução do déficit hídrico em cana-de-açúcar.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área e classificação climática**

O experimento foi realizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Universidade Estadual Paulista, Unesp – FCAV, no Campus de Jaboticabal – SP, no setor de irrigação, localizado nas coordenadas geográficas 21°14'50.4"S 48°17'00.4"O. Sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho eutrófico de textura argilosa (SANTOS et al., 2018).

Segundo Köppen (1948), a classificação climática é do tipo Aw tropical, com temperatura média anual de 21,7 °C, com precipitação média anual de 1.425 mm.

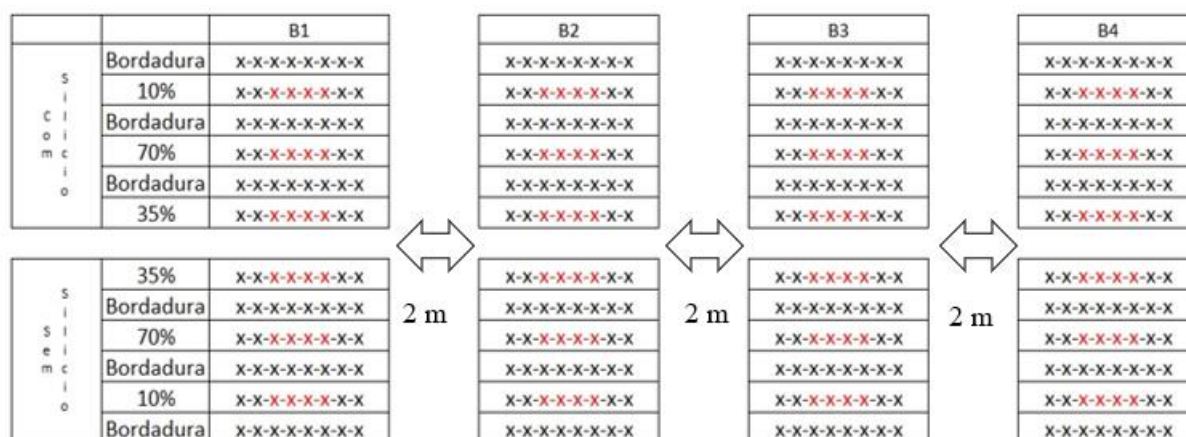
### **2.2. Preparo de solo**

O preparo do solo da área foi realizado por gradagem, para incorporação dos restos culturais de soja, cultura anterior, seguida por abertura de sulcos, com aproximadamente 40 cm de profundidade; em seguida, foi feita a instalação do sistema de irrigação subsuperficial e sua cobertura com solo a 30 cm da superfície, para que assim pudesse ser efetuado o transplântio das MPB.

### **2.3. Esquema experimental**

O transplântio das mudas pré-brotadas (MPB) de cana-de-açúcar comum (*Saccharum officinarum* spp.) da variedade RB 96-6928 ocorreu no mês de junho do ano de 2020. Sendo realizado em faixas (Slip-block) com os seguintes tratamentos: duas condições de Si: ausência (0 mm L<sup>-1</sup>) e presença (1,8 mmol L<sup>-1</sup>) de Si; e três capacidade de retenção de água no solo (CRA): 70% (controle sem restrição hídrica), e 35% (restrição hídrica) e 10% (semi-sequeiro).

O plantio das MPB obedeceu aos espaçamentos de 1,5 m na entrelinha, 0,65 m entre plantas, sendo deixada uma faixa de 2 m entre os blocos. Dessa forma, a área do experimento foi composta por 25 m de comprimento por 21 m de largura. Cada bloco foi composto por 8 plantas, tendo as 2 plantas da extremidade sendo bordaduras e as 4 centrais como parcela útil.



**Figura 1:** Croqui do esquema experimental em faixas (Slip-block).

#### 2.4. Análise do solo e adubação

Anteriormente ao plantio, foram realizadas análises químicas e físicas do solo nas profundidades de 0 - 20 e 20 - 40 cm. Essas análises foram realizadas seguindo os métodos descritos por Raij et al. (2001) e (DONAGEMA et al., 2011) respectivamente, cujos dados são apresentados na Tabela 1.

Solo	pH	M.O.	P	S	Ca	Mg	K	Al	H+Al	CTC	V%	m%	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl <sub>2</sub>	g.dm <sup>-3</sup>	ng.dm <sup>-3</sup>				mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>						mg.kg <sup>-1</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>				
0-20	6,1	22	87	6,0	39	16	3,7	0	21	800	73	0	11	0,45	5,0	9,0	37	2,1
20-40	6,4	17	31	7,0	36	15	3,6	0	18	73	75	0	9,0	0,24	4,3	7,0	24	0,8
		Argila	Silte	Areia total	Areia grossa	Areia fina	U%	Uvol.	Da (g.cm <sup>-3</sup> )									
		%																
0-20	60,3	25	14,7	6,9	7,8													
20-40	60,7	25,7	13,6	6,4	7,2	46,24	54,56	1,18										

pH - em CaCl<sub>2</sub> por potenciometria; H+Al - em tampão SMP por potenciometria; - M.O - por espectrofotometria; P - em resina por espectrofotometria; S - por turbidimetria; Ca - por espectrometria de absorção atômica; Mg - por espectrometria de absorção atômica; Na - por espectrometria de absorção atômica; K - por espectrometria de absorção atômica; Si - em cloreto de cálcio a 0,01 mol L<sup>-1</sup>; Al - em KCl por titulometria; S.B. = Ca + Mg + Na + K; CTC = S.B + H+Al; V% = (SB/CTC)\* 100; m% = (Al/(SB + Al))\*100; B pelo método da a zometina-H por espectrofotometria; Cu, Fe, Mn, Zn - em solução DTPA por espectrometria de absorção atômica.

**Tabela 1:** Propriedades químicas, granulométricas e físicas de um Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) coletado nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. Da (g.cm<sup>-3</sup>)

Com esses resultados e seguindo as recomendações do Boletim Técnico, 100, por Raij et al. (1997), foi realizada a correção da fertilidade do solo aplicando via solo: 67 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (45% de N), 134 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O) e 244 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato

triplo (41% de  $P_2O_5$ ). Com 15 DAT, foi aplicado  $5 \text{ kg ha}^{-1}$  de zinco, sob de sulfato de zinco e  $2 \text{ kg ha}^{-1}$  de boro sob ácido bórico, fornecidos também por fertirrigação. A adubação de cobertura foi realizada aos 90 DAT, via fertirrigação contendo  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de ureia e  $67 \text{ kg ha}^{-1}$  de cloreto de potássio.

### **2.5. Sistema de irrigação**

Para o manejo da irrigação, o tubo gotejador utilizado foi da empresa NaandanJain, modelo Topdrip 15 mil, autocompensante, com diâmetro do tubo de 16 mm, parede do tubo com espessura de 0,38 mm, espaçamento entre os emissores de 0,5 m, e vazão nominal de  $1 \text{ L m}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

A água era de origem de captação subterrânea e filtrada por filtro de disco se 125 micra. Essa água captada mantinha-se locada em reservatório com volume de  $27 \text{ m}^3$  à 120 metros do experimento. Seu acionamento se dava por uma motobomba centrifuga de 1 c.v., pressão mantida a  $1,5 \text{ kgf cm}^{-2}$ , sendo monitorada por manômetro.

### **2.6. Manejo de plantas daninhas**

O controle de plantas daninhas foi realizado manualmente e por aplicações de herbicidas, 2,4-D + picloram (Tordon®), herbicida seletivo para a cultura da cana-de-açúcar, e hidrogênio metilarsonato de sódio (Volcane®).

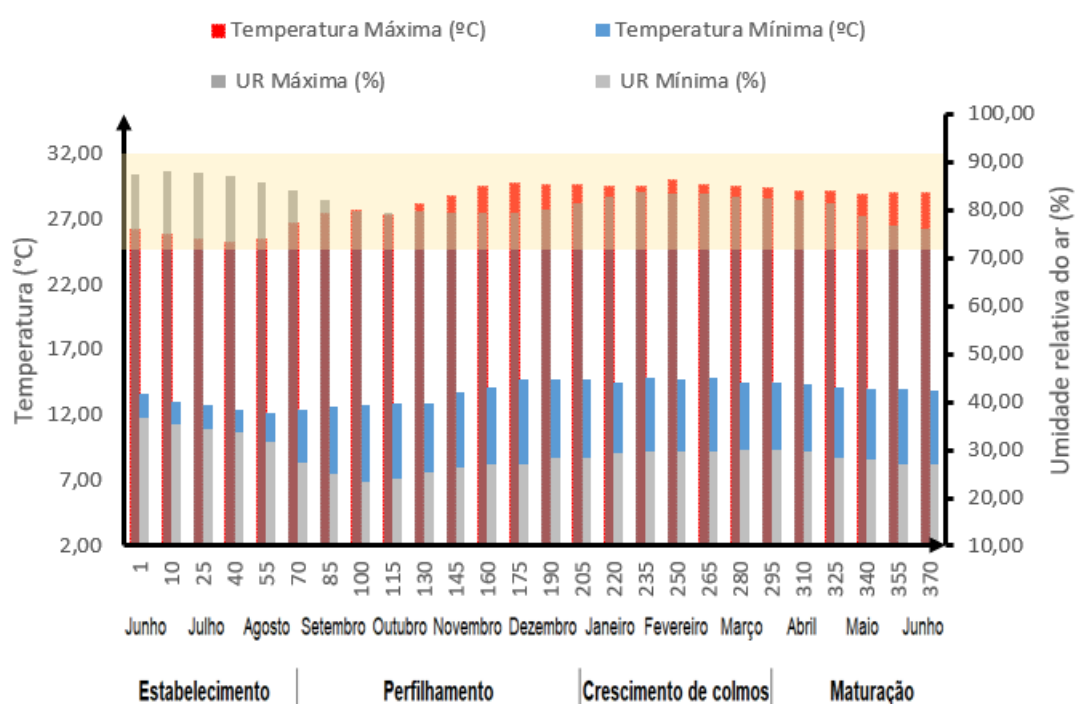
### **2.7. Manejo do Silício**

As aplicações de Si foram parceladas em cinco vezes ao longo do cultivo via fertirrigação. As duas primeiras aplicações foram realizadas durante a fase de perfilhamento, aos 98 e 140 DAT, e as demais durante a fase de crescimento de colmos, aos 175, 228 e 253 DAT. A fonte de Si foi o silicato de sódio neutro (SNaN) (8,9% de  $Na_2O$ ; 28% de  $SiO_2$  e densidade de  $1,4 \text{ g L}^{-1}$  da *Diatom Mineração*®. O valor pH da solução com Si foi mantido entre 5,5 e 6,5, sendo ajustado com solução de hidróxido de sódio (NaOH) ( $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ) e ácido

clorídrico (HCl) ( $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ). Assim, as plantas que foram tratadas com o elemento benéfico receberam 1,8 mmol de Si.

## 2.8. Clima e manejo da irrigação

Os dados climáticos durante o período experimental foram coletados pela estação agroclimatológica da UNESP FCAV, localizada próxima ao experimento (Figura 2). A média da temperatura máxima observada foi de  $28,26 \text{ }^\circ\text{C}$ , mantendo-se dentro do ideal para a cultura segundo Almeida et al. (2008).

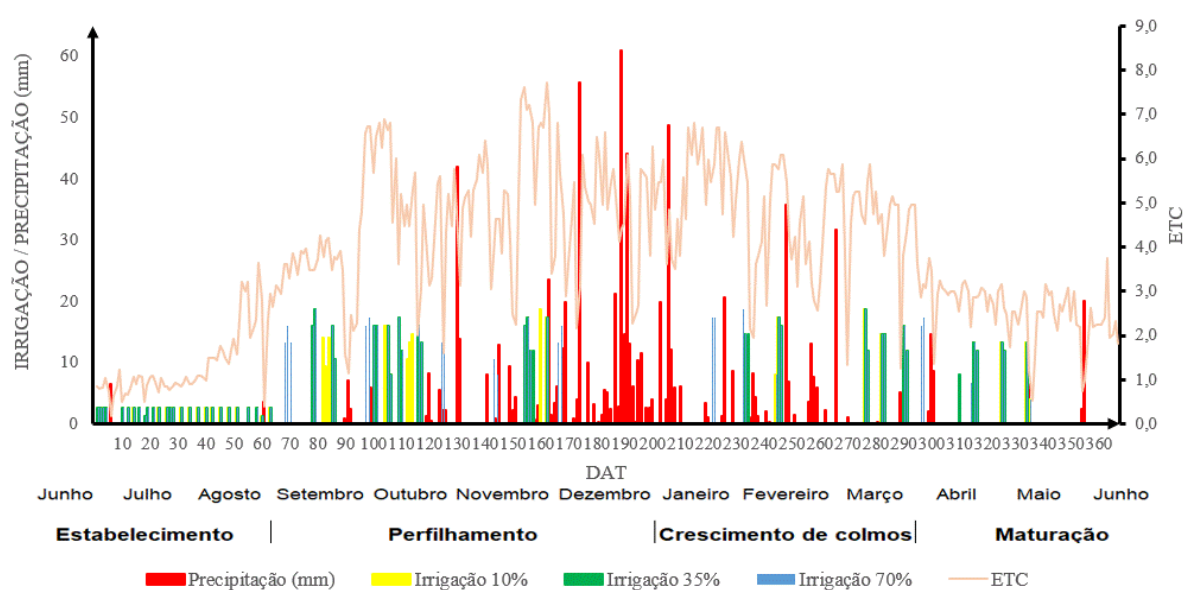


**Figura 2:** Umidade relativa máxima e mínima; Temperatura máxima e mínima durante o período experimental.

A partir dos dados obtidos na Estação Agroclimatológica, o cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) e com o coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) definido de acordo com os estádios de desenvolvimento da cultura, sendo, fase de estabelecimento no campo: K<sub>c</sub> inicial=(0,23;0,40; 0,50) no período de 0 a 60 DAT; perfilhamento=(0,60; 0,80; 1,03) de 61 a 180 DAT; crescimento de colmos = (1,03) de 181 a 280 DAT; e maturação dos colmos (1,03 - 0,75) de 281 a 335 DAT (ALLEN et

al., 1998; GONÇALVES E MIRANDA, 2014). Assim, a reposição da água foi determinada pela evapotranspiração de cultura, sendo definido pela fórmula:  $ET_c = [(ET_o \times K_c)]$ . A irrigação era realizada quando o déficit se acumulava em 20 mm.

A precipitação verificada entre 22/06/2020 e 23/06/2021, correspondendo ao período experimental foi de 807,5 mm. Foram realizadas irrigações em um total de 447,8 mm no tratamento 10% da CRA; 542 mm no tratamento 35% da CRA e 765,7 mm aplicados para o tratamento de 70% de CRA. A máxima evapotranspiração de cultura foi de 7,7 mm/dia aos 161 DAT, no dia 31/11/2020, e a média durante o ciclo foi de 3,7 mm/dia (Figura 3).



**Figura 3:** Precipitação (mm), irrigação de 10% da CRA, irrigação de 35% da CRA, irrigação de 70% da CRA e evapotranspiração da cultura.

## 2.9. Avaliação biométrica

A avaliação biométrica foi realizada no momento da colheita (aos 366 DAT), no qual foram avaliados:

- Altura de plantas, da base do colmo até o ápice da última folha completamente expandida, com o auxílio de uma trena. O diâmetro de colmo: sendo feita a medida de três colmos a uma altura de 30 cm do solo, com o auxílio de um paquímetro digital, e

posteriormente realizada uma média entre os valores.

- O Número de colmos: sendo feita contagem manual.
- Número de entrenós por colmo: a partir da média de três colmos por touceira.
- Produtividade: as plantas foram cortadas rente ao solo, sendo feita a despalha e o desponte na quebra natural, posteriormente pesadas com o auxílio de uma balança digital a fim de estimar a produtividade em  $t\ ha^{-1}$ .

#### **2.10. Análises tecnológicas**

As análises tecnológicas foram realizadas de acordo com o método da Consecana (2006), sendo retirados oito colmos de cada tratamento por bloco para determinação da qualidade industrial da cana-de-açúcar, sendo eles: açúcares totais recuperáveis (ATR) em  $kg\ Mg^{-1}$ , quantidade de sacarose no caldo (POL) em %, quantidade de sacarose do colmo (PC), teor de fibra (%), pureza (%), e sólidos solúveis totais (°Brix).

#### **2.11. Análise de silício**

Para realização da análise de Si no colmo e nas folhas, selecionamos aleatoriamente dentro de cada bloco de cada tratamento três plantas por touceira. Os colmos foram triturados e homogeneizados para retirada de 500g de amostra. Também foram retiradas as últimas folhas completamente expandidas, sendo separadas e levadas a estufa para serem secas a temperatura de  $65^{\circ}C \pm 5$  até que atingissem massa constante. Após secos, ambos colmos e folhas foram moídos em moinho tipo Wiley.

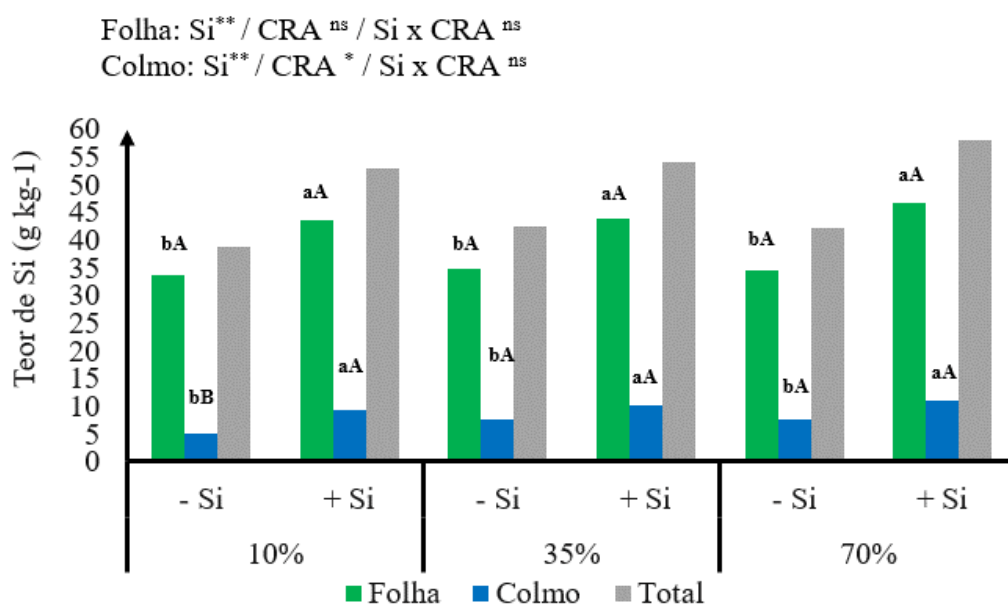
A determinação do teor de Si foi seguindo a metodologia de Kraska e Breitenbeck (2010), utilizando 0,1 mg de amostras secas e moídas, adicionadas em tubos de polietileno, seguido pela adição de 2,0 mL de  $H_2O_2$  (30% v/v) e 3,0 mL de NaOH ( $25\ mol\ L^{-1}$ ). A leitura do extrato obtido foi feita com espectrofotômetro a 410 nm, seguindo a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004).

## **2.12. Análises estatísticas**

As análises estatísticas foram submetidas ao teste de Tukey à 5% de significância pelo software estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JUNIOR, 2015).

### 3. RESULTADOS

Para a avaliação dos teores de Si nas folhas, o Si diferiu significativamente ( $p < 0,01$ ), porém a CRA do solo e a interação entre os tratamentos não apresentaram diferenças significativas (Figura 4). As plantas ausentes em Si no tratamento 10% da CRA apresentaram um teor de  $33,69 \text{ g kg}^{-1}$  de Si e as plantas tratadas com Si em 10% da CRA,  $43,69 \text{ g kg}^{-1}$  de Si. Já as plantas de cana-de-açúcar ausentes em Si no tratamento 35% da CRA apresentaram  $34,70 \text{ g kg}^{-1}$  de Si, porém as plantas fertirrigadas com Si em 35% da CRA apresentaram  $43,95 \text{ g kg}^{-1}$  de Si. Na ausência do elemento benéfico, os tratamentos com 70% da CRA apresentaram um teor de  $34,52 \text{ g kg}^{-1}$  de Si, e o fornecimento do elemento em plantas sob 70% da CRA proporcionou um teor de  $46,76 \text{ g kg}^{-1}$  de Si (Figura 4).



**Figura 4:** teor de silício na folha e colmo de plantas de cana-de-açúcar cultivadas na ausência (-Si) e presença de silício (+Si) fornecido via fertirrigação sob regime hídrico de 10%, 35% e 70% da CRA do solo. \*\* e \*: significativo com 1 e 5% de probabilidade, respectivamente e ns: não significativo pelo teste F. Letras minúsculas mostram diferenças em relação ao Si e letras maiúsculas em relação as diferentes CRA do solo. Si: Silício, CRA: capacidade de retenção de água no solo, Si x CRA: interação.

Para o teor de Si no colmo da cana-de-açúcar, o Si ( $p < 0,01$ ) e a CRA ( $p < 0,05$ ) do solo apresentam diferenças significativas, porém a interação entre eles não (Figura 4). O valor do teor de Si no colmo das plantas tratadas na ausência de Si em 10% da CRA apresentou  $5,14 \text{ g kg}^{-1}$  de Si, já as plantas tratadas com Si em 10% da CRA tiveram  $9,28 \text{ g kg}^{-1}$  de Si. Para as plantas ausentes em Si no tratamento de 35% da CRA, o teor observado foi de  $7,72 \text{ g kg}^{-1}$  de Si, por outro lado, na presença de Si, as cana-de-açúcar tratadas sob 35% da CRA apresentaram  $10,22 \text{ g kg}^{-1}$  de Si. A ausência de Si proporcionou às plantas cultivadas sob 70% da CRA um teor de  $7,75 \text{ g kg}^{-1}$  de Si, porém o fornecimento de Si no tratamento 70% da CRA levou ao teor de  $11,17 \text{ g kg}^{-1}$  de Si (Figura 4).

### **3.1. Análises tecnológicas**

Para o a mensuração do ATR, não foi verificada interação entre o Si e a CRA do solo (Figura 5A). O ATR nas plantas ausentes em Si do tratamento 10% da CRA foi de  $181,19 \text{ kg t}^{-1}$  de açúcar enquanto nas tratadas com Si cultivadas sob 10% da CRA foi de  $181,14 \text{ kg t}^{-1}$  de açúcar. Na ausência de Si, as plantas cultivadas em 35% da CRA tiveram  $179,22 \text{ kg t}^{-1}$  de açúcar, por outro lado, as que receberam Si sob 35% da CRA apresentaram  $177,27 \text{ kg t}^{-1}$  de açúcar. Para as plantas em ausentes em Si no tratamento de 70% da CRA, o açúcar observado foi de  $174,27 \text{ kg t}^{-1}$ , e as plantas tratadas com Si em 70% da CRA tiveram  $176,45 \text{ kg t}^{-1}$  de açúcar (Figura 5A).

No POL não foi verificada interação entre o Si e a CRA do solo (Figura 5B). Os valores do POL observados nas plantas ausentes em Si do tratamento 10% da CRA apresentaram 21,87 %, e as plantas tratadas com Si cultivadas sob 10% da CRA apresentaram 21,61 %. Na ausência de Si, as cana-de-açúcar cultivadas em 35% da CRA tiveram 21,81 %, por outro lado, as que receberam Si sob 35% da CRA apresentaram 20,96 %. Para as plantas em ausentes em Si no

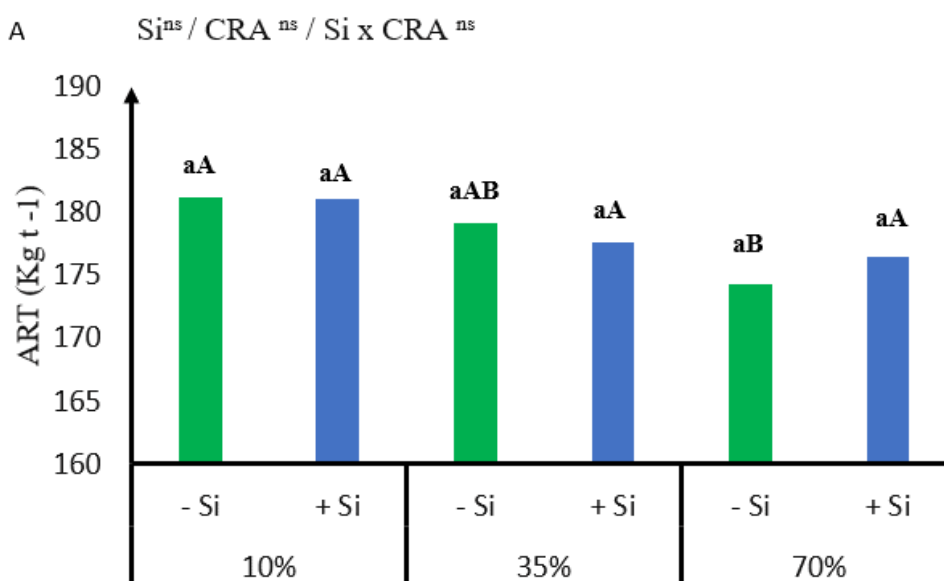
tratamento de 70% da CRA, o POL observado foi de 21,35 %, e as plantas tratadas com Si em 70% da CRA tiveram 20,76 % (Figura 5B).

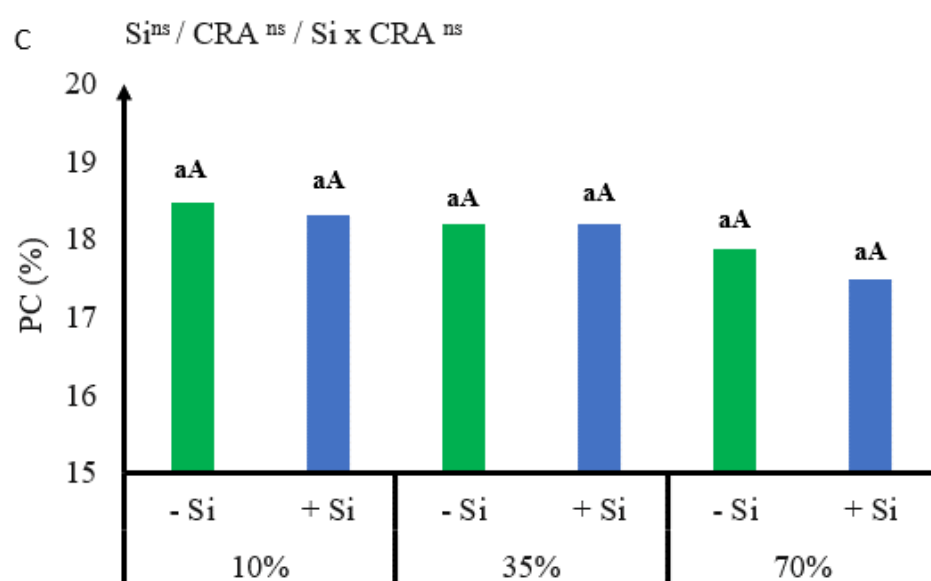
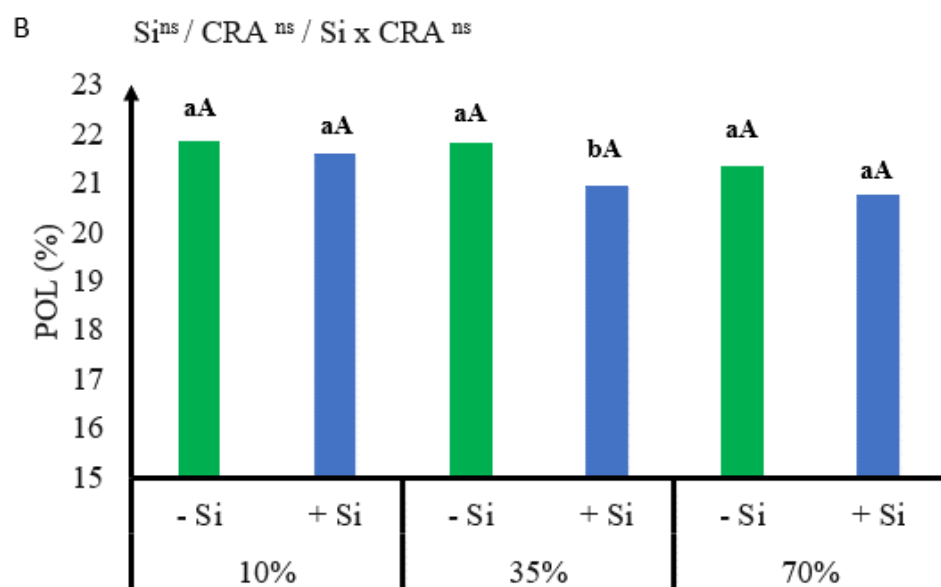
Para a mensuração do PC, não foi verificada interação entre o Si e a CRA do solo (Figura 5C). Os valores do PC observados nas plantas ausentes em Si do tratamento 10% da CRA apresentaram 18,49 %, e as plantas tratadas com Si cultivadas sob 10% da CRA apresentaram 18,33 %. Na ausência de Si, as cana-de-açúcar cultivadas em 35% da CRA tiveram 18,2 %, por outro lado, as que receberam Si sob 35% da CRA apresentaram 18,2 %. Para as plantas em ausentes em Si no tratamento de 70% da CRA, o PC observado foi de 17,88 %, e as plantas tratadas com Si em 70% da CRA tiveram 17,5 % (Figura 5C).

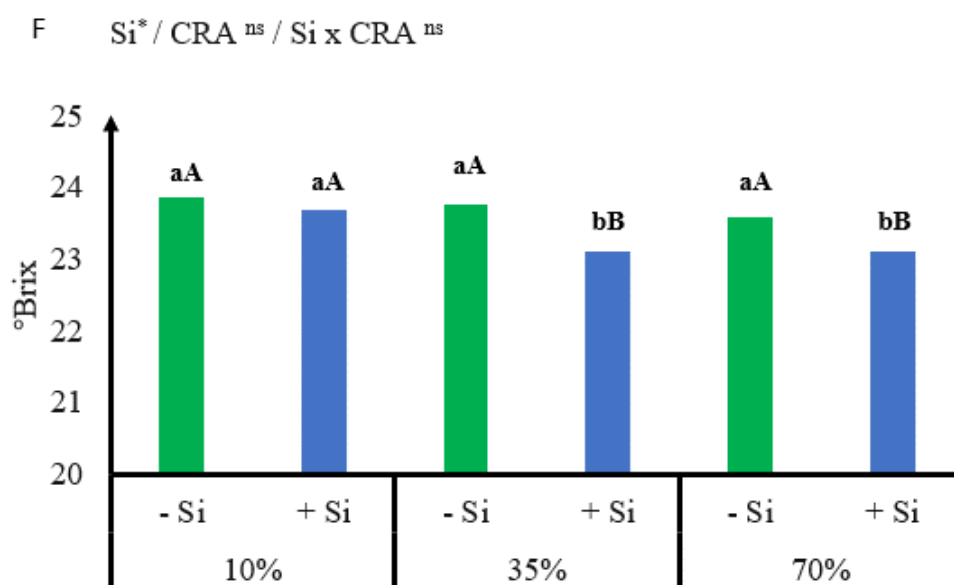
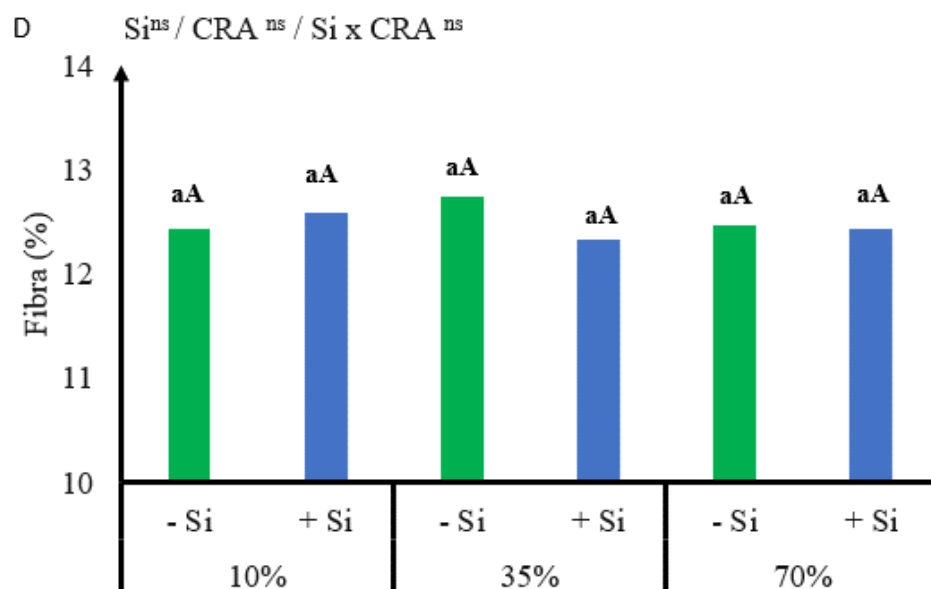
Para a mensuração do teor de fibra, não foi verificada interação entre o Si e a CRA do solo (Figura 5D). Os valores do teor de fibra observados nas plantas ausentes em Si do tratamento 10% da CRA apresentaram 12,43 %, e as plantas tratadas com Si cultivadas sob 10% da CRA apresentaram 12,6 %. Na ausência de Si, as cana-de-açúcar cultivadas em 35% da CRA tiveram 12,74 %, por outro lado, as que receberam Si sob 35% da CRA apresentaram 12,34 %. Para as plantas em ausentes em Si no tratamento de 70% da CRA, o teor de fibra observado foi de 12,47 %, e as plantas tratadas com Si em 70% da CRA tiveram 12,44 % (Figura 5D).

Para a mensuração da pureza, não foi verificada interação entre o Si e a CRA do solo (Figura 5E). Os valores da pureza observados nas plantas ausentes em Si do tratamento 10% da CRA apresentaram 91,63 %, e as plantas tratadas com Si cultivadas sob 10% da CRA apresentaram 91,65 %. Na ausência de Si, as cana-de-açúcar cultivadas em 35% da CRA tiveram 91,69 %, por outro lado, as que receberam Si sob 35% da CRA apresentaram 90,8 %. Para as plantas em ausentes em Si no tratamento de 70% da CRA, a pureza observada foi de 90,46 %, e as plantas tratadas com Si em 70% da CRA tiveram 89,83 % (Figura 5E).

Para a mensuração do teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}\text{Brix}$ ), o Si diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ), porém a CRA do solo e a interação entre os tratamentos não apresentaram diferenças significativas o Si (Figura 5F). Os valores do teor de sólidos solúveis observados nas plantas ausentes em Si do tratamento 10% da CRA apresentaram  $23,86^{\circ}\text{Bx}$ , e as plantas tratadas com Si cultivadas sob 10% da CRA apresentaram  $23,7^{\circ}\text{Bx}$ . Na ausência de Si, as cana-de-açúcar cultivadas em 35% da CRA tiveram  $23,77^{\circ}\text{Bx}$ , por outro lado, as que receberam Si sob 35% da CRA apresentaram  $23,11^{\circ}\text{Bx}$ . Para as plantas em ausentes em Si no tratamento de 70% da CRA, o  $^{\circ}\text{Brix}$  observado foi de  $23,59^{\circ}\text{Bx}$ , e as plantas tratadas com Si em 70% da CRA tiveram  $23,1^{\circ}\text{Bx}$  (Figura 5F).







**Figura 5.** açúcar total recuperável (ATR) (A), pol do caldo (B), pol da cana-de-açúcar (PC) (C), fibra (D), pureza (E) e Brix (F) de plantas de cana-de-açúcar cultivadas na ausência (-Si) e presença de silício (+Si) fornecido via fertirrigação sob regime hídrico de 10%, 35% e 70% da CRA do solo. \*\* e \*: significativo com 1 e 5% de probabilidade, respectivamente e ns: não significativo pelo teste F. Letras minúsculas mostram diferenças em relação ao Si e letras maiúsculas em relação as diferentes CRA do solo. Si: Silício, CRA: capacidade de retenção de água no solo, Si x CRA: interação.

### 3.2. Avaliação de crescimento

Para a mensuração do diâmetro de colmos, o Si diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ), CRA do solo diferiu significativamente ( $p < 0,01$ ) e a interação entre os tratamentos não apresentaram diferenças significativas o Si (Figura 6A). Os valores do diâmetro de colmos observados nas plantas ausentes em Si do tratamento 10% da CRA apresentaram 25,21 mm, e as plantas tratadas com Si cultivadas sob 10% da CRA apresentaram 27,4 mm. Na ausência de Si, as cana-de-açúcar cultivadas em 35% da CRA tiveram 27,88 mm, por outro lado, as que receberam Si sob 35% da CRA apresentaram 29,34 mm. Para as plantas em ausentes em Si no tratamento de 70% da CRA, o diâmetro foi de 27,99 mm, e as plantas tratadas com Si em 70% da CRA tiveram 29,14 mm (Figura 6A).

Para a mensuração do número de perfilhos, o Si e a CRA do solo diferiram significativamente ( $p < 0,05$ ), a e a interação entre os tratamentos não apresentaram diferenças significativas o Si (Figura 6B). Os valores do número de perfilhos observados nas plantas ausentes em Si do tratamento 10% da CRA apresentaram 12,64, e as plantas tratadas com Si cultivadas sob 10% da CRA apresentaram 14,52. Na ausência de Si, as cana-de-açúcar cultivadas em 35% da CRA tiveram 14,86, por outro lado, as que receberam Si sob 35% da CRA apresentaram 15,57. Para as plantas em ausentes em Si no tratamento de 70% da CRA, o

número de perfilhos foi de 15,68, e as plantas tratadas com Si em 70% da CRA tiveram 17,05 (Figura 6B).

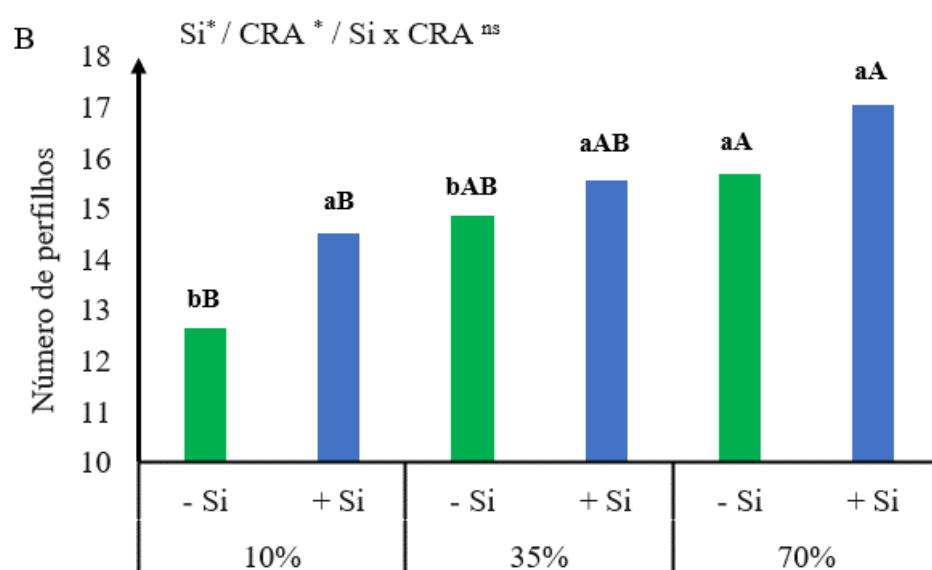
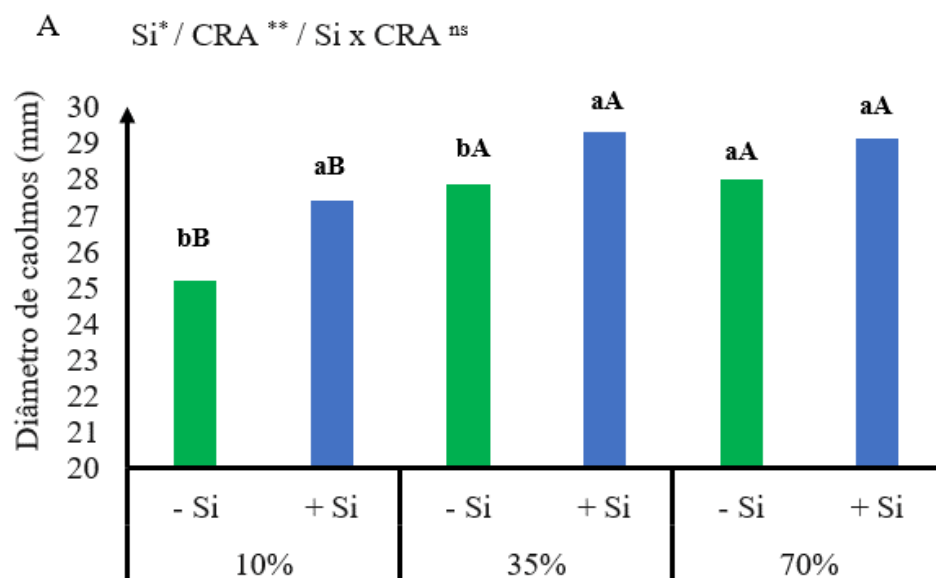
Para a mensuração da altura de plantas, a CRA do solo diferiu significativamente ( $p < 0,01$ ), o Si e a interação entre os tratamentos não apresentaram diferenças significativas o Si (Figura 6C). Os valores da altura de plantas observados nas plantas ausentes em Si do tratamento 10% da CRA apresentaram 4,43 m, e as plantas tratadas com Si cultivadas sob 10% da CRA apresentaram 4,5 m. Na ausência de Si, as cana-de-açúcar cultivadas em 35% da CRA tiveram 4,57 m, por outro lado, as que receberam Si sob 35% da CRA apresentaram 4,97 m. Para as plantas em ausentes em Si no tratamento de 70% da CRA, a altura observada foi de 5,0 m, e as plantas tratadas com Si em 70% da CRA tiveram 5,01 m (Figura 6C).

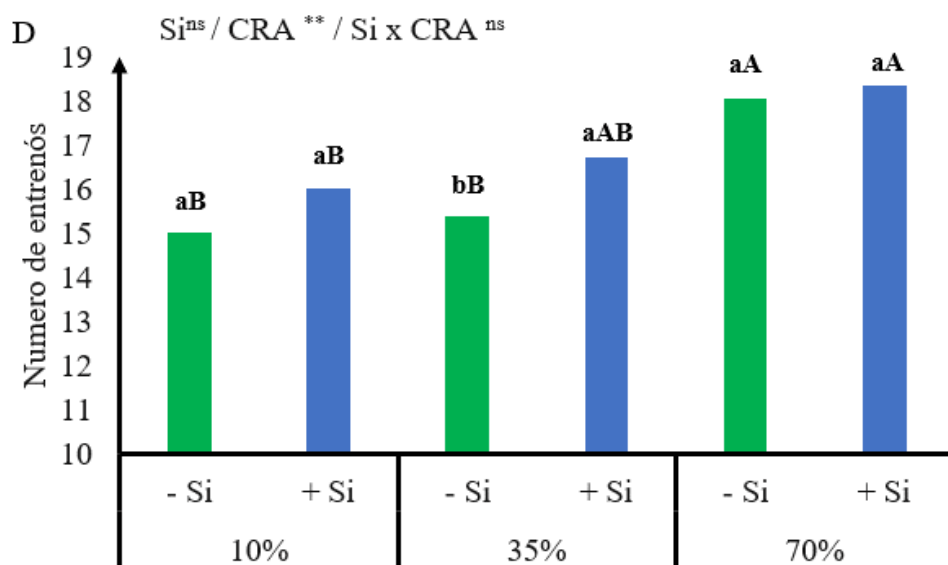
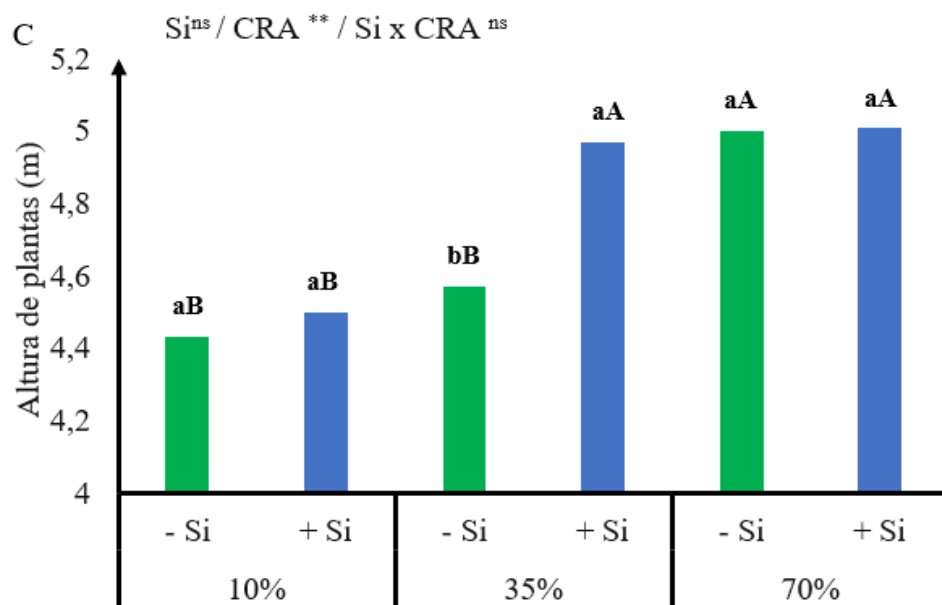
Para a mensuração da altura de plantas, a CRA do solo diferiu significativamente ( $p < 0,01$ ), o Si e a interação entre os tratamentos não apresentaram diferenças significativas o Si (Figura 6D). Os valores do número de entrenós observados nas plantas ausentes em Si do tratamento 10% da CRA apresentaram 15,03, e as plantas tratadas com Si cultivadas sob 10% da CRA apresentaram 16,03. Na ausência de Si, as cana-de-açúcar cultivadas em 35% da CRA tiveram 15,38, por outro lado, as que receberam Si sob 35% da CRA apresentaram 16,72. Para as plantas em ausentes em Si no tratamento de 70% da CRA, o número de entrenós observado foi de 18,05, e as plantas tratadas com Si em 70% da CRA tiveram 18,34 (Figura 6D).

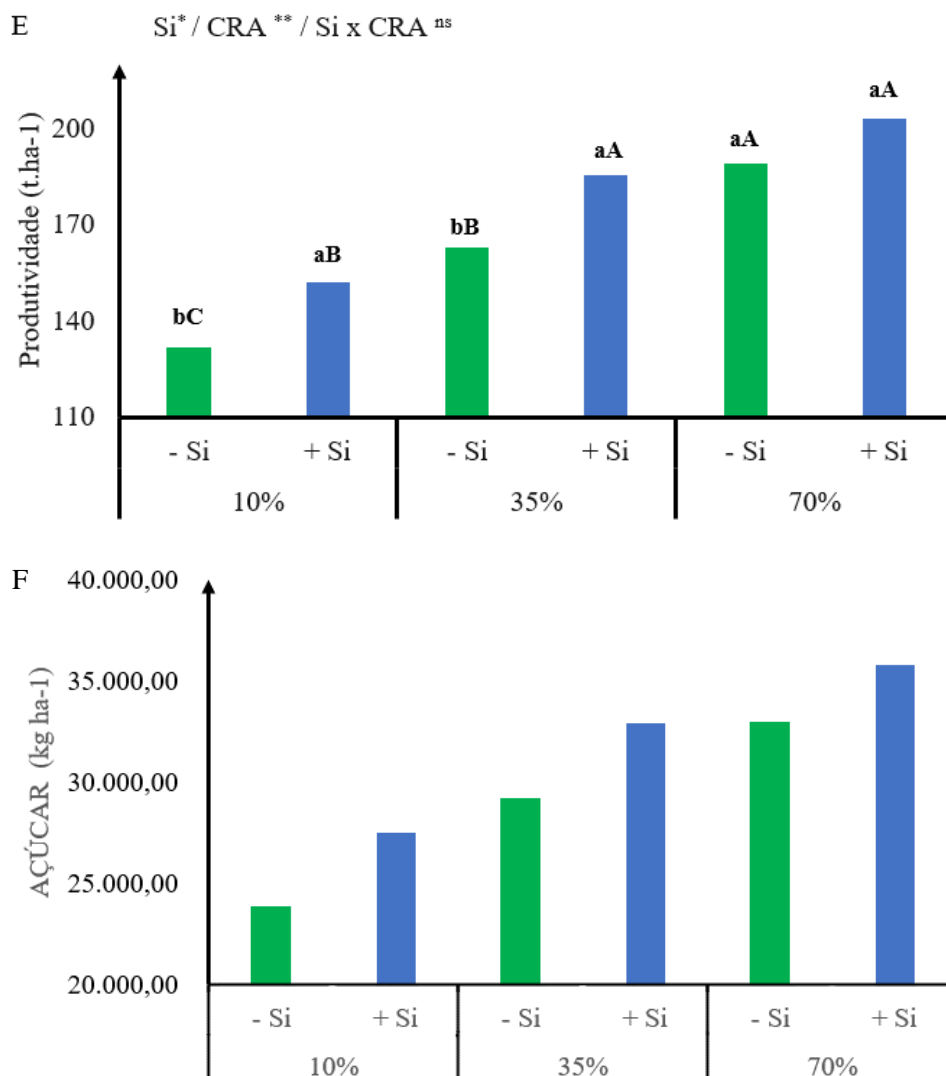
Para a mensuração da produtividade, o Si diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ), CRA do solo diferiu significativamente ( $p < 0,01$ ) e a interação entre os tratamentos não apresentaram diferenças significativas o Si (Figura 6E). Os valores da produtividade observados nas plantas ausentes em Si do tratamento 10% da CRA apresentaram  $131,56 \text{ t.ha}^{-1}$ , e as plantas tratadas com Si cultivadas sob 10% da CRA apresentaram  $151,87 \text{ t.ha}^{-1}$ . Na ausência de Si, as canas-de-açúcar cultivadas em 35% da CRA tiveram  $162,94 \text{ t.ha}^{-1}$ , por outro lado, as que receberam Si sob 35% da CRA apresentaram  $185,34 \text{ t.ha}^{-1}$ . Para as plantas em ausentes em Si no

tratamento de 70% da CRA, a produtividade foi de 188,34 t.ha<sup>-1</sup>, e as plantas tratadas com Si em 70% da CRA tiveram 202,76 t.ha<sup>-1</sup> (Figura 6E).

Os valores da produção de açúcar observados nas plantas ausentes em Si do tratamento 10% da CRA apresentaram 23.838,36 kg.ha<sup>-1</sup>, e as plantas tratadas com Si cultivadas sob 10% da CRA apresentaram 27.509,73 kg.ha<sup>-1</sup>. Na ausência de Si, as canas-de-açúcar cultivadas em 35% da CRA tiveram 29.202,11 kg.ha<sup>-1</sup>, por outro lado, as que receberam Si sob 35% da CRA apresentaram 32.923,80 kg.ha<sup>-1</sup>. Para as plantas em ausentes em Si no tratamento de 70% da CRA, a produtividade foi de 32.933,54 kg.ha<sup>-1</sup>, e as plantas tratadas com Si em 70% da CRA tiveram 35.777,00 kg.ha<sup>-1</sup> (Figura 6F).







**Figura 6:** Diâmetro do colmo (A), número de perfilhos (B), altura de plantas (C), número de entrenós (D), produtividade (E) e produção de açúcar (F) de plantas de cana-de-açúcar cultivadas na ausência (-Si) e presença de silício (+Si) fornecido via fertirrigação sob regime hídrico de 10%, 35% e 70% da CRA do solo. \*\* e \*: significativo com 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, e ns: não significativo pelo teste F. Letras minúsculas mostram diferenças em relação ao Si e letras maiúsculas em relação as diferentes CRA do solo. Si: Silício, CRA: capacidade de retenção de água no solo, Si x CRA: interação.

#### 4. DISCUSSÃO

O aumento do teor de Si observado nas plantas tratadas com o elemento era esperado, especialmente pelo fato do experimento ter sido desenvolvido em área com baixo teor desse mineral para a cultura da cana-de-açúcar, sendo de  $9 \text{ kg}^{-1}$  de Si na camada de 20-40 e de  $11 \text{ mg kg}^{-1}$  de Si em 0-20 (Tabela 1). Segundo Berthelsen et al. (2002), solos abaixo da faixa de 10 a  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  de Si são limitantes em Si para esse cultivo.

A maior quantidade de Si encontrada nos solos está na forma inerte, não disponível em solução, o que limita a absorção pelas plantas (KATZ et al., 2021), assim, justifica-se a necessidade de suplementar o de Si via solo as plantas, especialmente, a cana-de-açúcar que é considerada uma cultura acumuladora no elemento, possuindo teor foliar de Si superior à  $10 \text{ g.kg}^{-1}$  (EPSTEIN, 1994), tendo transportadores eficientes para a sua absorção na forma de ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) (MA, MIYAKE E TAKAHASHI, 2001). Tal fator pode ser justificado devido ao aumento da massa seca da parte aérea conforme o aumento da lâmina de irrigação, ou seja, quanto maior a lâmina de irrigação, maior será a massa da planta e maior será a deposição de Si, resultado também observado por Camargo et al. (2017). Segundo Ma e Yamaji (2006), o silício é depositado na forma de dupla camada de sílica na cutícula da epiderme das folhas e colmos, tornando-se imóvel quanto à redistribuição para outros órgãos, sendo em maior quantidade nas folhas.

O fornecimento de Si em plantas, estimula um aumento no status hídrico foliar das culturas, como verificado em estudos mais recentes por Chen et al. (2018), que evidenciaram outras funções do elemento, tais como o aumento da força motriz osmótica, melhor atividade das aquaporinas, modificação do crescimento da raiz e aumento da razão raiz / parte aérea, juntamente a atividade das aquaporinas e da força motriz osmótica, que melhora a fisiológica hidráulica da raiz.

Essa lógica é corroborada pelos resultados observados no teor de sólidos solúveis (Figura 4F), no qual os menores rendimentos foram verificados nos tratamentos com maior lâmina de irrigação, e os melhores resultados nos tratamentos com menores lâminas (déficit hídrico). É possível que a melhora no volume de água disponível e pelo aumento no teor de Si levou a diluição dos teores de açúcar observados nesse estudo. Relatos realizados por Scarpari e Beauclair (2008), citam que em locais com maior disponibilidade hídrica ocorreu a maior diluição nos colmos e conseqüentemente no caldo. Resultados esses que concordam com De Oliveira e Braga (2019), que salientam que quanto maior a lâmina de irrigação, menor a concentração de açúcares e, conseqüentemente, menores teores de °Brix.

Os resultados da diminuição da concentração de açúcares são amplamente discutidos, como verificado em estudos realizados por Costa et al. (2019) e Dalri e Cruz (2008), tornado o fator da presença do silício o único elemento apresentando diferenças significativas. Sendo esses resultados confirmados por Camargo et al. (2017), cujos efeitos positivos nos colmos e biomassa seca são devido ao aumento da absorção do Si em sistemas com déficit hídrico, tendo assim valores menores em plantas que receberam o tratamento.

O déficit hídrico prejudicou o desenvolvimento da cana-de-açúcar, reduzindo o diâmetro de colmo em 13,48% (Figura 6A), assim como verificado por Camargo et al. (2017), que ao estudarem o efeito do déficit hídrico em plantas de cana-de-açúcar tratadas com Si, observaram que o diâmetro de colmos fora afetado pelo déficit hídrico, porém o fornecimento de Si aliviou esse estresse, e proporcionou um melhor desenvolvimento da cultura.

O déficit hídrico provocou menor perfilhamento (Figura 6B) na cultura da cana-de-açúcar comparado ao tratamento sem regime hídrico restrito. Resultado também observado por Oliveira et al. (2011), comprovando o incremento da produtividade para os regimes hídricos de maiores disponibilidade de água.

Para Fischer (2018), a restrição hídrica tem influência negativa direta no alongamento

celular do colmo, conseqüentemente no comprimento do entrenó e altura da planta (Figura 6C). Por outro lado, o fornecimento de Si aliviou os estresses causados pela restrição hídrica, proporcionando no tratamento deficitário melhor desenvolvimento da cultura.

O diâmetro de colmos (Figura 5A), perfilhamento (Figura 5B) e altura (Figura 5C) têm importância para a definição do potencial produtivo da cana-de-açúcar (Silva et al. 2008). Sendo assim, a irrigação se mostrou efetiva para elevar a produtividade de cana-de-açúcar (Figura 6E) (DALRI E CRUZ, 2002, CAMARGO et al. 2017). Dessa forma, resultados do incremento de produtividade no sistema irrigado x sequeiro, apresentados por Coelho et al. (2018), seguem a mesma lógica do trabalho apresentado em questão, sobre incremento da produção com a irrigação.

## 5. CONCLUSÃO

Com o tratamento de  $1,8 \text{ mmol L}^{-1}$  de Si as características tecnológicas da cana-de-açúcar não foram afetadas pelos tratamentos, exceto o °Brix, que aumentou com o fornecimento de silício e lâmina de irrigação.

A fertirrigação silicatada foi considerada fator diferencial para a mitigação dos estresses causados pelo déficit hídrico.

A irrigação proporcionou melhores condições para as plantas se desenvolverem, evidente pelos dados obtidos nas avaliações de diâmetro de colmos cujas plantas irrigadas pelo tratamento de 70% da CRA do tratamento com elemento benéfico obtiveram aproximadamente 4 mm de ganho em comparação as plantas do tratamento de 10% da CRA sem elemento benéfico, situação semi-sequeiro, para a altura comparando os mesmos tratamentos pode-se notar um ganho superior a meio metro, o número de perfilhos apresenta resultados semelhantes, um incremento superior a 4 perfilhos aos respectivos tratamentos, o número de entrenós também apresenta resultados semelhantes, os quais apresentou incremento superior a 3 aos

respectivos tratamentos.

O ganho de produtividade é uma consequência dos dados apresentados anteriormente e, dessa forma, conclui-se que a diferença de  $71,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  é gerada pelos ganhos em altura, diâmetro de colmos, número de perfilhos e número de entrenós. A produção de cana-de-açúcar irrigada via gotejamento subsuperficial com fertirrigação silicatada é uma estratégia para elevar a produtividade.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, G., L.S. PEREIRA, D. RAES, & M. SMYH. Evapotranspiração das culturas - Diretrizes para calcular as necessidades de água das culturas - FAO Documento de irrigação e drenagem 56. **Fao, Roma**, v. 300, n. 9, pág. D05109, 1998.

ALMEIDA, A. C. S, SOUZA, J. L., TEODORO, I., BARBOSA, G. V. S., MOURA FILHO, G., & FERREIRA JÚNIOR, R. A Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1441-1448, 2008.

Agência Nacional de Águas (Brasil). Levantamento da cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada no Brasil / **Agência Nacional de Águas**. - 2A. ed. - Brasília: ANA, 2019.

CAMARGO, M. S.; BEZERRA, B. K. L.; VITTI, A.C.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. L. Silicon fertilization reduces the deleterious effects of water deficit in sugarcane. **Journal of soil Science and Plant Nutrition**, v.17, p.99-111, 2017.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO, JÚNIOR, W. **AgroEstat** - Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos versão 1.1.0.712. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015.

CHEN, D.; WANG, S.; YIN, L.; DENG, X. How Does Silicon Mediate Plant Water Uptake and Loss Under Water Deficiency?. **Frontiers in plant science**, 9, 281, 2018.

COELHO, A. P, DE ABREU, G. T., CORRÊA, F. R., LEAL, A. F., & SOARES, F. C. Produtividade inicial e eficiência no uso da água de cultivares de cana-de-açúcar fertirrigadas e plantadas por mudas pré-brotadas. **Scientia Agraria**, v. 19, n. 2, p. 57-64, 2018.

COSTA, A. R. F. C.; ROLIM, M. M., NETO, D. E. S., SILVA, M. M., SILVA, G. F., PEDROSA, E. M. R. Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 38-53, 2019. DOI: 10.15809/irriga.2019v24n1p38-53

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO . **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. – v.5 - Safra 2018/19, n.1 - Primeiro levantamento, Brasília: Conab, p.1-66, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar?start=10>. Acesso em: 1 fev. 2021.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO . **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. – v. 7 - Safra 2020/21, n.2 - Segundo levantamento, agosto de 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar?limitstart=0>. Acesso em: 12 fev. 2021.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTCIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 8, n. 3, novembro 2021.

CONSECANA. **Manual de instruções**. CONSECANA-SP, 2006.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Irriga**, v. 7, n. 1, p. 29-34, 2002.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.

DE OLIVEIRA, A. R., BRAGA, M. B. Variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de reposição hídrica por gotejamento subsuperficial. **Energia na Agricultura**, v. 34, n. 3, p. 350-363, 2019.

DONAGEMA, Guilherme Kangussú et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E)**, 2011.

DOOREMBOS, J., KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. n. 33. Campina Grande, Ed. UFPB, 1994, 306 p. (FAO. Estudos FAO. Irrigação e drenagem.).

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de classificação de Solos. Brasília: Embrapa, 2018.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual review of plant biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, 1999.  
FISCHER FILHO, J. A. Resposta de cultivares de cana-de-açúcar a lâminas de irrigação via gotejamento subsuperficial, 2018.

GONÇALVES, F. M.; DE MIRANDA, F. R. Coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial. **Embrapa Agroindústria Tropical-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2014.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE & Sistema IBGE de Recuperação automática – SIDRA. (2019) Produção agrícola municipal Rio de Janeiro: IBGE. IBGE. Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes: 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 1 nov. 2019.

KATZ O., PUPPE D., KACZOREK D., PRAKASH N.B., SCHALLER J. Silicon in the soil–plant continuum: Intricate feedback mechanisms within ecosystems. **Plants**, n.10, p.1–36, 2021.DOI: 10.3390/plants10040652

KRASKA, J.E.; BREITENBECK, G.A. Simple, robust method for quantifying silicon in plant tissue. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2010.

KORNDÖRFER, G.H; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. 3 ed. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2004b. 28 p.

KÖPPEN, Wilhelm. Climatologia. México. **Fondo de Cultura Económica**, 1948.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, Nishigara, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004. 39

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **AGROSTAT - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. 2021. Disponível em:

<https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: 25 maio 2022.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, v.11, p.15-19, 2006.

OLIVEIRA, E. C. A.; FEIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C. de; NETO, D. E. S.; ROCHA, AL. T. de; CARVALHO, L. A. de. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica 31 de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 6, p. 617-625, 2011.

PEI, Z. F.; MING, D. F.; LIU, D.; WAN, G. L.; GENG, X. X.; GONG, H. J.; ZHOU, W. J. Silicon Improves the Tolerance to Water-Deficit Stress Induced by Polyethylene Glycol in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seedlings. **J Plant Growth Regul**, v.29, p.106–115, 2010.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001.

RFA – RENEWABLE FUEL ASSOCIATION. **Ethanol Industry Outlook**, 2017.

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

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA J.B.; CUNHA T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Variação espaço-temporal do índice de área foliar e brix em cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.1, p.35-41,2008.

SILVA, M. A., SOARES, R.A.B., LANDELL, M.G.D.A., & CAMPANA, M.P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia** [online]. v. 67, n. 3, 2008.

SILVA, M. A.; CATO, S. C.; COSTA, A. G. F. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 774-780, Apr. 2010.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TAKAHASHI, C.; TAKAHASHI, J.; NOTOMI, M.; YOKOHAMA, I. Microphotonics: Materials, Physics and Applications, **MRS Symposia Proceedings** No. 637. 2001.

TEIXEIRA, G. C. M.; ROCHA, A. M. S.; OLIVEIRA, K. S.; SARAH, M. M. S.; OLIVEIRA FILHO, A. S. B.; PRADO, R. M.; PALARETTI, L. F. Silício na mitigação dos estresses por deficiência de manganês e pelo déficit hídrico em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar

(Revisão Bibliográfica). **Revista de Ciências Agrária**, v.48, n.2, p.170-187, 2020.

WIEDENFELD, B. Scheduling water application on drip irrigated sugarcane. *Agricultural Water Management*, Weslaco, v.64, n.2, p.169-181, 2004.

YOSHIDA, S. Aspectos químicos do papel do silício na fisiologia da planta de arroz. **Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences**. *B* 15, p.1-58, 1965.