

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE. PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

MANEJO DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO EM
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NO
CERRADO

Autor: Alefe Viana Souza Bastos
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Coorientadores: Dr. Edson Cabral da Silva;
Prof. Dra. Eloiza da Silva Nunes.

Rio Verde - GO
julho – 2021

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

MANEJO DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO EM
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NO
CERRADO

Autor: Alefe Viana Souza Bastos
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Tese apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de DOUTOR EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de concentração Produção Vegetal Sustentável do Cerrado.

Rio Verde - GO
julho – 2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

BB327m Bastos, Alefe
MANEJO DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO EM
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NO CERRADO /
Alefe Bastos; orientador Marconi Batista Teixeira;
co-orientador Edson Cabral da Silva. -- Rio Verde,
2021.
69 p.

Tese (Doutorado em Agronomia - Ciências Agrárias)
-- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. cana-planta. 2. nutrição de plantas. 3. sulfato
de zinco. 4. SP80-1816. 5. RB92-579. I. Batista
Teixeira, Marconi, orient. II. Cabral da Silva,
Edson, co-orient. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 73/2021 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**MANEJO DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO EM VARIEDADES DE
CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NO CERRADO.**

Autor: Álefe Viana Souza Bastos
Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira
Coorientadores: Dr. Edson Cabral da Silva
Prof. Dra. Eloiza da Silva Nunes

**TITULAÇÃO: Doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração
em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado**

APROVADO em, 08 de julho de 2021.

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Presidente)

Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Avaliador interno)

Prof. Dr. Aurélio Ferreira Melo (Avaliador externo)

Prof. Dr. Leandro Carlos (Avaliador interno)

Prof. Dr. Antônio Evami Cavalcante Sousa (Avaliador externo)

Dr. Edson Cabral da Silva (Avaliador interno)

Documento assinado eletronicamente por:

- Aurelio Ferreira Melo, Aurelio Ferreira Melo - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 22/07/2021 18:41:08.
- Edson Cabral da Silva, 2016202320140131 - Discente, em 08/07/2021 20:30:35.
- Leandro Carlos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/07/2021 19:28:20.
- Antonio Evami Cavalcante Sousa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/07/2021 19:13:08.
- Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/07/2021 18:27:19.
- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR DE CURSO - FUC1 - UCPG-RV, em 08/07/2021 18:23:55.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/07/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 287207
Código de Autenticação: 6428b52c77



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia – Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: Alefe Viana Souza Bastos
Matrícula: 2017102320140017
Título do Trabalho: MANEJO DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO EM VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS NO CERRADO

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: ___/___/___
O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

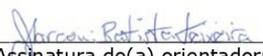
O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Jataí, GO 29/09/2021
Local Data


Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)

À minha amada Karina Borges de Souza;
À minha irmã Jéssica Viana Cabral e ao sobrinho Bento Viana Cabral;

Ao meu orientador Marconi Batista Teixeira;

À minha Avó Ana Paz do Nascimento;

Ao meu avô Bento Ribeiro Viana (*in memoriam*) e ao
amigo Carlos Eduardo Lourenço Siqueira (*in memoriam*)

OFEREÇO

Aos meus pais Leonide de Souza Bastos e Dilvani Viana do Nascimento.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, em especial Pai, Mãe, Irmã e Avós, que nunca mediram esforços para que eu seguisse firme nos estudos, e proporcionando educação, um lar confortante e seguro, onde sempre busquei forças e inspirações para seguir em frente com todos os projetos de vida.

À minha amada Karina Borges de Souza, que sempre me apoiou, dedicando seu tempo e atenção para que meus objetivos fossem alcançados e a elaboração deste trabalho fosse possibilitada.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira, exemplo de pessoa em todos os quesitos, faltando adjetivos para descrever tantas qualidades, e mesmo com muitos afazeres, sempre doou seu tempo para me ajudar, sendo essencial para elaboração e condução deste trabalho.

Ao meu coorientador e excepcional pesquisador, Dr. Edson Cabral da Silva, pelos ensinamentos e paciência durante todo o tempo de doutorado, que de forma ilustre me apoiou e foi parte primordial para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares, que com sua imensa sabedoria e discernimento transmitiu grande parte do conhecimento estatístico aplicado neste trabalho, além da mediação entre o IF Goiano Campus Rio Verde e Ceres, que possibilitou a instalação dos experimentos.

Ao meu amigo e companheiro de trabalho Flávio Henrique Ferreira Gomes, que durante maior parte de condução do estudo, esteve presente e me auxiliou em todas as avaliações e na realização do mesmo, tornando parte fundamental deste trabalho.

A toda equipe do Laboratório de Hidráulica e Irrigação do IF Goiano/RV, que me auxiliaram na condução e avaliações dos experimentos.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, por proporcionar a oportunidade de cursar o doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia, e, também por ceder o espaço físico e materiais para a realização da pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Ceres, à Usina CRV e ao professor Evami, que forneceram a área experimental e recursos humanos para o andamento do trabalho, sendo essenciais ao longo do período de ensaio.

Por fim, estendo meus agradecimentos ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela disponibilização de bolsas de apoio financeiro e todo o financiamento deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Alefe Viana Souza Bastos, nascido em Rio Verde - GO em 25 de outubro de 1993. Concluiu o ensino médio no Colégio Estadual do Sol, na cidade de Rio Verde / GO em 2009. Graduado como Bacharel em Agronomia no ano de 2015 e mestrado em Agronomia no ano de 2017, ambos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde. Durante o período da graduação foi aluno de iniciação científica no Laboratório de Anatomia Vegetal por um ano (2012/2013) e no Laboratório de Hidráulica e Irrigação por dois anos (2013/2015). Ainda, em 2017 ingressou como discente no Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia do IF Goiano / Rio Verde. A partir de 2019, atuou por dois anos como professor adjunto no curso de agronomia da Faculdade de Quirinópolis (FAQUI). Em 2020, tornou-se especialista em solos e nutrição de plantas pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz” / Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). Também no ano de 2020 ingressou na empresa Terram Soluções Agronômicas como Pesquisador em Solos e Nutrição de Plantas, atuando nesta função até a data de publicação da presente tese.

*Fortaleza, Sabedoria, Ciência,
Conselho, Entendimento,
Piedade e Temor de Deus*

ÍNDICE GERAL

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	xiii
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUÇÃO	18
OBJETIVOS	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
CAPÍTULO I – DESEMPENHO DA CANA-DE-AÇÚCAR, VAR. RB92-579, SOB DIFERENTES DOSES DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO	25
Resumo	25
Abstract.....	26
Introdução.....	27
Material e métodos	28
Resultados e discussão	34
Conclusão	44
Referências bibliográficas	45
CAPÍTULO II – DESEMPENHO DA CANA-DE-AÇÚCAR, VAR. SP80-1816, SOB DIFERENTES DOSES DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO	49
Resumo	49
Abstract.....	50
Introdução.....	51
Material e Métodos.....	53
Resultados e discussão	58
Conclusão	68
Referências bibliográficas	68
CONCLUSÃO GERAL.....	73

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I - DESEMPENHO DA CANA-DE-AÇÚCAR, VAR. RB92-579, SOB DIFERENTES DOSES DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO

Tabela 1. Caracterização química do solo em pré-plantio da cultura	26
Tabela 2. Teores de nutrientes na folha de cana-de-açúcar, variedade RB92-579, coletada aos 145 dias após o plantio	31
Tabela 3. Critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano de Schwarz (BIC) das regressões múltiplas ajustadas de acordo com o procedimento de “backward” e coeficiente de determinação ajustado, para as variáveis biométricas, produtivas e de qualidade industrial da cana-de-açúcar var. RB92-579	32
Tabela 4. Regressões múltiplas justadas, erro padrão e significância para cada nutriente, em função da pureza, comprimento médio do entrenó (CME) e índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar var. RB 92-579	33
Tabela 5. Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), comprimento de colmo (CC), comprimento médio de entrenó (CME), diâmetro de colmo (DC) e índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar var. RB92-579 submetida a diferentes manejos de irrigação de salvamento (P. irrigação) e doses de zinco.....	34
Tabela 6. Resumo da análise de variância para tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de ponteiros por hectare (TPH), tonelada de açúcar por hectare (TAH), açúcares totais recuperáveis (ATR) e Brix da cana-de-açúcar, var. RB92-579 submetida a diferentes manejos de irrigação de salvamento (P. irrigação) e doses de zinco	37
CAPÍTULO II - DESEMPENHO DA CANA-DE-AÇÚCAR, VAR. SP80-1816, SOB DIFERENTES DOSES DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO	
Tabela 1. Caracterização química do solo em pré-plantio da cultura	51

Tabela 2. Teores de nutrientes na folha de cana-de-açúcar, variedade SP80-1816, coletada aos 145 dias após o plantio	56
Tabela 3. Critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano de Schwarz (BIC) das regressões múltiplas ajustadas de acordo com o procedimento de “backward” e coeficiente de determinação ajustado, para as variáveis biométricas, produtivas e de qualidade industrial da cana-de-açúcar var. SP80-1816	56
Tabela 4. Regressões múltiplas justadas, erro padrão e significância para cada nutriente, em função da pureza, comprimento médio do entrenó (CME) e índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar var. SP80-1816	57
Tabela 5. Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), comprimento de colmo (CC), comprimento médio de entrenó (CME), diâmetro de colmo (DC) e índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar var. SP80-1816 submetida a diferentes manejos de irrigação de salvamento (P. irrigação) e doses de zinco	59
Tabela 6. Resumo da análise de variância para tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de ponteiros por hectare (TPH), tonelada de açúcar por hectare (TAH), açúcares totais recuperáveis (ATR) e Brix da cana-de-açúcar, var. SP80-1816 submetida a diferentes manejos de irrigação de salvamento (P. irrigação) e doses de zinco	61

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I - DESEMPENHO DA CANA-DE-AÇÚCAR, VAR. RB92-579, SOB DIFERENTES DOSES DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO

Figura 1. Localização geográfica da área experimental no município de Ceres – GO15

Figura 2. Precipitação pluvial total, temperatura mínima e máxima do município de Itapaci-GO, próximo à área experimental, no período compreendido entre abril de 2018 e junho de 2019. Fonte: INMET28

Figura 3. Altura de planta (A), comprimento do colmo (B), diâmetro do colmo (C), comprimento médio de entrenós (D) e índice de área foliar (E) da cana-de-açúcar variedade RB92-579, em função de diferentes doses de zinco dentro de cada parcelamento de irrigação35

Figura 4. Brix da cana-de-açúcar variedade RB 92-579, em função de diferentes doses de zinco dentro de cada período de irrigação (A) e açúcares totais recuperáveis em função de diferentes doses de zinco (B)38

Figura 5. Distribuição das nuvens de fatores e duas componentes principais para as variáveis biométricas (A), produtivas (B) e nutrição foliar (C) da cana-de-açúcar, variedade RB 92-57939

Figura 6. Correlações de Pearson entre as variáveis biométricas e produtivas avaliadas na cana de açúcar var. RB92-57941

CAPÍTULO II - DESEMPENHO DA CANA-DE-AÇÚCAR, VAR. SP80-1816, SOB DIFERENTES DOSES DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO

Figura 1. Localização geográfica da área experimental no município de Ceres – GO50

Figura 2. Precipitação pluvial total, temperatura mínima e máxima do município de Itapaci-GO, próximo à área experimental, no período compreendido entre abril de 2018 e junho de 2019. Fonte: INMET52

Figura 3. Altura de planta da cana-de-açúcar em função de diferentes doses de Zn (A) e comprimento do colmo em função de diferentes doses de zinco dentro de cada período de irrigação (B) para a variedade SP80-1816	60
Figura 4. Tonelada de colmos por hectare (A) e açúcar (B) da cana-de-açúcar variedade SP 80-1816, em função de diferentes doses de zinco dentro de cada período de irrigação	62
Figura 5. Distribuição das nuvens de fatores e duas componentes principais para as variáveis biométricas (A), produtivas (B) e nutrição foliar (C) da cana-de-açúcar, variedade SP80-1816	64
Figura 6. Correlações de Pearson entre as variáveis biométricas e produtivas avaliadas na cana de açúcar var. SP80-1816	65

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIações E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado	Unidade de Medida
N	nitrogênio	g kg^{-1}
P	fósforo	g kg^{-1} e mg dm^{-3}
Ca	cálcio	g kg^{-1} e $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Mg	magnésio	g kg^{-1} e $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
K	potássio	g kg^{-1} e $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
S	enxofre	g kg^{-1} e $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Al	alumínio	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
H	hidrogênio	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Mo	molibdênio	mg kg^{-1} e mg dm^{-3}
B	boro	mg kg^{-1} e mg dm^{-3}
Cu	cobre	mg kg^{-1} e mg dm^{-3}
Mn	manganês	mg kg^{-1} e mg dm^{-3}
Zn	zinco	mg kg^{-1} e mg dm^{-3}
Fe	ferro	mg kg^{-1} e mg dm^{-3}
CTC	capacidade de troca catiônica	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
MO	matéria orgânica	%
pH	potencial de hidrogênio	-
P ₂ O ₅	pentóxido de Fósforo	kg ha^{-1}
K ₂ O	óxido de potássio	kg ha^{-1}
AIA	ácido indolilacético	-
PRNT	poder relativo de neutralização total	%
CUC	coeficiente de uniformidade de christiansen	%
PUI	período útil de industrialização	dias
CC	comprimento do colmo	cm
AP	altura de planta	cm

CME	comprimento médio de entrenós	cm
IAF	índice de área foliar	m ² m ²
AF	área foliar	cm ²
ATR	açúcar total recuperável	kg t de cana ⁻¹
TCH	tonelada de colmos por hectare	t ha ⁻¹
TPH	tonelada de ponteiros por hectare	t ha ⁻¹
TAH	tonelada de açúcar por hectare	t ha ⁻¹
PC	componentes principais	-
AIC	Critérios de informação de Akaike	-
BIC	Critérios de informação Bayesiano de Schwarz	-
PZA	pureza do caldo da cana-de-açúcar	-
AR	açúcares redutores	-

RESUMO

BASTOS, ALEFE VIANA SOUZA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, julho de 2021. **Manejo de zinco e irrigação de salvamento em variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Cerrado.** Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira. Coorientadores: Dra. Eloiza da Silva Nunes e Dr. Edson Cabral da Silva.

O manejo da adubação com o micronutriente zinco na cana-de-açúcar vem sendo atualizado no Brasil, com tendências para aumentar as doses que são aplicadas atualmente. Para a região de Cerrado ainda não houve atualizações oficiais nos boletins ou manuais de adubação, tornando necessários estudos relativos ao manejo do zinco em diferentes ambientes de produção, variedades e ciclos. Neste sentido, o objetivo do estudo foi avaliar o desempenho vegetativo e produtivo, assim, como a qualidade tecnológica de duas variedades de cana-de-açúcar (RB92-579 e a SP80-1816), ambas em ciclo de cana-planta, cultivadas com ou sem parcelamento da irrigação e diferentes doses de zinco. O estudo foi realizado em área comercial num Latossolo Vermelho eutrófico de Cerrado. Para cada variedade foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com três repetições e analisado em esquema de parcela subdividida 2x4, com três repetições. As parcelas compreenderam dois manejos de irrigação de salvamento, com parcelamento (30 + 30 mm) e sem parcelamento (60 mm) associadas a quatro doses de zinco (0, 5, 10 e 15 kg ha⁻¹), na forma de sulfato de zinco. A variedade RB92-579 respondeu positivamente ao parcelamento da irrigação com incrementos na produtividade de colmos de 44 t ha⁻¹, além de 42,7% na produção de açúcar, já a SP80-1816 não respondeu ao manejo da irrigação. As doses de zinco proporcionaram baixa expressão em ambas as variedades possivelmente pelos bons teores iniciais do nutriente no solo, embora doses entre 5-10 kg

ha⁻¹ promoveram bons resultados quanto ao desempenho biométrico e ATR da RB92-579 quando associado ao manejo de parcelamento da irrigação.

PAVAVRAS-CHAVE: cana-planta, nutrição de plantas, sulfato de zinco, SP80-1816, RB92-579, *Sacharum* spp.

ABSTRACT

BASTOS, ALEFE VIANA SOUZA. Federal Institute Goiano – Campus Rio Verde – GO, July 2021. **Zinc fertilization on irrigated sugarcane, cultivated in Cerrado Oxisol.** Advisor: DSc. Marconi Batista Teixeira. Co-advisor: DSc. Eloiza da Silva Nunes and DSc. Edson Cabral da Silva.

The fertilization management with the micronutrient zinc in sugarcane has been updated in Brazil, with tendencies to increase the doses that are currently applied. For the Cerrado region there are still no current and official recommendations, which turns necessary to study this fertilization in different environments, varieties and cycles. In this sense, the study aimed to evaluate the sugarcane performance in two varieties, RB92-579 and SP80-1816, both in plant-cane cycle, cultivated under different irrigation management and zinc fertilization. The study was carried out in a commercial area in a Cerrado Oxisol. For each variety, a randomized block design with three replications was used and analyzed in a 2x4 split plot scheme, where the plots comprised two rescue irrigation managements, with split (30 + 30 mm) and no split (60 mm) associated four zinc doses (0, 5, 10 and 15 kg ha⁻¹). Variety RB92-579 responded positively to irrigation splitting with increases in stalk yield of 44 t ha⁻¹, in addition to 42.7% in sugar yield, while SP80-1816 did not respond to irrigation management. Zinc doses had low expression in both varieties possibly due to the high initial contents in the soil, although doses between 5-10 kg ha⁻¹ promoted good results regarding biometric performance and ATR of RB92-579 when associated with the management of irrigation split.

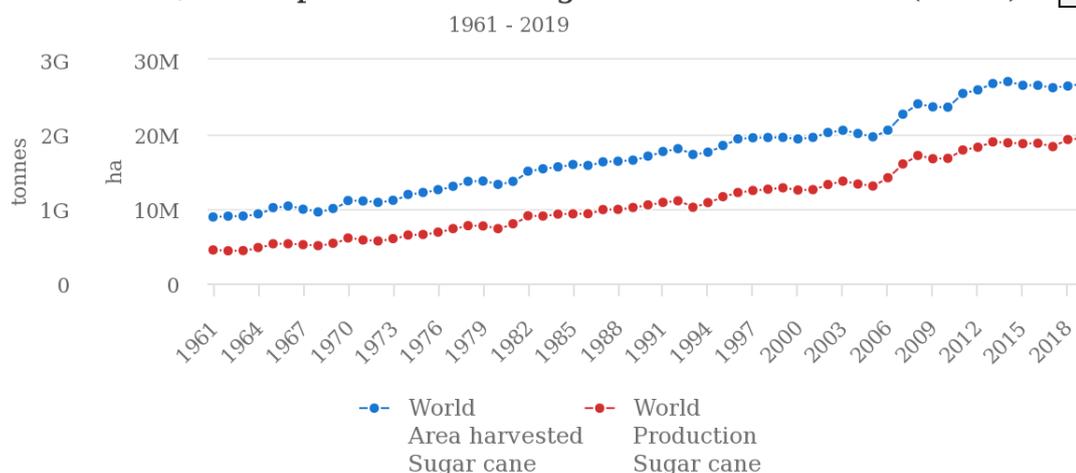
KEY WORDS: plant cane, plant nutrition, SP80-1816, RB92-579, *Sacharum* spp.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e seus derivados, açúcar e álcool, e, levantamento da Conab (2021), descreve que na safra 2020/2021 a área colhida com esta cultura foi de 8,62 milhões de hectares, com produção de 654,53 milhões de toneladas. O estado de Goiás é o segundo maior produtor do país, responsável por 11,31% de toda a produção nacional. Comparada à safra anterior, 2019/2020, houve incrementos de 3,0% de área plantada para o estado de Goiás e 2,1% para o Brasil, demonstrando que o cultivo de cana-de-açúcar está aumentando, principalmente para áreas marginais, onde a fertilidade natural dos solos e a disponibilidade hídrica na entressafra são mais baixas.

O último levantamento completo da FAO é de 2019, e demonstra que a produção mundial de cana-de-açúcar é de 1,95 bilhão de toneladas (Figura 1), e o Brasil é o maior produtor, responsável por 38,62% de toda produção, enquanto a Índia é o segundo maior, responsável por 20,80% da produção mundial (Figura 2). Ainda, destacando que tanto a área plantada, quanto a produção vêm crescendo, reforçando a importância do seu cultivo.

Production/Yield quantities of Sugar cane in World + (Total) A



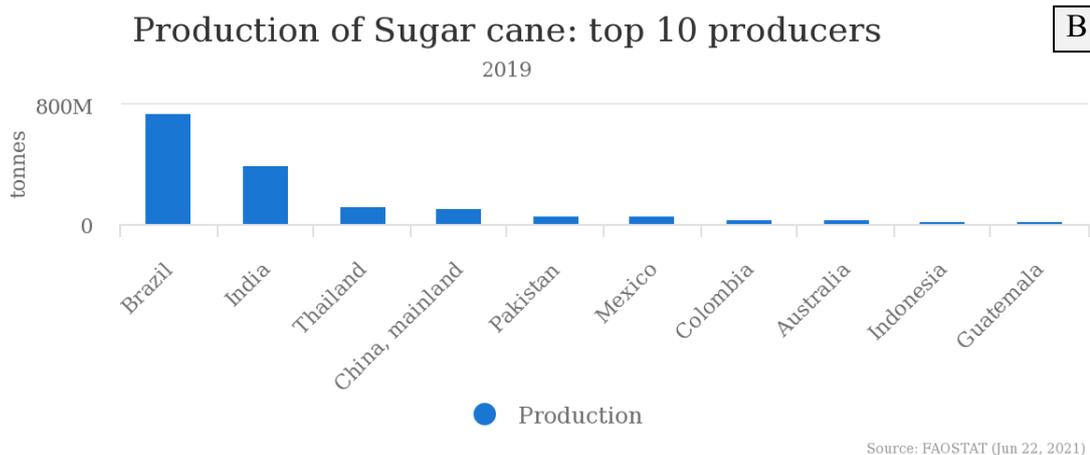


Figura 2. Evolução de área colhida e produção de cana-de-açúcar mundial entre 1961 e 2019 (A); produção de cana-de-açúcar nos top 10 produtores mundiais para o ano de 2019 (B). Fonte: FAO, 2021.

Na atualidade, as variedades de cana-de-açúcar plantadas no Brasil se mostram potencialmente mais produtivas do que as cultivadas em décadas passadas, apresentando necessidades nutricionais alteradas em relação às avaliações feitas há mais de 30 anos e que se constituem, ainda hoje, a base para a elaboração de recomendações de adubações da cultura, mesmo tempo, a expansão da cultura canavieira no país, geralmente para solos de baixa fertilidade natural e com restrições hídricas acentuadas, em algumas épocas do ano, é de fundamental importância manter níveis adequados de nutrientes no solo e manejo correto da irrigação, a fim de sustentar produções econômicas, assim como a longevidade de soqueiras. Portanto, há necessidade de reavaliações das exigências nutricionais da cana-de-açúcar cultivada atualmente, assim, como de doses de nutrientes nas adubações, pelas informações expostas somada a intensificação da mecanização dos canaviais, uso da irrigação e fertirrigação, plantio mecanizado de gemas e plântulas, e a colheita sem despalha a fogo (cana crua). Também se faz necessário a avaliação em mais de uma variedade, respostas distintas são encontradas em decorrência do material genético cultivado.

Em áreas de Cerrado, as deficiências mais comuns de micronutrientes são boro, cobre e zinco (Zn). De acordo com um Sillanpää, (1990), o teor de zinco em solos das regiões brasileiras é altamente variável, cobrindo ampla gama de valores de alto a baixo, que pode levar à deficiência de zinco em importantes culturas cultivadas como por exemplo a cana-de-açúcar. O aumento do uso de fertilizantes contendo nitrogênio, fósforo e potássio desprovidos de micronutrientes sem dúvida aumentou a produção de alimentos,

mas trouxe uma série de problemas relacionados à deficiência de micronutrientes, dos quais a deficiência de zinco é a mais predominante (Deshmukh et al., 2019).

Contudo, para a região de Cerrado, a atual recomendação de Zn é de 6 kg ha⁻¹ (Sousa & Lobato, 2004) quando os níveis no solo estiverem baixo (<1 mg dm⁻³). Entretanto, estudos recentes desenvolvidos pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC) sugerem quase o dobro (10 kg ha⁻¹) da dose de Zn recomendada na adubação do plantio da cana-de-açúcar, em solos com teores baixo (Mellis et al., 2014). Wang et al. (2005), por exemplo, estudaram diferentes doses de Zn, até 34 kg ha⁻¹ na cana-de-açúcar, em dois tipos de solos com baixa disponibilidade Zn, um solo com baixo pH e outro corrigido, observaram aumento significativo de 24,8% na produtividade da cana em relação ao tratamento controle, com aplicação de 4,4 e 8,9 kg ha⁻¹ de Zn, respectivamente.

O zinco é um nutriente que afeta diretamente o perfilhamento e o crescimento da planta, os quais são dois fatores fundamentais à produtividade da cana-de-açúcar, assim como à longevidade das soqueiras. No metabolismo da planta, o Zn é essencial para a síntese de triptofano, que é precursor do ácido indolilacético (AIA), que irá formar e ativar as enzimas responsáveis pelo alongamento e crescimento celular. Contudo, a cana-de-açúcar pode apresentar, com frequência, a chamada “fome oculta”, situação em que não aparecem os sintomas de deficiência visuais, mas, os níveis são insuficientes, limitando economicamente a produtividade da cultura (Orlando Filho et al., 2001).

Alguns critérios como históricos da área, análise de solo, diagnose foliar e diagnose visual podem ser levados em consideração para efetuar adequada recomendação de micronutrientes. De acordo com Sousa & Lobato (2004), às doses dos fertilizantes utilizados para fornecer micronutrientes devem ser cuidadosamente estabelecidas, pois o limite entre deficiência e toxidez é muito estreito, de modo que o fornecimento dos micronutrientes às plantas pode ser realizado de quatro formas: via solo, via toletes, via herbicida e via foliar.

De acordo com Mellis et al. (2016) a adubação com micronutrientes na cana-de-açúcar não é comum, mas pode afetar os rendimentos da cultura, além de serem escassos os estudos com essa modalidade de adubação. Os autores avaliaram a resposta da cana-de-açúcar adubadas com Zn, Mo, Mn, Cu e B em 11 locais diferentes e constataram que o micronutriente que mais incrementou os rendimentos da cultura foi o Zn, evidenciando a sua grande relevância para a cultura.

Além da nutrição, outro fator abiótico que deve ser destacado é a deficiência hídrica, por ser comum em canaviais e causar efeitos nocivos ao desenvolvimento das

plantas, principalmente através da redução da expansão celular (Rhein et al., 2016). Em Goiás, o regime pluviométrico é caracterizado pela irregularidade na distribuição das chuvas, com um verão chuvoso (outubro a abril) e um inverno seco (maio a setembro). Há necessidade, portanto, da irrigação, para maior segurança hídrica de produção, de modo que os manejos da irrigação na cana-de-açúcar podem ser divididos em irrigação (i) plena ou total, e praticamente 100% da necessidade da cultura deve ser fornecida via irrigação, sendo fornecido em média 400 a 750 mm de água; (ii) irrigação suplementar ou complementar, em que se aplica em média 50% da necessidade hídrica da via irrigação, que varia entre 180 e 300 mm de água; e (iii) irrigação de salvamento, que consiste na aplicação de uma lâmina de 30 a 80 mm de água após o plantio ou cada corte anual (Pereira, 2015; Santiago et al., 2018; Collicchio et al., 2019).

A irrigação de salvamento é o manejo mais utilizados entre os produtores de cana-de-açúcar no Brasil e estudos hidrológicos recentes indicam que o Brasil possui grande disponibilidade hídrica e explora apenas 10% do seu potencial de áreas aptas para o uso de irrigação, e boa parte delas se encontram em Goiás. De acordo com Ferreira et al. (2020), a irrigação de salvamento pode ser realizada por todos os métodos de irrigação. Porém, há predominância dos sistemas via aspersão, utilizando o sistema de carretel enrolador (autopropelido) com canhão hidráulico. Este sistema de irrigação é preferencialmente utilizado nas usinas pelo baixo custo de implantação e simples operação e manutenção, além da disponibilidade de mão de obra treinada e capacitada para operá-lo.

Assim, em cultivos com emprego da irrigação e em áreas de alto potencial produtivo, postula-se que possa haver resposta ao zinco em doses mais elevadas, além das recomendações deste nutriente serem realizadas com informações adquiridas há muitos anos, e pode estar subestimando as necessidade e produtividade das variedades mais modernas de cana-de-açúcar cultivadas na atualidade.

OBJETIVOS

Geral

Avaliar o desempenho vegetativo e produtivo, assim como os atributos tecnológicos de duas variedades de cana-de-açúcar (RB92-579 e a SP80-1816), cultivadas sob diferentes níveis de zinco e com e sem o parcelamento da irrigação de salvamento em região de Cerrado, para gerar informações que servirão de base em recomendações mais atuais de adubação na cultura da cana-de-açúcar.

Específicos

I. Definir as doses ótimas de Zn em cana-de-açúcar (cana-planta) irrigada, para a máxima produtividade de colmos, açúcar e demais atributos industriais, em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado;

II. Avaliar o status nutricional (macronutrientes e micronutrientes) da cana-de-açúcar para definir os melhores manejos de irrigação e adubação com zinco;

III. Estabelecer, por variedade da cana-de-açúcar, se há diferentes respostas ao manejo da irrigação de salvamento com ou sem parcelamento, e adubação com zinco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COLLICCHIO E., LOPES R.B.S., DE PÁDUA MARCOLINI, M. Analysis of the possible effects of climate change on the cultivation of sugarcane and Eucalyptus in the Tocantins state. *Journal of bioenergy and food science*, v.6, n.1, p.1-17, 2019.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB - Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Primeiro levantamento 2021/2022. Brasília: CONAB v.8, 2021.
- DESHMUKH D.P., NAVALE A.M., DEOKAR C.D. Influence of Zinc Solubilising Consortiums on Yield Parameters of Suru Sugarcane. v.8, n.1, p. 2319-1473, 2019.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAOSTAT Online Database* (disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>, Acesso em junho de 2021).
- FERREIRA T.S., DA CUNHA F.F., FERREIRA L.B., COSTA F.M., DA SILVA NETO, E. (2020). Desenvolvimento inicial da cana-soca sob lâminas de irrigação de salvamento. *Agrarian*, v. 13, n.50, 493-503, 2020.
- MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A.; TEIXEIRA, L. A. J.; VIEIRA, R.C. Effect of rates and sources of zinc in sugarcane. In: WORD FERTILIZER CONGRESS OF CIEC, 16., 2014, Rio de Janeiro. Proceedings... Rio de Janeiro: CIEC, 2014.
- MELLIS E.V., QUAGGIO J.A., BECARI G.R.G., TEIXEIRA L.A.J., CANTARELLA H., DIAS F.L.F. Effect of micronutrients soil supplementation on sugarcane in different production environments: Cane plant cycle. *Agronomy Journal*, v. 108, n. 5, 2060-2070, 2016.
- ORLANDO FILHO J., ROSSETO R., CASAGRANDE A.A. Cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M. E. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, v.1, p.355-373, 2001.

PEREIRA R.M., JÚNIOR J.A., CASAROLI D., SALES D.L., RODRIGUE, W.D.M., SOUZA J.M.F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. *Irriga*, v. 1, n. 2, p. 149, 2015.

RHEIN A.F., PINCELLI R.P., ARANTES M.T., DELLABIGLIA W.J., KÖLLN O.T., SILVA, M.D.A. Technological quality and yield of sugarcane grown under nitrogen doses via subsurface drip fertigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 3, p.209-214, 2016.

SANTIAGO A.D., CHICO D., DE ANDRADE JÚNIOR A.S., GARRIDO A., CARNAUBA,P.J.P. Pegada hídrica da cana-de-açúcar e etanol produzidos no estado de Alagoas, Brasil. *Agrometeoros*, v. 25, n. 1, 2018.

SILLANPÄÄ, M., 1990. Micronutrient Assessment at the Country Level: An International Study. *FAO Soils Bulletin No. 63*, FAO, Rome.

SOUSA D.M.G., LOBATO E. Cerrado: Correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004, 416p.

WANG J.J., KENNEDY C.W, VIATOR H.P., ARCENEUX A.E., GUIDRY, A.J. Zinc fertilization of sugarcane in acid and calcareous soils. *J. Am. Soc. of Sugarcane Technol.* v.24, p. 49-61, 2005.

CAPÍTULO I – MANEJO DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO EM CANA-DE-AÇÚCAR (VAR. RB92-579) CULTIVADA NO CERRADO

(Normas de acordo com a revista Sugar Tech)

Resumo: a cana-de-açúcar possui variedades com diferentes ciclos, exigências nutricionais e hídricas, que para uma cultura de ciclo semi-perene é de extrema importância para o correto posicionamento. Neste sentido, o objetivo do estudo foi avaliar o desempenho vegetativo e produtivo, assim como a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar var. RB92-579 (cana-planta) cultivada sob diferentes manejos de irrigação e adubação com zinco. O estudo foi realizado em área comercial num Latossolo Vermelho eutrófico de Cerrado. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com três repetições e analisado em esquema de parcela subdividida 2x4, em que as parcelas compreenderam dois de manejos de irrigação de salvamento, com parcelamento (30 + 30 mm) e sem parcelamento (60 mm) e quatro doses de zinco (0, 5, 10 e 15 kg ha⁻¹). Os rendimentos da cultura não foram influenciados pelas doses de Zn, embora níveis entre 5-10 kg ha⁻¹ tenha promovido bons incrementos no desenvolvimento biométrico quando houve o parcelamento da irrigação. O manejo da irrigação de forma parcelada incrementou a produtividade de colmos em 44 t ha⁻¹, além de 42,7% de incremento na produção de açúcar. Os teores foliares de nutrientes foram eficientes em estimar a pureza do caldo, o comprimento médio do entrenó e o índice de área foliar.

Palavras-chave: cana-planta, Cerrado, Latossolo, nutrição de plantas, *Sacharum* spp.

SUGAR CANE, VAR. RB92-579, PERFORMANCE UNDER DIFFERENT ZINC DOSES AND RESCUE IRRIGATION

Abstract: sugarcane has varieties with different cycles, nutritional and water requirements, which for a semi-perennial cycle crop is extremely important for correct positioning. In this sense, the objective of the study was to evaluate the vegetative and productive performance, as well as the technological quality of sugarcane var. RB92-579 (plant cane) cultivated under different irrigation and zinc fertilization managements. The study was carried out in a commercial area in a Cerrado Oxisol. A randomized block design with three replications was used and analyzed in a 2x4 split plot scheme, where the plots comprised two rescue irrigation managements, with split (30 + 30 mm) and no split (60 mm) and four zinc doses (0, 5, 10 and 15 kg ha⁻¹). Crop yields were not influenced by Zn doses, although levels between 5-10 kg ha⁻¹ promoted good increases in biometric development when irrigation was split. Irrigation split management increased stalk yield by 44 t ha⁻¹, in addition to a 42.7% increase in sugar yield. Leaf nutrient contents were efficient in estimating juice purity, average internode length and leaf area index.

Key words: plant cane, Cerrado, oxisol, plant nutrition, *Sacharum* spp.

Introdução

A demanda pela produção da cana-de-açúcar cresceu muito na última década devido ao seu uso na produção de etanol como combustível renovável e na cogeração de eletricidade a partir de biomassa residual. No Brasil, a cana-de-açúcar se concentra nas regiões em que o cultivo se sustenta em áreas de sequeiro ou “irrigação de salvamento” na época do plantio ou após a colheita; mas produtores têm estendido a cultura para outras regiões do país buscando a redução do custo da terra, que tem sujeitado a cultura à instabilidade climática (Santos et al., 2019). Evidencia-se que o déficit hídrico nas primeiras fases pode acarretar o comprometimento do desenvolvimento do sistema radicular e baixo perfilhamento, resultando, portanto, em baixo aproveitamento da água e dos nutrientes disponíveis nos períodos posteriores (Mauri et al., 2017). Uma das alternativas para mitigar os prejuízos do déficit hídrico é a utilização da irrigação, que na cana-de-açúcar é usualmente empregada a irrigação de salvamento, ocorrendo normalmente por aspersão mecanizada, cujo os volumes de água variam entre 30 e 80 mm, podendo ser aplicado em uma única vez, ou parcelada em duas (Santiago et al., 2018; Ferreira et al., 2020).

A maioria dos estudos de irrigação em cana-de-açúcar visam identificar os melhores volumes de água a serem aplicados, com pesquisas direcionadas para estudar lâminas de aplicação (Andrade Júnior et al., 2017; Ohashi et al., 2020; Mendonça et al., 2020). Entretanto, o parcelamento da irrigação ainda possui muitas lacunas que devem ser melhor estudadas, para garantir as melhores épocas de aplicação na cultura. Diante desses desafios, é importante caracterizar o desempenho da cultura em áreas irrigadas quanto ao manejo nutricional, tendo em vista que além da instabilidade climática nesses ambientes, há grande variação na fertilidade do solo, que reflete significativamente nas produtividades das culturas, tendo em vista que os rendimentos são inteiramente dependentes da fertilidade do solo (Tsufac et al., 2021), ou das adubações que mantêm a fertilidade em níveis ideais.

Relacionado a nutrição da cana-de-açúcar, pode-se destacar micronutriente zinco, pois Cunha et al. (2019) relatam que a maioria das deficiências nutricionais com micronutrientes no Brasil resulta da falta do zinco e que o crescimento e o desenvolvimento das lavouras são prejudicados em solos pobres em zinco e nitrogênio, o que limita a produção, resultando na deterioração da qualidade da matéria-prima para a indústria açucareira. A deficiência deste nutriente na cana-de-açúcar pode ocasionar redução do perfilhamento, internódios mais curtos e colmos mais finos (Malavolta et al.,

1997), e uma ampla variedade de processos bioquímicos que têm efeito no crescimento, desenvolvimento e reprodução, estando presente em quase todas as características do metabolismo celular vegetal (Mangrio et al., 2020). O Zn é o segundo metal de transição mais abundante em organismos vivos, tem funções importantes na atividade enzimática, fatores de transcrição e serve como cofator em mais de 300 proteínas (Palmgren et al., 2008). Navarrete et al. (2016) citam que devido ao grande potencial que o zinco possui em aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, a aplicação deste nutriente em solos de todo o mundo deve ser estudada.

Neste sentido, objetivou-se avaliar o desempenho da cana-de-açúcar, variedade RB92-579 cultivada com e sem parcelamento da irrigação de salvamento, associada a doses de Zn, a fim de gerar informações para auxiliar nas recomendações de adubações na região do Cerrado brasileiro e garantir usos mais eficientes de água.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental da Usina CRV Industrial de Carmo do Rio Verde – GO, em parceria com o Instituto Federal Goiano – Campus Ceres. As coordenadas geográficas do local de instalação são 15°20'41,2" S e 49°36'25,1" W, com altitude média de 586 m ao nível do mar (Figura 1). O clima da região é classificado conforme Köppen & Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro (Kottek et al., 2006). A temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais.

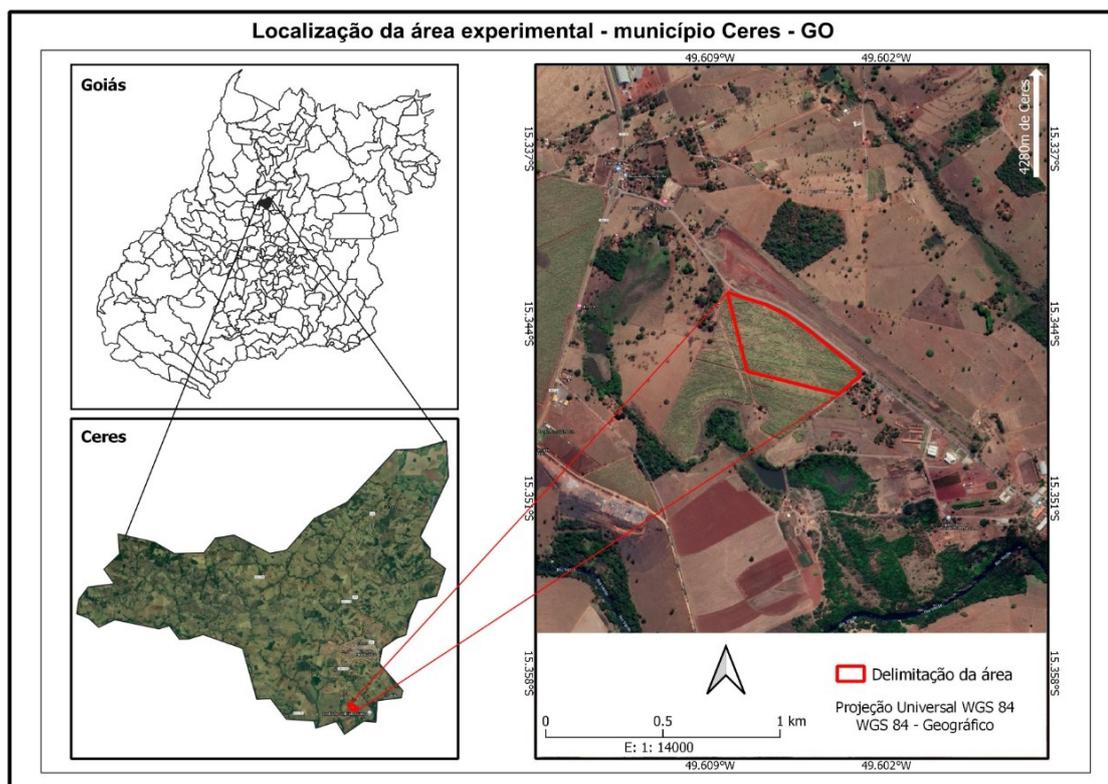


Figura 1. Localização geográfica da área experimental no município de Ceres – GO.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, fase cerrado (Santos et al., 2018), com 35% de areia, 17% de silte e 48% de argila. Antes da instalação do experimento, foram realizadas amostragens do solo, nas camadas de 0 – 20 e 20 – 40 cm, para a caracterização química, analisadas conforme metodologias descritas por Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Caracterização química do solo em pré-plantio da cultura.

Camada (cm)	pH CaCl ₂	MO (%)	CTC cmol _c dm ⁻³	Al dm ⁻³	V %	P-meh mg dm ⁻³	K ---- cmol _c dm ⁻³ ----	Ca	Mg	Zn
0-20	5,3	1,8	7,15	0	65,0	5,0	0,15	3,1	1,4	3,9
20-40	5,5	1,6	6,02	0	73,4	3,7	0,12	3,0	1,3	2,8

O experimento foi realizado e cana-planta, instalado com sistema de plantio convencional, sendo realizado duas gradagens pesadas para destruição de soqueiras anteriores (reforma), seguidas de subsolagem. Após a primeira gradagem, foi realizada a aplicação de 3 t ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT 95% e 1,13 t ha⁻¹ de gesso agrícola. A adubação foi em pré-plantio, e forneceu 25 kg ha⁻¹ de N, 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 125 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de formulado (05-25-25), sendo que não houve adubação de

micronutrientes previamente. O sulcamento foi realizado a 25 cm de profundidade na véspera do plantio, sendo semimecanizado com distribuição dos toletes (plantio) em abril de 2018, com densidade média de 18 gemas por metro linear de sulco.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições, analisado em esquema de parcela subdividida 2x4. Os tratamentos compreenderam a combinação de dois parcelamentos de irrigação de salvamento (60 mm e 30 + 30 mm) e quatro doses de zinco (0, 5, 10 e 15 kg ha⁻¹), na forma de sulfato de zinco. As parcelas foram constituídas por seis linhas de cana-de-açúcar de 5 m de comprimento, espaçadas a 1,50 m entre si, constituindo 45 m² por parcela. A área útil da parcela abrangeu as quatro linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 0,5 m em cada extremidade.

A irrigação foi realizada via carretel de aspersão da marca IrrigaBrasil, modelo GSV/350, com Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) médio de 67,27%. As irrigações da lâmina de 60 mm e 50% da Lâmina parcelada, ou seja, 30 mm, foram realizadas aos 50 dias após o plantio (DAP); enquanto os 30mm restantes da lâmina parcelada foram aplicados aos 150 DAP. As adubações com Zn foram realizadas de forma manual sob a linha da cana-de-açúcar, logo após emergência da cultura. A variedade utilizada foi a RB92-579, que de acordo com a Ridesa (2010) tem como principais características: ótimo perfilhamento, bom fechamento da entrelinha, ótima brotação das soqueiras, porte semiereto, com ótima colheitabilidade, boa recuperação, após períodos de seca, altamente responsiva à irrigação e muito eficiente no uso da água, alta eficiência no uso dos principais nutrientes, ótimo teor de sacarose, maturação média com PUI longo, recomendada para colheita do meio para o final de safra, florescimento baixo, tolerante em relação ao ataque da broca comum, resistente a ferrugem marrom e escaldadura das folhas e moderadamente resistente ao carvão.

A precipitação pluvial total durante o ciclo da cultura foi de 1234,6 mm com temperatura média de 24,9°C. A cultura passou por 165 dias sem chuva significativa, com o acumulado de apenas 25,6 mm, que compreendeu a data de 14 de abril de 2018 a 29 de setembro de 2018, e, também representa o ciclo entre 0 e 174 dias (Figura 2).

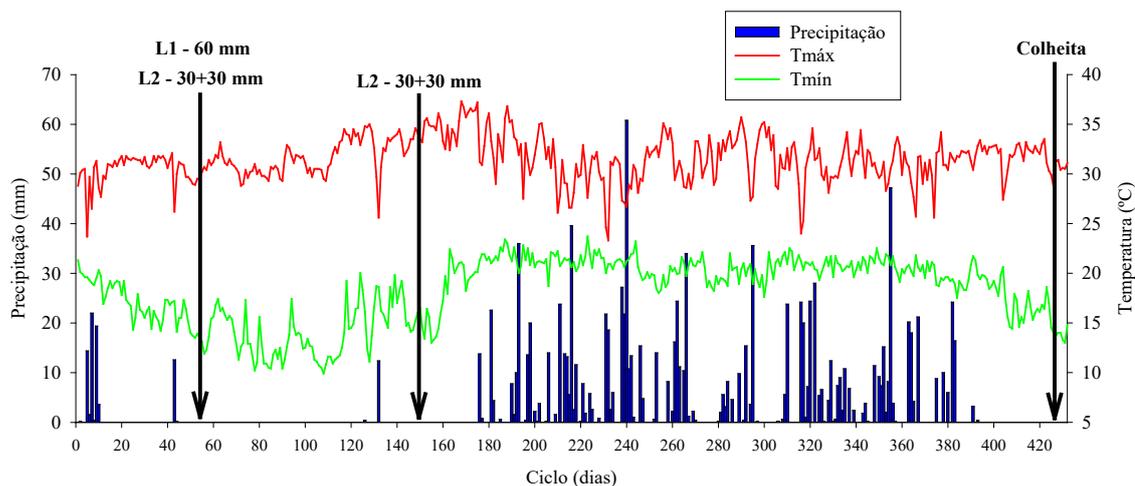


Figura 2. Precipitação pluvial total, temperatura mínima e máxima do município de Itapaci-GO, próximo à área experimental, no período compreendido entre abril de 2018 e junho de 2019. Fonte: INMET

Aos 198 DAP foi determinado o estado nutricional da planta, sendo determinados na folha +3 coletadas, conforme recomendação de Oliveira et al. (2007), em que se determinou N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn. No momento da colheita foram determinadas as seguintes variáveis: altura de planta (AP) em cm, sendo determinada com auxílio de fita métrica, da superfície do solo até a barbeta ou aurícula da folha +1, conforme numerada pelo sistema Kuijper; comprimento do colmo (CC) em cm, determinado com fita métrica, da superfície do solo até o último nó desenvolvido; comprimento médio de entrenós (CME) em cm, determinado pela relação entre CC e número de entrenós; diâmetro do colmo (DC) em mm, determinado através de paquímetro digital no segundo colmo da planta (entre o segundo e terceiro entrenó); índice de área foliar (IAF) em $m^2 m^{-2}$, determinado através da equação 1.

$$IAF = \frac{AF}{AS} \quad (1)$$

Em que:

IAF: índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$);

AF: área foliar total da planta (cm^2).

AS: área do solo (m^2), determinado pela relação entre o espaçamento entre linhas de plantio (m) e número de plantas por m.

A área foliar total da planta (AF) foi determinada através da equação 2, conforme descrita por Iaia (2014).

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

Em que:

AF: área foliar total da planta (cm²);

C: comprimento da folha avaliada (+3);

L: maior largura da folha avaliada (+3);

0,75: fator de correção para a forma da lâmina foliar;

N: número de folhas totalmente abertas e com pelo menos 20% de área verde, considerando da folha zero até a folha +7;

2: fator de correção para folhas do palmito.

Por ocasião da colheita, a produtividade de colmos (Toneladas de Colmos por Hectare - TCH) e ponteiro (TPH) foi determinada através da pesagem total dos colmos e ponteiros presentes na área útil das parcelas, cujo valores foram extrapolados para (t ha⁻¹). As determinações foram obtidas em balança digital tipo gancho, marca Soil Control (precisão = 0,02 kg), com capacidade de 50 kg. Após a pesagem, foi realizada uma subamostragem aleatória de dez colmos de cana-de-açúcar de cada parcela, e encaminhados ao Laboratório da própria Usina CRV Industrial, e foram determinados os atributos Brix % e açúcar total recuperável (ATR), conforme sistema Consecana (2003). Com os dados acima foram determinados a produção de açúcar, através da TAH (tonelada de açúcar por hectare), conforme equação 3.

$$TAH = \frac{TCH \times ATR}{1000} \quad (3)$$

Em que:

TAH: tonelada de açúcar por hectare (t ha⁻¹);

TCH: tonelada de colmos por hectare (t ha⁻¹);

ATR: açúcares totais recuperáveis (kg t⁻¹)

Os dados das variáveis resposta foram submetidos à análise de distribuição normal dos dados (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade de variância (Levene), após

atenderem os pressupostos dos testes foi aplicado o teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade. Em função da significância das variáveis quantitativas, foram ajustadas equações de regressão de primeiro e segundo grau, considerando as respectivas doses de zinco. Para o parcelamento das lâminas de irrigação foi aplicado o teste de tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares R Core Team (2017) e SigmaPlot 11.0.

Foi realizada análise de regressão múltipla para o status nutricional da cultura, sendo utilizado o procedimento de “backward”, que avalia todas as variáveis dentro de uma regressão, excluindo automaticamente aquelas que, para determinado modelo, não foram significativas pelo teste t de student e não promoveram melhoria do coeficiente de determinação ajustado, mantendo somente as variáveis explicativas que de fato colaboram com a qualidade final dos ajustes.

Como indicadores complementares e discriminatórios foram utilizados os critérios de Akaike (AIC) e Bayesiano de Schwarz (BIC), representados pelas Equações 5 e 6, respectivamente. De forma que, quanto menor os valores encontrados, melhores são os ajustes dos modelos utilizados no estudo.

$$AIC = -2\log L + 2(p) \quad (4)$$

$$BIC = -2\log L + p\log(N - r) \quad (5)$$

Em que:

p – números de parâmetros do modelo a serem estimados;

N – número total de observações;

r – posto da matriz X (matriz de incidência para os efeitos fixos); e

L – estimador de máxima verossimilhança da variância do erro.

O coeficiente de determinação (R^2) utilizado para os modelos foi o ajustado, devido não ser superestimado pelo grande número de variáveis empregadas na regressão.

Com a finalidade de identificar quais as variáveis mais importantes para os fatores estudados, utilizou-se análise multivariada através da técnica de componentes principais (PCA), técnica essa que procura encontrar novo conjunto de variáveis que retenham o máximo de variância, através de uma combinação linear dos dados originais (Wilks 1995). Na aplicação da PCA, foi utilizada a equação 6 para a padronização dos dados, assim toda série obteve a mesma grandeza de valores.

$$Z_i = \frac{(X_i - \bar{X}_i)}{\sigma_{ii}} \quad (6)$$

Em que:

Z_i = valor padronizado;

X_i = valor original i ;

\bar{X}_{ii} = média dos valores i ;

σ_{ii} = desvio padrão dos valores i .

Resultados e discussão

Ao analisar o status nutricional da cana-de-açúcar sob os diferentes parcelamentos de irrigação, percebe-se que o Ca alcançou maiores valores quando não houve parcelamento enquanto o Mn obteve comportamento inverso, e os demais nutrientes não foram influenciados por este fator. Quanto as doses de Zn, houve incremento linear nos teores foliares de K e diminuição dos teores de Ca com aumento da dose aplicada, já para o Cu e Mn os maiores valores foram observados nas doses estimadas de 7,33 e 6,4 kg ha⁻¹ de Zn (Tabela 2). Comparando-se as faixas ideais de nutrientes nas folhas de cana-de-açúcar estabelecidas por Malavolta et al. (1997), o K, Cu e Mn foram os únicos nutrientes com teores acima do limite inferior estabelecido, demonstrando que houve diferentes limitações nutricionais na cultura. Ainda, ressalta-se que o único tratamento que obteve faixa ideal de Zn foi com a utilização da dose de 5 kg ha⁻¹, enquanto as doses superiores não incrementaram esses níveis, e pode ser associado a um equilíbrio entre os demais nutrientes que deve ser buscado, tendo em vista que a deficiência de um pode acarretar a de outro. Neste sentido, pode-se dizer que qualquer resposta esperada por determinada cultura a alguma adubação, deve estar associada aos níveis adequados dos demais nutrientes.

Tabela 2. Teores de nutrientes na folha de cana-de-açúcar, variedade RB92-579, coletada aos 145 dias após o plantio.

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----				

P. irrigação	60	16,0	1,6	14,8	5,4 a	1,3	1,7	13,6 a	9,7	91,2 b	23,0
	30+30	15,0	1,6	16,4	3,8 b	1,4	2,1	12,2 b	10,2	157,1 a	16,7
		N	P	¹ K	¹ Ca	Mg	S	B	² Cu	² Mn	Zn
		----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----			
Dose de zinco	0	15,1	1,6	14,3	5,0	1,5	1,8	13,2	10,7	127,0	19,0
	5	16,0	1,8	15,2	4,8	1,5	2,0	13,0	9,2	114,3	28,5
	10	15,4	1,4	16,1	4,5	1,2	1,6	12,2	9,3	117,9	15,5
	15	15,5	1,7	17,0	4,3	1,3	2,2	13,2	10,8	137,5	16,5

*Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade; ²Valores estimados de acordo com equação de segundo grau; ¹Valores estimados de acordo com equação de primeiro grau; Destaque em vermelho para teores considerados como baixo na cana-planta de acordo com Malavolta et al. (1997).

Marangoni et al. (2019), também explicam que o não incremento de Zn nas folhas, mesmo com aumento da adubação pode estar associado ao melhor crescimento da cana-de-açúcar em parcelas tratadas com Zn, causando uma diluição deste nutriente nas plantas. Na Figura 3, observa-se que o Zn proporcionou aumento na altura de planta, no comprimento do colmo e no comprimento médio dos entrenós, assim, essa afirmação também pode explicar o resultado encontrado.

Na Tabela 3, pode-se notar os menores valores para critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano de Schwarz (BIC) alcançados de acordo com o método “backward” de seleção de modelos e seus respectivos coeficientes de determinação ajustados. Para melhor representação das estimativas, foram selecionados modelos com pelo menos 0,60 de R². Portanto, das variáveis estudadas, apenas a pureza, o comprimento médio dos entrenós e o índice de área foliar foram bem estimados pelos teores de nutrientes foliares.

Tabela 3. Critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano de Schwarz (BIC) das regressões múltiplas ajustadas de acordo com o procedimento de “backward” e coeficiente de determinação ajustado, para as variáveis biométricas, produtivas e de qualidade industrial da cana-de-açúcar var. RB92-579.

	GL	AIC	BIC	R ² - Ajustado
TCH	7	226,28	234,53	0,5312
TPH	5	155,41	161,30	0,3236
BRIX	5	58,64	64,53	0,2018
POL	8	46,79	56,21	0,212
PUREZA	10	31,20	42,98	0,8639

FIBRA	5	14,05	19,94	0,3003
PC	8	38,27	47,70	0,2196
ATR	6	145,48	152,55	0,2437
TAH	7	136,65	144,90	0,5073
CC	11	221,80	234,76	0,4906
DC	10	118,80	130,58	0,4774
NE	5	113,37	119,26	0,2838
CME	7	68,88	77,12	0,6052
IAF	7	54,31	62,56	0,6023

TCH: tonelada de colmos por hectare; TPH: tonelada de ponteiros por hectare; TAH: tonelada de açúcar por hectare; CC: comprimento do colmo; DC: diâmetro do colmo; NE: número de entrenós; CME: comprimento médio do entrenó; IAF: índice de área foliar.

Na Tabela 4 estão apresentados todos os coeficientes necessários, para estimar as variáveis selecionadas de acordo com os níveis de nutriente foliar. Percebe-se que isoladamente, todos os coeficientes de cada nutriente foram significativos pelo teste t. Os únicos nutrientes que se repetiram na estimativa das variáveis foram o K e o Ca, e evidencia a grande importância destes nas predições de acordo com o status nutricional da cultura. Seguindo a classificação de maior peso para estimativas, pode-se observar nos coeficientes padronizados, e, é possível constatar que os quatro primeiros nutrientes, com maior peso na predição dos valores foram Ca>Cu>Fe>K para a pureza, Ca>K>Zn>N para o comprimento médio do entrenó e K>Mn>Ca>S para o índice de área foliar. Ressalta-se ainda, que a presença do Zn como nutriente estimador do CME é conveniente, já que um dos sintomas apresentados pela deficiência deste nutriente na cana-de-açúcar é justamente a redução do crescimento dos internódios, conforme descrito por Vitti et al. (2005).

Tabela 4. Regressões múltiplas justadas, erro padrão e significância para cada nutriente, em função da pureza, comprimento médio do entrenó (CME) e índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar var. RB 92-579.

		Coeficiente	Coeficiente padronizado	Erro padrão	Valor de t	significância
PUREZA	Intercepto	83,046254	-	2,64	31,456	**
	N	0,369488	0,39827	0,17	2,177	*
	P	1,271312	0,24054	0,439	2,893	*
	K	-0,234143	-0,4321	0,141	-1,658	ns
	Ca	-0,815161	-0,7217	0,242	-3,368	**
	Mg	1,287044	0,2620	0,502	2,561	*
	Cu	-0,337615	-0,5374	0,057	-5,921	**
	Fe	0,028457	0,4389	0,008	3,515	**

	Zn	-0,043252	-0,4114	0,012	-3,558	**
CME	Intercepto	23,46233	-	3,547	6,615	**
	N	0,70826	0,5735	0,275	2,572	*
	K	-0,50697	-0,7029	0,174	-2,902	**
	Ca	-1,70022	-1,1308	0,382	-4,445	**
	Cu	-0,40705	-0,4868	0,127	-3,201	**
	Zn	-0,08064	-0,5762	0,024	-3,295	**
IAF	Intercepto	12,079099	-	3,575	-3,379	**
	K	0,503028	0,9481	0,103	4,855	**
	Ca	0,78521	0,7099	0,297	2,642	*
	Mg	2,223308	0,4622	0,8	2,778	*
	S	2,0416	0,6863	0,549	3,715	**
	Mn	-0,020624	-0,7466	0,006	-3,203	**

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t;

De acordo com a Tabela 5, todas as variáveis biométricas analisadas foram influenciadas significativamente pela interação entre o parcelamento de irrigação e as doses de Zn. Este resultado demonstra que a distribuição de água é tão importante quanto a quantidade, para o crescimento das culturas. Ao analisar os fatores de forma isolada, percebe-se que o parcelamento 30+30 mm promoveu maiores incrementos para a AP e CME da cana-de-açúcar. Tal resultado demonstra que a cultura expressou seu potencial em crescimento com melhor distribuição de água, de modo, essas afirmações são reforçadas por Singh et al. (2019), por exemplo, que descrevem que o abastecimento inadequado de água atua como fator dificultador na absorção de nutrientes e pode diminuir o rendimento proporcionalmente da cana-de-açúcar.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), comprimento de colmo (CC), comprimento médio de entrenó (CME), diâmetro de colmo (DC) e índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar var. RB92-579 submetida a diferentes manejos de irrigação de salvamento (P. irrigação) e doses de zinco.

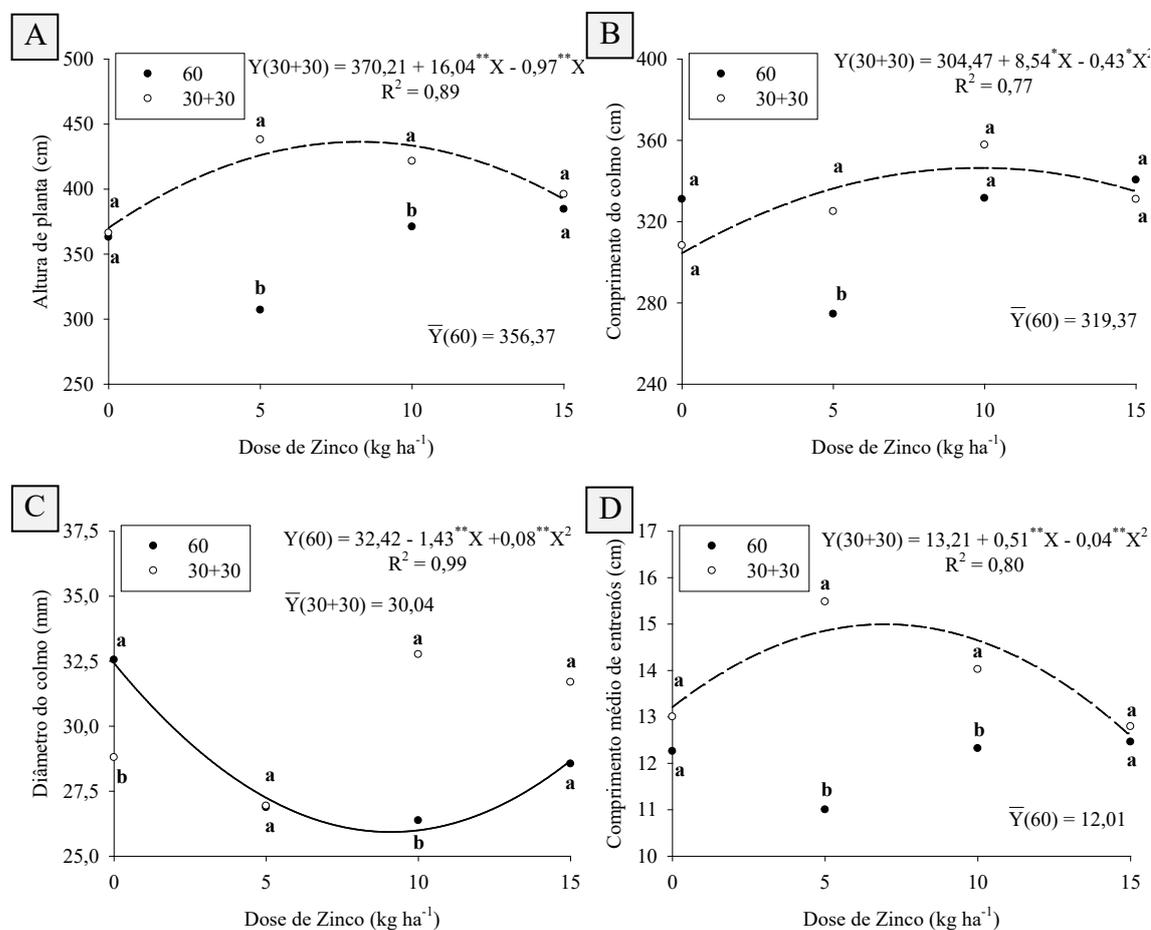
FV	GL	Quadrado médio				
		AP	CC	CME	DC	IAF
P. irrigação	1	14442,77*	742,59 ^{ns}	19,76*	12,77 ^{ns}	4,46 ^{ns}
Bloco	2	149,35 ^{ns}	975,67 ^{ns}	1,11 ^{ns}	23,56 ^{ns}	0,88 ^{ns}
Resíduo (a)	2	152,44	662,58	0,47	2,72	0,51
Dose	3	1316,96**	2334,28**	0,66 ^{ns}	16,77*	1,20 ^{ns}
Lâmina x Dose	3	5112,77**	1676,03**	5,22**	28,13**	2,40*
Resíduo (b)	12	152,87	220,60	0,34	4,40	0,50
CV % (a)	-	3,21	7,92	5,31	5,63	18,05
CV % (b)	-	3,25	4,57	4,53	7,16	17,94

----- cm ----- mm cm² cm⁻²

P. Irrigação	60	356,37 b	319,37 a	12,01 b	28,58 a	4,41 a
	30+30	405,44 a	330,50 a	13,82 a	30,04 a	3,55 a

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Para o desdobramento da interação entre os fatores, houve comportamento quadrático dentro do manejo com parcelamento da irrigação (30+30 mm), em que os maiores valores para AP, CC e CME foram observados nas doses de Zn entre 5 e 10 kg ha⁻¹ (Figura 3A, B e D), e, corrobora também com o teor foliar apresentado como adequando apenas na dose de 5 kg ha⁻¹, como já discutido e observado na Tabela 2. Para o DC e IAF a equação ajustada para o parcelamento da irrigação não representou bem as doses de Zn, e, demonstra pouca expressão dessa adubação para essas variáveis (Figura 3C e 3E). Estes resultados, indicam que a adubação com Zn foi benéfica para o crescimento da cana-de-açúcar apenas quando houve o parcelamento da irrigação, e, evidencia a resposta da cultura ao zinco é totalmente dependente da disponibilidade hídrica.



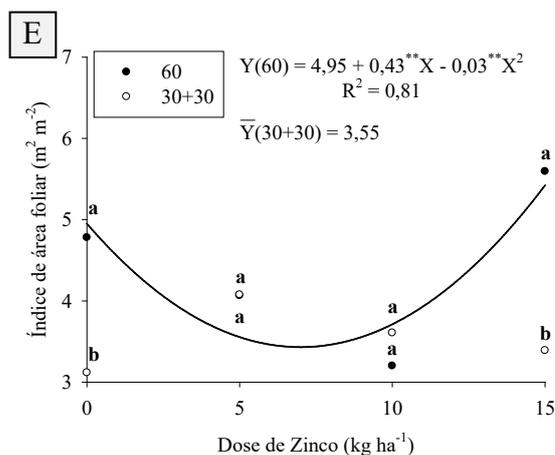


Figura 3. Altura de planta (A), comprimento do colmo (B), diâmetro do colmo (C), comprimento médio de entrenós (D) e índice de área foliar (E) da cana-de-açúcar variedade RB92-579, em função de diferentes doses de zinco dentro de cada parcelamento de irrigação.

Na Figura 3, também, pode-se observar que na maioria das doses avaliadas, o parcelamento da irrigação promoveu maiores incrementos no crescimento na cana-de-açúcar. Na Figura 3A, por exemplo, percebe-se que dentro das doses de 5 e 10 kg ha⁻¹ de Zn, as maiores AP estão presente no parcelamento da irrigação (30+30 mm). Os resultados são parcialmente similares aos encontrados por Mangrio et al. (2020), que estudando aplicação de Zn e B observaram incremento na altura de planta e diâmetro de colmo com aplicação de Zn, entretanto a dose de 15 kg ha⁻¹ promoveu maiores incrementos, não sendo o caso do estudo em questão. É válido ressaltar que os teores de Zn presentes no solo, do estudo de Mangrio et al. (2020) eram de 0,4 mg dm⁻³, valor que é claramente inferior ao deste estudo (Tabela 1), dando margem para melhores respostas da cultura a doses superiores de Zn.

Quanto as variáveis produtivas da cultura, tonelada de ponteiros por hectare (TCH) e tonelada de açúcar por hectare (TAH), foram influenciadas pelo parcelamento da irrigação, o ATR e o Brix pela interação entre os dois fatores (Tabela 6). Seguindo a maioria dos comportamentos apresentados pelas variáveis biométricas da cana-de-açúcar, nota-se que o parcelamento da irrigação promoveu grandes incrementos nos rendimentos produtivos da cultura, com acréscimos de 43,2% e 42,7% na TCH e TAH, respectivamente (Tabela 6), resultado este que é de grande importância para o setor canavieiro.

Como já destacado, as doses de Zn não afetaram a TCH e a TAH, sendo assim, este resultado é divergente ao descrito por Cunha et al. (2020), que observaram

incrementos lineares na produtividade da cana-de-açúcar adubada com diferentes níveis de Zn, tanto em cana-planta quanto em soqueiras. Disparidades como essa podem ser explicadas principalmente pelo teor de Zn no solo cultivado, pois neste estudo os valores são considerados altos (Sousa e Lobato, 2004), conforme já mencionado, enquanto o teor apresentado no estudo de Cunha et al (2020) é considerado como muito baixo para o cultivo da cana-de-açúcar, demonstrando que doses maiores podem ser responsivas em solos com teores limitantes e não responsivos quando o solo já possui altos teores. Outra hipótese que pode ser levantada é quanto aos demais níveis de nutrientes que estavam baixo na análise nutricional da cultura, demonstrando que a resposta a adubação com Zn também pode ter sido limitada pelo próprio potencial produtivo da área, em não ser capaz de fornecer nutrientes suficientes para se alcançar produtividades ainda superiores as obtidas, mesmo sendo considerada altas produtividades quando se compara a média brasileira de 76 t ha⁻¹ (CONAB, 2021).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de ponteiros por hectare (TPH), tonelada de açúcar por hectare (TAH), açúcares totais recuperáveis (ATR) e Brix da cana-de-açúcar, var. RB92-579 submetida a diferentes manejos de irrigação de salvamento (P. irrigação) e doses de zinco.

FV	GL	Quadrado médio				
		TCH	TPH	TAH	ATR	Brix
P. irrigação	1	11750,58*	16,73 ^{ns}	252,39*	0,26 ^{ns}	0,27 ^{ns}
Bloco	2	1112,81 ^{ns}	12,15 ^{ns}	27,06 ^{ns}	24,91 ^{ns}	0,71 ^{ns}
Resíduo (a)	2	190,95	42,86	7,63	29,81	0,75
Dose	3	56,56 ^{ns}	48,48 ^{ns}	0,29 ^{ns}	74,36**	0,92 ^{ns}
Lâmina x Dose	3	557,12 ^{ns}	100,63 ^{ns}	16,79 ^{ns}	42,05*	1,81*
Resíduo (b)	12	865,03	37,32	19,24	10,53	0,32
CV % (a)	-	11,10	37,71	14,98	3,69	4,21
CV % (b)	-	23,62	35,18	23,77	2,19	2,79
		----- t ha ⁻¹ -----			kg t ⁻¹	°Bx
P. Irrigação	60	102,39 b	16,53 a	15,21 b	148,13 a	20,67 a
	30+30	146,64 a	18,20 a	21,70 a	147,91 a	20,46 a

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Nenhuma das equações estudadas para as doses de Zn se ajustou ao comportamento do Brix da cana-de-açúcar, de modo que na média geral os valores foram próximos. Entretanto, percebe-se que há incremento no Brix quando não se utilizou o parcelamento da irrigação dentro da dose de 5 kg ha⁻¹ de Zn e destaque dentro da dose de 10 kg ha⁻¹. (Figura 4A). Este resultado demonstra que maiores distribuições de água não foram benéficas para o Brix da cana-de-açúcar, e corrobora com diversos estudos em que

a irrigação não promove benefícios para o Brix da cana-de-açúcar, ou até mesmo limita, como observados nos estudos de Gunarathna et al. (2018), Santana et al. (2019) e Feder (2021).

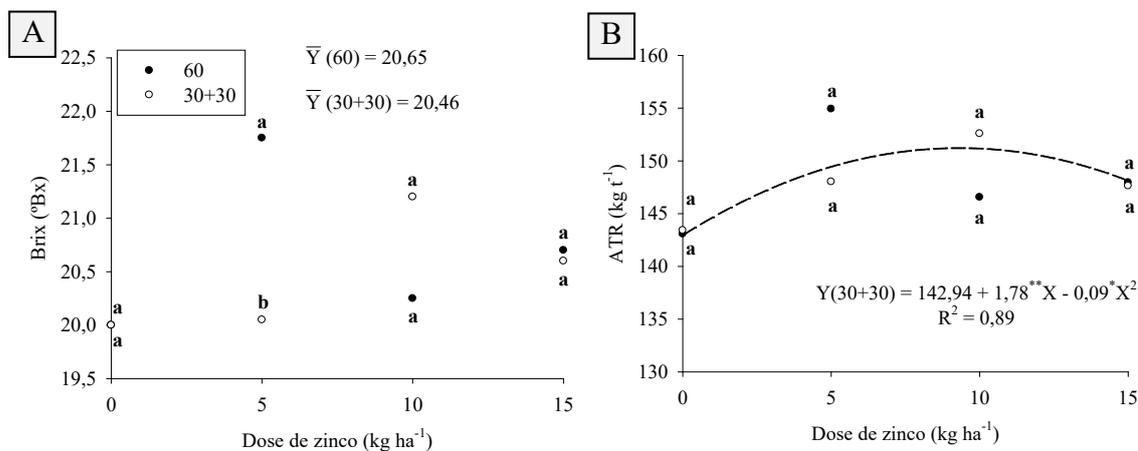


Figura 4. Brix da cana-de-açúcar variedade RB 92-579, em função de diferentes doses de zinco dentro de cada período de irrigação (A) e açúcares totais recuperáveis em função de diferentes doses de zinco (B).

Dentro do manejo da irrigação com parcelamento (30+30), a dose de Zn responsável pelo maior ATR foi de 9,3 kg ha⁻¹ (Figura 4B), o que contribui para a boa performance da faixa de adubação entre 5 e 10 observada em algumas variáveis importantes para a cultura da cana-de-açúcar durante este estudo, demonstrando que baixo nível no solo é limitante a produção, entretanto teores excessivos deste nutriente, podem ter consequências prejudiciais para o desenvolvimento das plantas, além de efeitos desastrosos para a saúde humana e animal (Siegel 2002; Haghghatjou & Shirvani, 2020). O ATR possui alta correlação com o Pol (Figura 6), sendo assim, este comportamento é justificado por Dechen et al. (1991), que relatam resposta positiva de Zn em relação ao Pol é esperada, porque o Zn desempenha papel na regulação do metabolismo de carboidratos para aumentar o teor de sacarose do colmo.

Considerando a análise multivariada através das componentes principais, percebe-se que as duas primeiras componentes, componente principal 1 (PC1) e componente principal 2 (PC2) dos conjuntos de variáveis biométricas e produtivas foram responsáveis por 75,4% e 84% da variação total dos dados, respectivamente (Figura 5A e 5B). Sendo assim, essas duas PC descrevem bem os dados, de acordo com o critério de seleção sugerido por Kaiser (1960), em que as somas das variâncias devem ser no mínimo 70%. Já a soma da variância para o conjunto de dados nutricionais da cultura foi de 62,2%, o

que não atende o pressuposto de Kaiser e realmente não explica a grande variação dos dados observados para os teores de nutrientes foliares na cana-de-açúcar (Figura 5C).

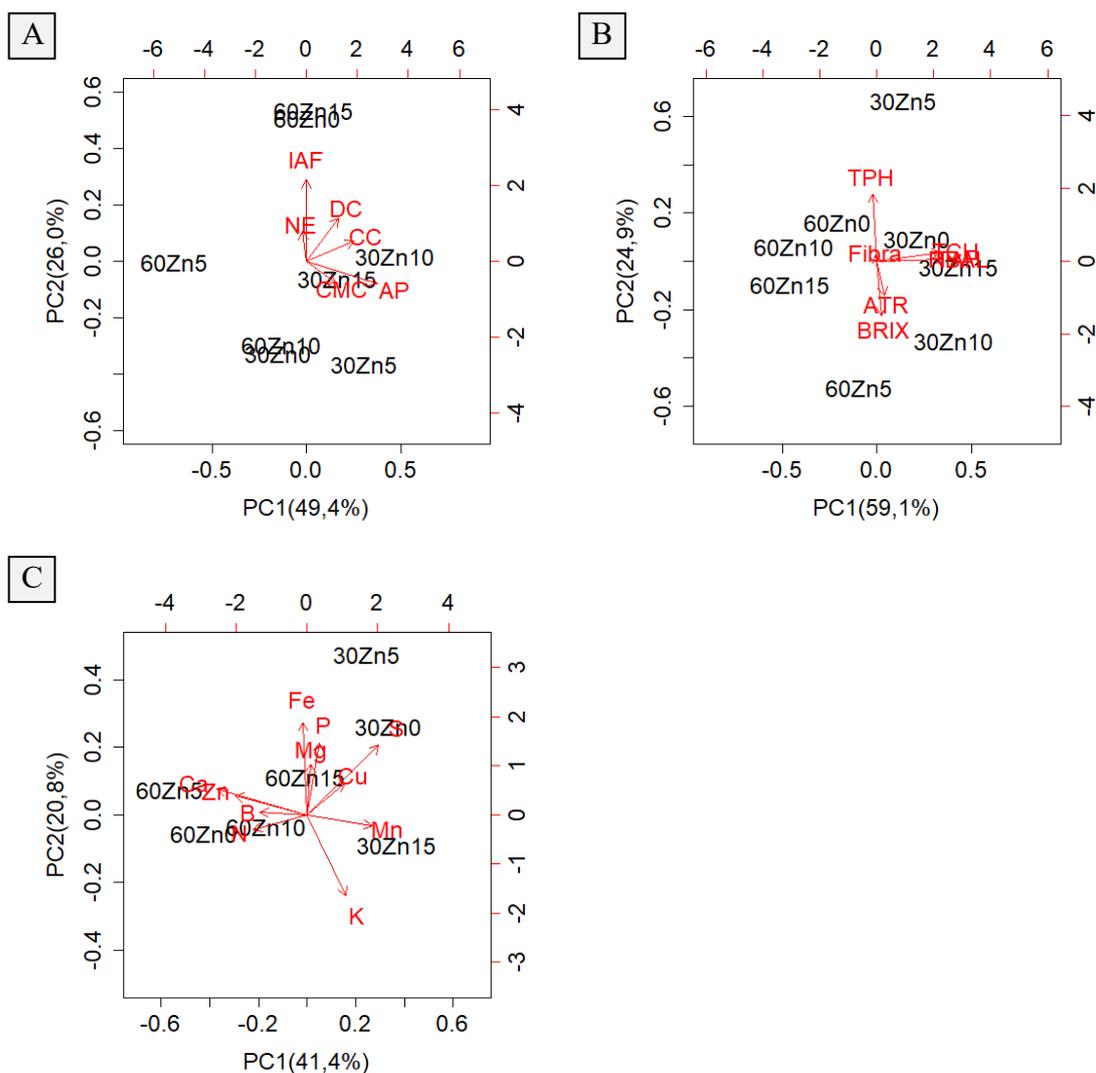


Figura 5. Distribuição das nuvens de fatores e duas componentes principais para as variáveis biométricas (A), produtivas (B) e nutrição foliar (C) da cana-de-açúcar, variedade RB 92-579.

Em linhas gerais, percebe-se algumas tendências para o não parcelamento da irrigação, pois este manejo promoveu maiores índices foliares, enquanto o parcelamento tendeu a incrementar o diâmetro do colmo, comprimento do colmo e altura de planta (Figura 4A). Para as variáveis produtivas, nota-se que as tendências de incrementos foram ainda maiores para o parcelamento da irrigação, confirmando que a melhor distribuição de água aumenta os rendimentos da cultura (Figura 5B). A aplicação de água com maior distribuição temporal (frequência ou parcelamento), diminui as perdas por drenagem e conseqüentemente aumenta a eficiência de utilização pela cultura, e poderá refletir em

maiores rendimentos ou crescimento, dependendo do ambiente de cultivo e potencial do material genético da variedade.

Como já mencionado, ainda há poucos estudos direcionados para o parcelamento da irrigação em cana-de-açúcar, provavelmente por se tratar de uma cultura resistente a seca e perene, levando essa cultura permanecer por um longo período no campo. Em contrapartida, as hortaliças permanecem no campo por um curto período e os estudos a cerca deste tema é mais recorrente. Sendo assim, Gordin et al. (2019), ao estudarem o parcelamento da irrigação na cultura do pimentão observaram que a aplicação parcelada da lâmina de irrigação, em duas vezes ao dia, contribuiu significativamente para maior produtividade comercial e maior eficiência do uso da água da cultura, quando comparada com apenas uma aplicação no dia, com o mesmo volume de água.

Como já descrito anteriormente, a adubação com Zn promoveu benefícios na biometria da cana-de-açúcar e no ATR, mas não foi efetiva no aumento das produtividades no atual ambiente de estudo, possivelmente pelo alto nível de Zn no solo, na camada de 0-20 cm ($3,9 \text{ mg dm}^{-3}$). Tal afirmação é reforçada pelo estudo de Marangoni et al. (2019), que encontraram os mesmos resultados em cana-planta, embora destaquem que essas doses aplicadas promovem excelentes benefícios em primeira soca, pelo efeito residual da adubação com Zn. Em função dos maiores valores obtidos dessas variáveis biométricas e do ATR, indica-se que a dose de Zn no atual ambiente deve ser em média de $8,5 \text{ kg ha}^{-1}$, e a disponibilidade hídrica melhor distribuída. Caso exista limitação hídrica não se indica adubação com Zn no atual ambiente de estudo para a variedade RB92-579.

Conforme foi observado na análise multivariada, houve tendências semelhantes entre algumas variáveis biométricas e produtivas. Assim, a correlação de Pearson apresentada na Figura 6, auxilia na confirmação dessas similaridades, pois as maiores correlações positivas para a TCH e para a TAH, por exemplo, são associadas ao diâmetro de colmo e a altura de planta.

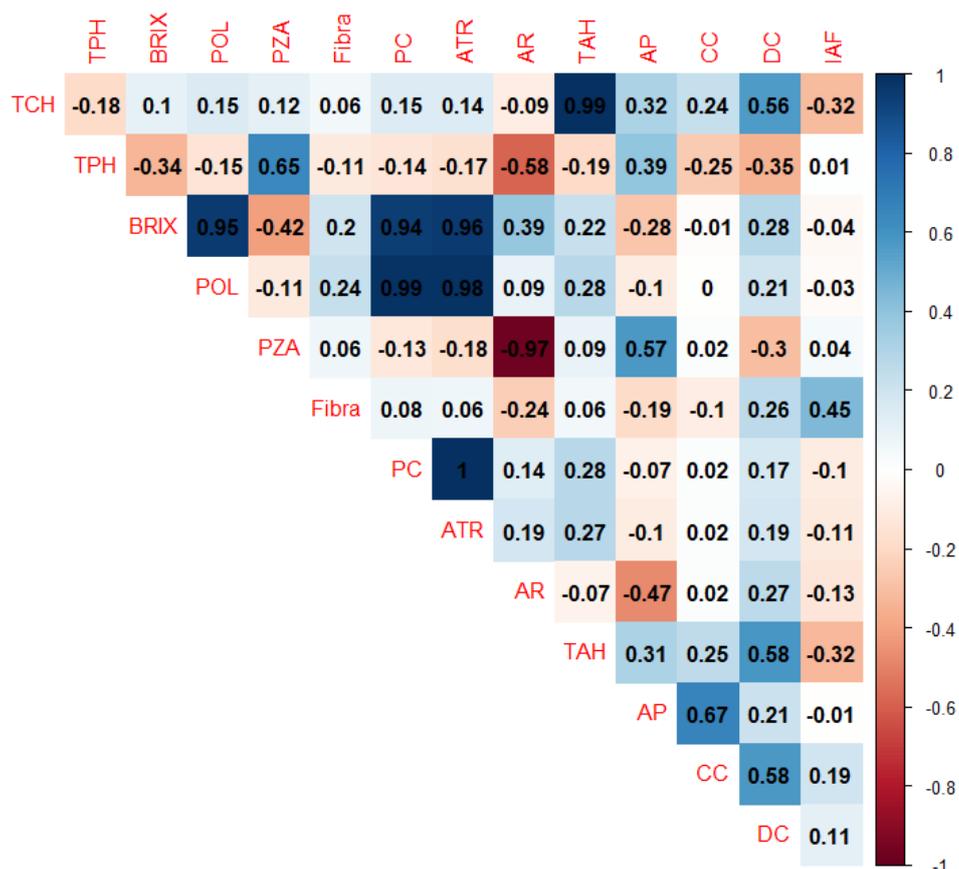


Figura 6. Correlações de Pearson entre as variáveis biométricas e produtivas avaliadas na cana de açúcar var. RB92-579.

Os resultados do presente estudo evidenciam a importância do micronutriente zinco para componentes produtivos e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar, sobretudo com o fornecimento da irrigação parcelada, e evidencia a necessidade de estudos em diferentes condições edáficas e climáticas, assim como com os diferentes materiais genéticos cultivados na atualidade.

Conclusão

As doses de zinco não promoveram incrementos no rendimento da cana-de-açúcar, embora doses entre 5 e 10 kg ha⁻¹ proporcionaram maiores desenvolvimentos biométricos e incrementos no ATR, quando cultivada sob parcelamento da irrigação de salvamento.

O parcelamento da irrigação de salvamento incrementou significativamente os rendimentos produtivos e o desenvolvimento biométrico da cana-de-açúcar, com incrementos de 43% na tonelada de colmos por hectare.

Mesmo em um ambiente com alto teor de zinco no solo, percebe-se que a adubação com este nutriente foi benéfica em média até a dose de 8,5 kg ha⁻¹ quando associada a melhor distribuição de irrigação; em contrapartida não se indica adubação com zinco quando há limitação hídrica sem o parcelamento da irrigação.

Referências bibliográficas

ANDRADE JUNIOR A.S.D., BASTOS E.A., RIBEIRO V.Q., ATHAYDE SOBRINHO C., DA SILVA P.H. Stalk yield of sugarcane cultivars under different water regimes by subsurface drip irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.3, p.169-174, 2017.

CONSECANA. Manual de instruções. 4. ed. Piracicaba: Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 2003. 115p.

CUNHA F.N., TEIXEIRA M.B., SOARES F.A.L., DA SILVA E.C., SOUSA A.E.C., DOS SANTOS L.N.S., DA SILVA VIEIRA, G. Industrial Quality of Sugarcane Under Fertigation with Nitrogen and Zinc. *Sugar Tech*, p.1-9, 2019.

DECHEN A.R., HAAG H.P., CARMELLO Q.A.C. Função dos micronutrientes nas plantas. In *Micronutrients in agriculture*, ed. M.E. Ferreira and M.C.P. Cruz. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Brazil, 1991.

FERREIRA T.S., DA CUNHA F.F., FERREIRA L.B., COSTA F.M., DA SILVA NETO E. Desenvolvimento inicial da cana-soca sob lâminas de irrigação de salvamento. *Agrarian*, v.13, n.50, p.493-503, 2020.

GORDIN L.C., CABRAL DE ALMEIDA C.D.G., SANTOS JÚNIOR J.A., DE FRANÇA E SILVA Ê.F., DOS SANTOS ALMEIDA A.C., DA SILVA G. S. N. (2019). Irrigation scheduling techniques and irrigation frequency on capsicum growth and yield. *Dyna*, v.86, n.211, p.42-48, 2019.

GUNARATHNA M.H.J.P., SAKAI K., NAKANDAKARI T., MOMII K., ONODERA T., KANESHIRO H., WAKASUGI, K. Optimized subsurface irrigation system: the future of sugarcane irrigation. *Water*, v.10, n.3, p.314, 2018.

HAGHIGHATJOU M., & SHIRVANI, M. (2020). Sugarcane Bagasse Biochar: Preparation, Characterization, and Its Effects on Soil Properties and Zinc Sorption-desorption. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.51, n.10, p.1391-1405, 2020.

IAIA, A. M. Irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar no cerrado de mato grosso. (Tese – Ciências / Agronomia – produção vegetal). Universidade Federal do Paraná. 2014.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em Jan 2021.

KAISER, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, v.20, p.141-151, 1960.

KOTTEK M., GRIESER J., BECK C., RUDOLF B., RUBEL F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. 2006.

MALAVOLTA E., VITTI G.C., OLIVEIRA S.A. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 308p.

MANGRIO N., KANDHRO M.N., SOOMRO A.A., MARI N., SHAH Z.U.H. (2020). Growth, Yield and Sucrose Percent Response of Sugarcane to Zinc and Boron Application. *Sarhad Journal of Agriculture*, v.36, n.2, 2020.

MARANGONI F.F., OTTO R., DE ALMEIDA R.F., CASARIN V., VITTI G.C., TIRITAN C.S. Soluble Sources of Zinc and Boron on Sugarcane Yield in Southeast Brazil. *Sugar Tech*, v.21, n.6, p.917-924, 2019.

MAURI, R., COELHO R.D., FRAGA JUNIOR E.F., BARBOSA F.S., LEAL D.P.V. Water relations at the initial sugarcane growth phase under variable water deficit. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.37, n.2, p.268-276, 2017.

MENDOÇA M.F.D., DANTAS NETO J., SILVA P.F.D., DE OLIVEIRA E.C. Yield and technological quality of sugarcane under irrigation depths and nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.24, n.7, p.482-489, 2020.

NAVARRETE A.A., MELLIS E.V., ESCALAS A., LEMOS L.N., JUNIOR J.L., QUAGGIO J.A., ZHOUC J., TSAI S.M. Zinc concentration affects the functional groups of microbial communities in sugarcane-cultivated soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.236, p.187-197, 2017.

NOBRE CUNHA F., BATISTA TEIXEIRA M., CABRAL DA SILVA E., FURTADO DA SILVA N., TEIXEIRA SILVA COSTA C., MARQUES VIDAL V., ... FERNANDO

GOMES L. Productive Potential of Nitrogen and Zinc Fertigated Sugarcane. *Agronomy*, v.10, n.8, 2020.

OHASHI A.Y.P., PIRES R.C.D.M., XAVIER M.A., PERECIN D., SILVEIRA L.K., PETRI R.H. Irrigation management based on reference evapotranspiration for pre-sprouted plantlets of sugarcane cultivars. *Bragantia*, v. 79, p.293-304, 2020.

OLIVEIRA M.W., FREIRE F.M., MACÊDO G.A.R., FERREIRA J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.28, n.239, p.30-43, 2007.

PALMGREN M.G., CLEMENS S., WILLIAMS L.E., KRÄMER U., BORG S., SCHJØRRING J.K., SANDERS D. Zinc biofortification of cereals: problems and solutions. *Trends Plant Sci.* v.13, p.464–473, 2008.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. URL <https://www.R-project.org/>

RIDESA. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar / Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. – Curitiba. 136 p., 2010.

SANTANA P.B., ASPIAZU I., PINHEIRO D.T., DA COSTA É.L., KONDO M.K. Industrial characteristics of sugarcane varieties under semi-arid conditions and different irrigation depths. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, p.725-734, 2019.

SANTIAGO A.D., CHICO D., DE ANDRADE JÚNIOR A.S., GARRIDO A., CARNAUBA P.J.P. Pegada hídrica da cana-de-açúcar e etanol produzidos no estado de Alagoas, Brasil. *Agrometeoros*, v.25, n.1, 2018.

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. 5 Ed. Brasília, DF. Embrapa Solos. 2018, p.64.

SANTOS L.C., COELHO R.D., BARBOSA F.S., LEAL D.P., JÚNIOR E.F.F., BARROS T.H., ... RIBEIRO, N. L. Influence of deficit irrigation on accumulation and partitioning of sugarcane biomass under drip irrigation in commercial varieties. *Agricultural Water Management*, v.221, p.322-333, 2019.

SIEGEL, F.R. Environmental geochemistry of potentially toxic metals. Berlin-Heidelberg: Springer. 2002.

SINGH H., SINGH R.K., MEENA R.N., KUMAR, V. Nitrogen fertigation schedule and irrigation effects on productivity and economics of spring sugarcane. Indian Journal of Agricultural Research, v.53, n.4, 2019.

TEIXEIRA, W.G. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3ª edição revista e ampliada. Embrapa, Brasília, DF, 574p., 2017.

TSUFAC A.R., AWAZI N.P., YERIMA B.P.K. Characterization of agroforestry systems and their effectiveness in soil fertility enhancement in the south-west region of Cameroon. Current Research in Environmental Sustainability, v.3, 2021.

VITTI, G.C., OTTO R., FERREIRA L.R.P. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar. Bebedouro, SP:[sn], p.15-18, 2005.

WILKS DS. (1995). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: an introduction. International Geophysics Series, Academic Press. 1995, 464p.

CAPÍTULO II – DESEMPENHO DA CANA-DE-AÇÚCAR, VAR. SP80-1816, SOB DIFERENTES DOSES DE ZINCO E IRRIGAÇÃO DE SALVAMENTO

(Normas de acordo com a revista Sugar Tech)

Resumo: por ser uma cultura semiperene, o manejo da cana-de-açúcar deve ser particularizado dependendo da característica da variedade, tendo em vista que o material genético é um dos principais fatores que reflete na resposta da cultura aos manejos empregados. Neste sentido, o objetivo do estudo foi avaliar o desempenho vegetativo e produtivo, assim como a qualidade industrial da cana-de-açúcar var. SP80-1816 (cana-planta) cultivada sob diferentes manejos de irrigação e adubação com zinco. O estudo foi realizado em área comercial num Latossolo Vermelho de Cerrado no município de Ceres-GO. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com três repetições e analisado em esquema de parcela subdividida 2x4, e as parcelas compreenderam dois de manejos de irrigação de salvamento, com parcelamento (30 + 30 mm) e sem parcelamento (60 mm) e quatro doses de zinco (0, 5, 10 e 15 kg ha⁻¹). Os rendimentos da cultura não obtiveram boas respostas com a aplicação de zinco, não sendo recomendada adubação em nenhum dos manejos de irrigação no atual ambiente de estudo. O parcelamento da irrigação também não promoveu incrementos no rendimento da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: cana-planta, Cerrado, Latossolo, nutrição de plantas, *Sacharum* spp.

PERFORMANCE OF SUGAR CANE, VAR. SP80-1816, UNDER DIFFERENT DOSES OF ZINC AND RESCUE IRRIGATION

Abstract: as it is a semi-perennial crop, the management of sugarcane must be particularized depending on the variety characteristics, considering that the genetic material is one of the main factors that reflects on the crop response to the management chosen. In this sense, the study aimed to evaluate the performance of sugarcane var. SP80-1816 (plant cane) cultivated under different irrigation and zinc fertilization managements. The study was carried out in a commercial area in a Cerrado Oxisol. A randomized block design with three replications was used and analyzed in a 2x4 split plot scheme, where the plots comprised two rescue irrigation managements, with split (30 + 30 mm) and no split (60 mm) and four zinc doses (0, 5, 10 and 15 kg ha⁻¹). The crop yields did not obtain good responses with the zinc application, and fertilization is not recommended in any of the irrigation managements in the current study environment. Irrigation splitting did not promote increases in sugarcane yield either. The leaf nutrient contents were efficient in estimating the ATR, the number and length of internodes, in addition to the leaf area index of the SP80-1816 variety.

Key words: plant cane, Cerrado, Oxisol, plant nutrition, *Sacharum* spp.

Introdução

A cana-de-açúcar é uma importante cultura industrial utilizada para a produção de açúcar e bioenergia. É uma das principais culturas C4 do mundo que crescem, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais (Dhanapal et al., 2019). Geralmente, os solos dessas regiões não possuem elevada fertilidade, sendo necessário diversos manejos para garantir bons rendimentos, cuja adubação é um dos principais. Embora os macronutrientes em grande maioria sejam mais estudados e empregados nas adubações, justamente por serem mais extraídos pelas culturas, os micronutrientes devem ser considerados com a mesma importância, tendo em vista que a limitação produtiva ocorre igualmente para ambos.

O papel dos micronutrientes é muito importante para o desenvolvimento da safra apesar de seus requisitos em quantidade muito pequena (Jabran et al., 2017). O zinco é um dos oito micronutrientes essenciais necessários para o crescimento normal e saudável e a reprodução das plantas cultivadas. A deficiência de zinco em um solo agrícola é um problema bem estudado e amplamente disseminado em todo o mundo (Ghevariya & Desai, 2015). Este nutriente se concentra nas zonas de crescimento, pela maior concentração auxínica (Taiz & Zeiger, 2004), portanto, seu principal efeito é no desenvolvimento e alongamento das partes jovens das plantas. Dessa forma, a adubação com Zn em canaviais cultivados em solos com baixo teor deste nutriente é importante para manter níveis adequados para a cultura, o e pode, assim, proporcionar maior crescimento dos internódios, aumentar o crescimento do topo da cana-de-açúcar e, conseqüentemente, aumentar o comprimento e produtividade de colmos, além da qualidade tecnológica.

A deficiência de zinco, que é expressiva em áreas intensamente cultivadas em todo o mundo, não está apenas causando redução no rendimento da colheita e na eficiência do uso de nutrientes, mas, também reduzindo sua concentração em partes comestíveis das plantas (Shukla et al., 2015). Guilherme et al. (2015), relatam que a deficiência de Zn em solos brasileiros ainda é um grande problema. No entanto, também mostra que as práticas de adubação (solo e / ou aplicação foliar) podem ser ótima ferramenta para melhorar seus níveis nos solos a fim de garantir melhores rendimentos das colheitas e melhor qualidade nutricional dos produtos agrícolas. Além disso, os teores de micronutrientes são influenciados pelo material original do solo e pelos processos de pedogênese (Silva et al., 2019), além de condições de umidade.

Neste sentido, o déficit de água no solo que desencadeia estresse hídrico na vegetação, é um importante fator que afeta negativamente a produção da cultura, sendo que os canaviais possuem grande potencial de perda de água pela grande área foliar da planta e ao relativo longo período que permanece no campo. Portanto, uma programação de irrigação adequada e novas estratégias de irrigação são essenciais para melhorar o manejo da irrigação da cana-de-açúcar, permitindo resposta adequada às crescentes demandas de água e preservando a sustentabilidade no futuro (Veysi et al., 2017). A preocupação com os recursos hídricos está crescendo em muitos países em que o abastecimento de água é limitado, e as comunidades estão se tornando mais conscientes do impacto da irrigação no meio ambiente e na sustentabilidade de seus meios de subsistência. Em anos de seca, essa consciência é intensificada e a pressão sobre os irrigantes para adaptar ou criar melhorias contínuas dos sistemas agrícolas por meio de manejos mais eficientes podem ser bastante severas (Inman-Bamber, 2004; Ahuja et al., 2019).

A irrigação possibilita que as variedades expressem melhor seu potencial genético, ou viabilize cultivos em locais com alta restrição hídrica. Visando o retorno que a irrigação traz aos cultivos, associado com as práticas mais eficientes que reduzem o gasto de água, muitas usinas produtoras de cana-de-açúcar estão investindo em “irrigação de salvamento” (irrigação no período de estiagem para suprir parcialmente a deficiência hídrica da soqueira). Nestas usinas, irriga-se a cana-soca, logo após a colheita, em tempo de espera (Lead Time) a cerca de 20 dias, estágio este definido como o qual a cultura mais necessita de água para seu desenvolvimento inicial, correspondente a brotação e perfilhamento da cultura (Ferreira et al., 2020).

Os pilares da irrigação são baseados em: como, quando e quanto de água será aplicado na cultura de interesse. De modo que, na cultura da cana-de-açúcar grande parte dos estudos estão mais relacionados a quanto aplicar, pois há inúmeros estudos que investigam diferentes lâminas de irrigação ou reposições hídricas (Leal et al., 2017; Dhanapal et al., 2019; Tayade et al., 2020), assim, o pilar de quando aplicar é menos explorado neste tipo de cultivo.

Neste sentido, o objetivo do estudo foi avaliar o desempenho da cana-de-açúcar, variedade SP80-1816 cultivada sob diferentes parcelamentos da irrigação de salvamento, associada a doses de Zn, a fim de gerar informações para auxiliar nas recomendações de adubações na região do Cerrado brasileiro e garantir usos mais eficientes de água.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental da Usina CRV Industrial de Carmo do Rio Verde – GO, em parceria com o Instituto Federal Goiano – Campus Ceres. As coordenadas geográficas do local de instalação são $15^{\circ}20'41,2''$ S e $49^{\circ}36'25,1''$ W, com altitude média de 586 m ao nível do mar (Figura 1). O clima da região é classificado conforme Köppen & Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro (Kottek et al., 2006). A temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais.

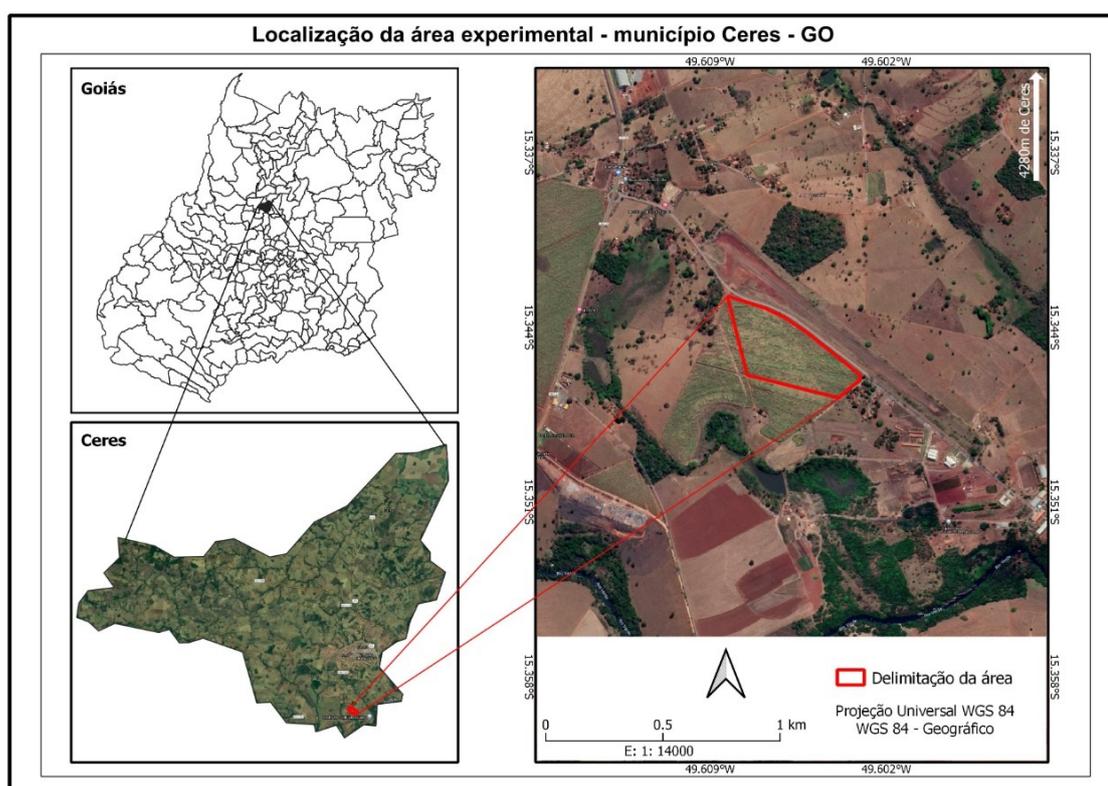


Figura 1. Localização geográfica da área experimental no município de Ceres – GO.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, fase cerrado (Santos et al., 2018), com 35% de areia, 17% de silte e 48% de argila (Tabela 1). Antes da instalação do experimento, foram realizadas amostragens do solo, nas camadas de 0 – 20 e 20 – 40 cm, para a caracterização química, analisadas conforme metodologias descritas por Teixeira et al., 2017.

Tabela 1. Caracterização química do solo em pré-plantio da cultura.

Camada (cm)	pH CaCl ₂	MO (%)	CTC cmol _c dm ⁻³	Al dm ⁻³	V %	P-meh mg dm ⁻³	K ---- cmol _c dm ⁻³	Ca ---- cmol _c dm ⁻³	Mg ---- mg dm ⁻³	Zn mg dm ⁻³
0-20	5,8	1,8	7,41	0	75,7	3,0	0,11	3,9	1,6	2,3
20-40	5,8	1,5	5,97	0	74,9	2,1	0,07	3,1	1,3	6,3

O experimento foi realizado em cana-planta, instalado com sistema de plantio convencional, sendo realizada duas gradagens pesadas para destruição de soqueiras anteriores (reforma), seguidas de subsolagem. Após a primeira gradagem, foi realizada a aplicação de 3 t ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT 95% e 1,13 t ha⁻¹ de gesso agrícola. A adubação foi em pré-plantio, e forneceu 25 kg ha⁻¹ de N, 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 125 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de formulado (05-25-25), sendo que não houve adubação de micronutrientes previamente. O sulcamento foi realizado a 25 cm de profundidade na véspera do plantio, sendo semimecanizado com distribuição dos toletes (plantio) em abril de 2018, com densidade média de 18 gemas por metro.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições, analisado em esquema de parcela subdividida 2x4. Os tratamentos compreenderam a combinação de dois parcelamentos de irrigação de salvamento (60 mm e 30 + 30 mm) e quatro doses de zinco (0, 5, 10 e 15 kg ha⁻¹), na forma de sulfato de zinco. As parcelas foram constituídas por seis linhas de cana-de-açúcar de 5 m de comprimento, espaçadas a 1,50 m entre si, constituindo 45 m² por parcela. A área útil da parcela abrangeu as quatro linhas centrais de cada parcela, desprezando 0,5 m em cada extremidade.

A irrigação foi realizada via carretel de aspersão da marca IrrigaBrasil, modelo GSV/350, com Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) médio de 67,27%. As adubações com Zn foram realizadas de forma manual sob a linha da cana-de-açúcar, logo após emergência da cultura. A variedade utilizada foi a SP80-1816, que de acordo com a Socicana tem como principais características: excelente brotação de soqueira, perfilhamento, rápido desenvolvimento vegetativo e porte ereto, sendo excelente opção para o corte mecanizado de cana crua; apresenta boa resposta na aplicação de maturadores químicos; não floresce, o teor de fibra é alto, não apresenta tombamento e a exigência em fertilidade do solo é média; possui sensibilidade média a herbicidas; a maturação é semiprecoce na cana-planta e um pouco mais precoce na soca, atingindo altos teores de sacarose; tem resistência intermediária à broca e boa sanidade para outras principais doenças.

A precipitação pluvial total durante o ciclo da cultura foi de 1234,6 mm com temperatura média de 24,9°C. A cultura passou por 165 dias sem chuva significativa, com o acumulado de apenas 25,6 mm, que compreendeu a data de 14 de abril de 2018 a 29 de setembro de 2018, e, também representa o ciclo entre 0 e 174 dias (Figura 2).

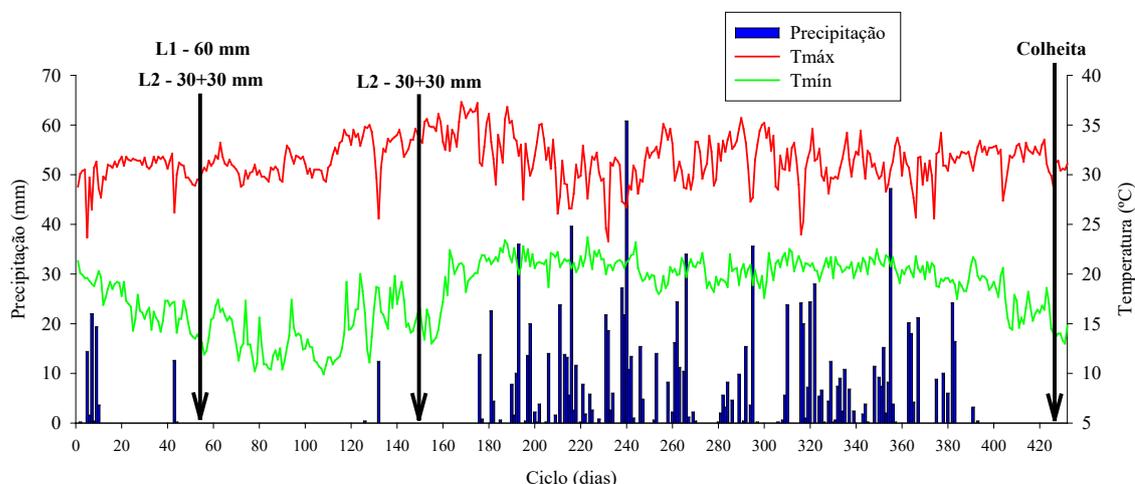


Figura 2. Precipitação pluvial total, temperatura mínima e máxima do município de Itapaci-GO, próximo à área experimental, no período compreendido entre abril de 2018 e junho de 2019. Fonte: INMET

Aos 198 dias após o plantio (DAP) foi determinado o estado nutricional da planta, sendo determinados na folha +3 coletadas aos 198 DAP, conforme recomendação de Oliveira et al. (2007), em que se determinou N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn. No momento da colheita foram determinadas as seguintes variáveis: altura de planta (AP) em cm, sendo determinada com auxílio de fita métrica, da superfície do solo até a barbeta ou aurícula da folha +1, conforme numerada pelo sistema Kuijper; comprimento do colmo (CC) em cm, determinado com fita métrica, da superfície do solo até o último nó desenvolvido; comprimento médio de entrenós (CME) em cm, determinado pela relação entre CC e número de entrenós; diâmetro do colmo (DC) em mm, determinado através de paquímetro digital no segundo colmo da planta; índice de área foliar (IAF) em $m^2 m^{-2}$, determinado através da equação 1.

$$IAF = \frac{AF}{AS} \quad (1)$$

Em que:

IAF: índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$);

AF: área foliar total da planta (cm).

AS: área do solo (m²), determinado pela relação entre o espaçamento entre linhas de plantio (m) e número de plantas por m.

A área foliar total da planta (AF) foi determinada através da equação 2, conforme descrita por Iaia (2014).

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

Em que:

AF: área foliar total da planta (cm);

C: comprimento da folha avaliada (+3);

L: maior largura da folha avaliada (+3);

0,75: fator de correção para a forma da lâmina foliar;

N: número de folhas totalmente abertas e com pelo menos 20% de área verde, considerando da folha zero até a folha +7;

2: fator de correção para folhas do palmito.

Por ocasião da colheita, a produtividade de colmos (Toneladas de Colmos por Hectare - TCH) e de ponteiro (TPH) foi determinada através da pesagem total dos colmos e ponteiros presentes na área útil das parcelas, cujo valores foram extrapolados para (t ha⁻¹). As determinações foram obtidas em balança digital tipo gancho, marca Soil Control (precisão = 0,02 kg), com capacidade de 50 kg. Após a pesagem, foi realizada uma subamostragem aleatória de dez colmos de cana-de-açúcar de cada parcela, e encaminhados ao Laboratório da própria Usina CRV Industrial, e foram determinados os atributos Brix % e açúcar total recuperável (ATR), conforme sistema Consecana (2003). Com os dados acima foram determinados a produção de açúcar, através da TAH (tonelada de açúcar por hectare), conforme equação 3.

$$TAH = \frac{TCH \times ATR}{1000} \quad (3)$$

Em que:

TAH: tonelada de açúcar por hectare (t ha⁻¹);

TCH: tonelada de colmos por hectare ($t\ ha^{-1}$);

ATR: açúcares totais recuperáveis ($kg\ t^{-1}$)

Os dados das variáveis resposta foram submetidos à análise de distribuição normal dos dados (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade de variância (Levene), após atenderem os pressupostos dos testes foi aplicado o teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade. Em função da significância das variáveis quantitativas, foram ajustadas equações de regressão de primeiro e segundo grau, considerando as respectivas doses de zinco. Para o parcelamento das lâminas de irrigação foi aplicado o teste de tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares R Core Team (2017) e SigmaPlot 11.0.

Foi realizada análise de regressão múltipla para o status nutricional da cultura, sendo utilizado o procedimento de “backward”, que avalia todas as variáveis dentro de uma regressão, excluindo automaticamente aquelas que, para determinado modelo, não foram significativas pelo teste t de student e não promoveram melhoria do coeficiente de determinação ajustado, mantendo somente as variáveis explicativas que de fato colaboram com a qualidade final dos ajustes.

Como indicadores complementares e discriminatórios foram utilizados os critérios de Akaike (AIC) e Bayesiano de Schwarz (BIC), representados pelas Equações 5 e 6, respectivamente. De forma que, quanto menor os valores encontrados, melhores são os ajustes dos modelos utilizados no estudo.

$$AIC = -2\log L + 2(p) \quad (4)$$

$$BIC = -2\log L + p\log(N - r) \quad (5)$$

Em que:

p – números de parâmetros do modelo a serem estimados;

N – número total de observações;

r – posto da matriz X (matriz de incidência para os efeitos fixos); e

L – estimador de máxima verossimilhança da variância do erro.

O coeficiente de determinação (R^2) utilizado para os modelos foi o ajustado, por não ser superestimado pelo grande número de variáveis empregadas na regressão.

Com a finalidade de identificar quais as variáveis mais importantes para os fatores estudados, utilizou-se análise multivariada através da técnica de componentes principais

(PCA), técnica essa que procura encontrar um novo conjunto de variáveis que retenham o máximo de variância, através de uma combinação linear dos dados originais (Wilks 1995). Na aplicação da PCA, foi utilizada a equação 6 para a padronização dos dados, assim toda série obteve a mesma grandeza de valores.

$$Z_i = \frac{(X_i - \bar{X}_i)}{\sigma_{ii}} \quad (6)$$

Em que:

Z_i = valor padronizado;

X_i = valor original i ;

\bar{X}_{ii} = média dos valores i ;

σ_{ii} = desvio padrão dos valores i .

Resultados e discussão

Houve diferenças significativas para os teores dos nutrientes N, B, Cu e Mn entre o parcelamento (30+30 mm) e a aplicação em única vez da lâmina de irrigação (60 mm), sendo que apenas para o Mn, obteve-se incrementos quando houve o parcelamento da irrigação, enquanto os demais nutrientes foram superiores sem o parcelamento. Como esperado, para os teores de Zn obteve incrementos lineares com o aumento das doses aplicadas via adubação, enquanto para o P e o B obtiveram comportamentos quadráticos, com maiores valores para as doses estimadas de 3,7 e 5,33 kg ha⁻¹ de Zn, respectivamente (Tabela 2). Este resultado vai de encontro aos observados por Teixeira Filho et al. (2015), que ao estudarem doses e fontes de Zn em solos arenosos constataram seu aumento linear nas concentrações foliares da cana-de-açúcar

Embora os níveis de Zn tenham aumentado de forma linear, não foi observado o mesmo comportamento para nenhum outro nutriente. Para os teores de P e B os máximos valores foram estimados nas doses de 3,5 e 5,3 kg ha⁻¹ de Zn respectivamente, demonstrando que doses superiores foram limitantes para a nutrição da cultura. Conforme observado, os níveis da grande maioria dos nutrientes foram considerados como baixo de acordo com Malavolta et al. (1997), podendo ser fator limitante a doses superiores de Zn, pois o potencial produtivo que poderia ser alcançado com a adubação é limitado a partir da deficiência de outros. Ressalta-se ainda, que as faixas de nutrientes estabelecidas por

Malavolta, geralmente são superiores as encontradas nos cultivos atuais, e pode prejudicar a interpretação do status nutricional da cultura. Moura Filho et al. (2014) por exemplo, estudando dez variedades de cana-de-açúcar em dois tipos de solos obtiveram faixas inferiores, e os níveis de Ca, Mg, S, B e Zn observados na Tabela 2 estariam todos dentro do adequado.

Tabela 2. Teores de nutrientes na folha de cana-de-açúcar, variedade SP80-1816, coletada aos 145 dias após o plantio.

		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
P. irrigação	60	16,7 a	1,7	12,9	4,2	1,1	1,7	13,9 a	10,2 a	120,8 b	13,3	
	30+30	14,8 b	1,4	15,3	3,9	1,5	1,7	11,9 b	10,0 b	186,7 a	14,8	
		N	P ²	K	Ca	Mg	S	B ²	Cu	Mn	Zn ¹	
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
Dose de zinco	0	15,9	1,62	14,1	4,0	1,2	1,8	13,1	9,2	171,2	12,2	
	5	15,8	1,64	13,5	4,1	1,3	1,7	13,9	11,2	141,5	13,4	
	10	15,7	1,57	15,2	3,9	1,1	1,7	13,3	9,5	149,7	14,7	
	15	15,5	1,42	13,5	4,0	1,1	1,6	11,1	10,5	152,7	16,0	

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade; ²Valores estimados de acordo com equação de segundo grau; ¹Valores estimados de acordo com equação de primeiro grau; $P=1,62+0,012X-0,0017X^2$ $R^2 = 0,73$; $B=13,1+0,32^{**}X-0,03^{**}X^2$ $R^2 = 0,96$; $Zn=12,17+0,26^{**}X$ $R^2 = 0,82$; Destaque em vermelho para teores considerados como baixo na cana-planta de acordo com Malavolta et al. (1997).

Na Tabela 3, pode-se notar os menores valores para AIC e BIC alcançados de acordo com o método “backward” de seleção de modelos e seus respectivos coeficientes de determinação ajustados. Para melhor representação das estimativas, foram selecionados modelos com pelo menos 0,60 de R^2 . Portanto das variáveis estudadas, o POL, PC, ATR, NE, CME e IAF foram bem estimados pelos teores de nutrientes foliares. Destaca-se que pelo ajuste observado pelo POL, era esperado ajustes e comportamento semelhante para o PC e o ATR, pois ambas as variáveis utilizam o POL como fator no cálculo de determinação.

Tabela 3. Critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano de Schwarz (BIC) das regressões múltiplas ajustadas de acordo com o procedimento de “backward” e coeficiente de determinação ajustado, para as variáveis biométricas, produtivas e de qualidade industrial da cana-de-açúcar var. SP80-1816.

GL	AIC	BIC	R ² - Ajustado
----	-----	-----	---------------------------

TCH	4	239,23	243,94	0,1272
TPH	9	150,00	160,60	0,4143
BRIX	10	60,68	72,46	0,5583
POL	10	40,74	52,52	0,6496
PUREZA	6	77,92	84,99	0,2328
FIBRA	4	49,13	53,84	0,0583
PC	11	25,64	38,60	0,7269
ATR	10	134,90	146,68	0,7205
TAH	3	147,45	150,98	0,0979
CC	11	218,21	231,17	0,5900
DC	7	121,77	130,01	0,2610
NE	11	118,50	131,45	0,8314
CME	10	98,43	110,21	0,6911
IAF	8	21,13	30,56	0,7880

TCH: tonelada de colmos por hectare; TPH: tonelada de ponteiros por hectare; TAH: tonelada de açúcar por hectare; CC: comprimento do colmo; DC: diâmetro do colmo; NE: número de entrenós; CME: comprimento médio do entrenó; IAF: índice de área foliar.

Os pesos nas estimativas do ATR, POL e PC foram Mn>Mg>P>Ca>B>Zn... Como são variáveis correlacionadas, a resposta em função dos níveis nutricionais foi semelhante para esses atributos. Nota-se que o Zn não obteve peso tão expressivo nas predições, mas foi um dos nutrientes selecionados por todos os modelos estabelecidos na Tabela 4. O Mn foi o nutriente com maior peso nas predições, sendo válido destacar que é um micronutriente que, geralmente em solos tropicais argilosos não é problema, devido aos bons níveis naturais. Titshall et al. (2018) estudando os níveis de nutrientes no solo e nas folhas da cana-de-açúcar em diversos ambientes do sul da África, afirmam que os micronutrientes Mn, Cu e Fe, geralmente não são deficientes de acordo com os níveis foliares, embora o Zn seja limitante em maior parte dos dados observados.

Tabela 4. Regressões múltiplas justadas, erro padrão e significância para cada nutriente, em função da pureza, comprimento médio do entrenó (CME) e índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar var. SP80-1816.

		Coefficiente	Coefficiente ajustado	Erro padrão	Valor de t	significância
POL	Intercepto	-7,40631	-	4,846851	-1,528	ns
	P	5,600177	1,5227	1,062383	5,271	**
	Ca	1,767749	1,2990	0,385208	4,589	**
	Mg	-7,23145	-1,7441	1,373487	-5,265	**
	S	-1,61121	-0,5489	0,579198	-2,782	*
	B	0,59535	1,2909	0,145123	4,102	**
	Fe	0,048653	0,5884	0,016648	2,923	*

	Mn	0,045084	2,2875	0,009881	4,563	**
	Zn	0,208034	0,8420	0,055334	3,76	**
PC	Intercepto	-4,51105	-	3,586231	-1,258	ns
	P	5,074273	1,6805	0,791304	6,413	**
	K	-0,05356	-0,1784	0,048231	-1,11	ns
	Ca	1,524752	1,3647	0,279217	5,461	**
	Mg	-5,9452	-1,7465	0,996432	-5,966	**
	S	-1,49105	-0,6187	0,423077	-3,524	**
	B	0,42008	1,1094	0,107822	3,896	**
	Fe	0,032427	0,4776	0,013266	2,444	*
	Mn	0,038443	2,3755	0,007225	5,321	**
	Zn	0,155429	0,7662	0,040341	3,853	**
ATR	Intercepto	-45,041	-	34,46306	-1,307	ns
	P	46,55803	1,5900	7,55397	6,163	**
	Ca	15,11049	1,3946	2,73898	5,517	**
	Mg	-59,1002	-1,7903	9,76604	-6,052	**
	S	-13,9822	-0,5983	4,11833	-3,395	**
	B	4,34114	1,1823	1,03188	4,207	**
	Fe	0,36844	0,5596	0,11837	3,113	**
	Mn	0,36421	2,3208	0,07026	5,184	**
Zn	1,43793	0,7310	0,39345	3,655	**	
NE	Intercepto	-113,113	-	24,0703	-4,699	**
	N	4,45898	0,8152	0,9042	4,931	**
	K	0,63885	0,2417	0,343	1,862	ns
	Ca	7,28838	0,7406	1,7394	4,190	**
	Mg	-23,288	-0,7767	6,8725	-3,389	**
	B	0,97436	0,2921	0,7492	1,301	ns
	Cu	1,85437	0,4304	0,5446	3,405	**
	Fe	0,41313	0,6909	0,0875	4,717	**
	Mn	0,12131	0,8510	0,034	3,564	**
	Zn	-0,59241	-0,3315	0,2627	-2,255	*
CME	Intercepto	86,59056	-	14,03386	6,17	**
	N	-2,58682	-0,9656	0,5597	-4,622	**
	K	-0,67742	-0,5233	0,2198	-3,082	**
	Ca	-2,51944	-0,5227	1,0132	-2,487	*
	Mg	7,46158	0,5081	3,47023	2,15	*
	Cu	-1,10114	-0,5219	0,36111	-3,049	**
	Fe	-0,21987	-0,7508	0,0457	-4,811	**
	Mn	-0,04416	-0,6325	0,01651	-2,675	*
	Zn	0,38141	0,4359	0,14301	2,667	*
Intercepto	12,34887	-	2,397562	5,151	**	

IAF	N	-0,2959	-0,4484	0,108814	-2,719	*
	Ca	-0,92273	-0,7773	0,202489	-4,557	**
	Mg	2,567463	0,7099	0,692001	3,71	**
	Cu	-0,38139	-0,7339	0,068604	-5,559	**
	Mn	-0,00549	-0,3190	0,003135	-1,749	ns
	Zn	0,08677	0,4026	0,025318	3,427	**

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t;

Para a predição do número de entrenós o peso dos teores foliares foi a seguinte ordem Mn>N>Mg>Ca>Fe>Cu>Zn..., para o comprimento médio dos entrenós foi N>Fe>Mn>K>C>Cu>Mg... e para o índice de área foliar foi o Ca>Cu>Mg>N>Zn>Mn. É notório a importância que o Mn obteve para a predição de todos os atributos no atual ambiente de estudo, mas é válido ressaltar que a predição nem sempre está associada a maiores valores destes nutrientes, mas, sim ao equilíbrio. Destaca-se que os valores observados na Tabela 2 não representa excesso em nenhum dos nutrientes avaliados.

O comprimento do colmo foi a única variável influenciada pela interação entre os fatores avaliados e de forma isolada a altura de planta foi significativamente influenciada pelas doses de Zn. Já para o comprimento médio do entrenó e o índice de área foliar, foi obtido maiores valores quando a cana-de-açúcar foi cultivada com parcelamento da irrigação (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), comprimento de colmo (CC), comprimento médio de entrenó (CME), diâmetro de colmo (DC) e índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar var. SP80-1816 submetida a diferentes manejos de irrigação de salvamento (P. irrigação) e doses de zinco.

FV	GL	Quadrado médio				
		AP	CC	CME	DC	IAF
P. irrigação	1	147,0 ^{ns}	6723,45 ^{ns}	97,40 [*]	21,33 ^{ns}	6,74 ^{**}
Bloco	2	1745,29 ^{ns}	1148,31 ^{ns}	2,78 ^{ns}	14,90 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Resíduo (a)	2	452,89	157,06	0,24	2,77	0,04
Dose	3	1695,89 [*]	1256,70 ^{**}	6,95 ^{ns}	20,06 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Lâmina x Dose	3	653,69 ^{ns}	1667,07 ^{**}	6,83 ^{ns}	5,68 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Resíduo (b)	12	395,58	158,23	3,18	6,88	0,26
CV % (a)	-	10,56	9,94	11,43	13,93	3,41
CV % (b)	-	5,03	3,69	12,24	9,47	14,61
		----- cm -----			mm	cm ² cm ⁻²
P. Irrigação	60	398,25 a	357,50 a	12,58 b	28,65 a	2,96 b
	30+30	393,30 a	324,03 b	16,61 a	26,76 a	4,02 a

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

As doses de Zn não foram benéficas para o incremento da altura de planta, com reduções observadas em todas as doses quando confrontada com a dose 0, em que não houve adubação (Figura 3A). Jain et al. (2010) relatam que o excesso de Zn, a nível de toxicidade, limita a altura de planta da cana-de-açúcar, além de diminuir teores foliares de outros nutrientes como Fe, Cu e P. Neste sentido, acredita-se que não ocorreu toxidez de Zn, pois não houve acentuadas reduções de teores foliares de outros nutrientes decorrentes das doses aplicadas, além dos níveis foliares de Zn serem considerados como baixo (Tabela 2). Para o CC, nenhuma das equações estudadas se ajustaram, enquanto nas doses de 0 e 10 kg ha⁻¹ de Zn os maiores valores foram alcançados sem o parcelamento da irrigação (Figura 3), resultado este que é o oposto ao observado para o CME e o IAF. Entretanto, as correlações com o rendimento da cana-de-açúcar foram positivamente superiores com o CC, que permite destacar o maior benefício neste caso para o não parcelamento da irrigação (Figura 6).

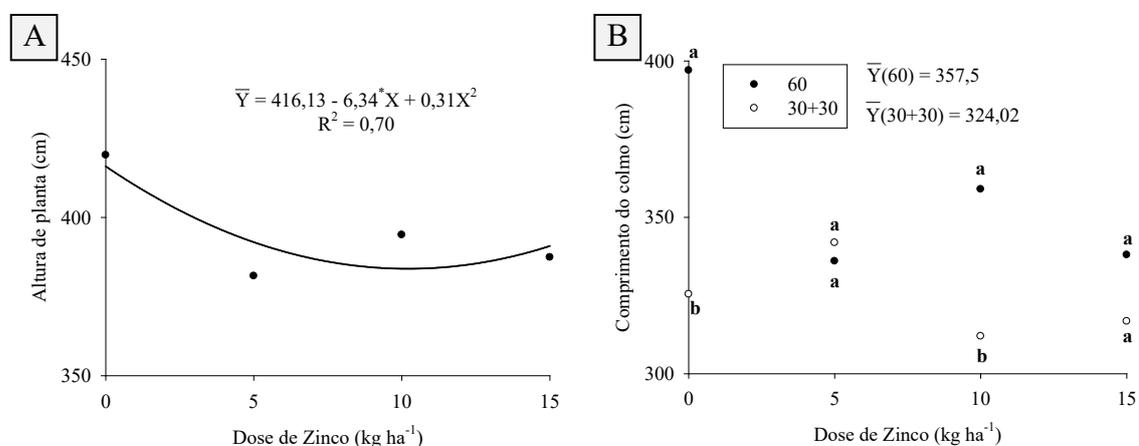


Figura 3. Altura de planta da cana-de-açúcar em função de diferentes doses de Zn (A) e comprimento do colmo em função de diferentes doses de zinco dentro de cada período de irrigação (B) para a variedade SP80-1816.

A produtividade de colmos e açúcar (TCH e TAH) foram influenciadas pela interação entre os dois fatores estudados, enquanto o ATR foi influenciado para os dois fatores de forma isolada e o Brix apenas pelas doses de Zn (Tabela 6). O maior ATR é observado sem o parcelamento da irrigação. Apesar da não influência da irrigação no Brix, os valores observados estão dentro do esperado para a cana-de-açúcar, pois de acordo com Brieger (1968), o valor mínimo de °Brix para a cana madura e considerado desejável é de 18%. Acima desse valor, diversos produtos podem ser obtidos a partir da cana-de-açúcar, por exemplo, etanol, açúcar, cachaça (bebida alcoólica típica do Brasil),

entre outros (Mendonça et al., 2018). A invariabilidade ou limitação do Brix pela irrigação corrobora com Singh et al., (2018), Liu et al. (2017) e Dhanapal & Geetha (2019). Quanto ao aspecto da qualidade tecnológica, os colmos são constituídos por suco, que é formado por água e sólidos solúveis totais (Brix) e não solúveis (fibra), assim maiores disponibilidades hídricas aumentam a absorção água pela cultura, e pode promover maior período vegetativo e conseqüentemente da diluição dos sólidos solúveis, acarretando menores valores de ATR, conforme observado neste e em demais estudos. Os resultados evidenciam que a irrigação de salvamento aplicada toda de uma vez foi mais eficiente para o desenvolvimento da cultura, sendo um resultado importante para o setor, pois de acordo com Gunarathna et al. (2018), os sistemas de cultivo de cana-de-açúcar de sequeiro estão gradualmente sendo substituídos por sistemas de cultivo irrigado, sempre que essa transição é possível, estimulando a adoção de manejos e sistemas de irrigação mais eficientes economicamente e sustentáveis.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para tonelada de colmos por hectare (TCH), tonelada de ponteiros por hectare (TPH), tonelada de açúcar por hectare (TAH), açúcares totais recuperáveis (ATR) e Brix da cana-de-açúcar, var. SP80-1816 submetida a diferentes manejos de irrigação de salvamento (P. irrigação) e doses de zinco.

FV	GL	Quadrado médio				
		TCH	TPH	TAH	ATR	Brix
P. irrigação	1	1174,74 ^{ns}	269,47 ^{ns}	59,06 ^{ns}	377,62*	8,52 ^{ns}
Bloco	2	882,57 ^{ns}	16,49 ^{ns}	22,90 ^{ns}	19,14 ^{ns}	1,20 ^{ns}
Resíduo (a)	2	1546,10	8,73	33,73	4,05	0,45
Dose	3	1574,33 ^{ns}	39,92 ^{ns}	27,74 ^{ns}	89,71**	1,99*
Lâmina x Dose	3	3226,61**	44,90 ^{ns}	58,29*	21,09 ^{ns}	0,76 ^{ns}
Resíduo (b)	12	542,62	22,44	13,35	14,05	0,53
CV % (a)		22,76	22,39	26,04	3,12	5,53
CV % (b)		17,85	26,13	19,89	2,67	3,68
		----- t ha ⁻¹ -----			kg t ⁻¹	°Bx
P. Irrigação	60	137,49 a	21,48 a	19,94 a	144,35 a	20,48 a
	30+30	123,50 a	14,78 a	16,80 a	136,42 b	19,29 a

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; *Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Para o ATR nenhuma das equações estudadas se ajustou para o comportamento dos dados. Esta variável é altamente correlacionada com o Pol, conforme se observa na Figura 6. Assim, este comportamento vai de encontro a afirmação de Marangoni et al. (2019), que descrevem a influência do Zn no Pol não é clara para solos tropicais, pois não há respostas estáveis desta variável em estudos relacionados a adubação de Zn, sendo que

tal resultado é possivelmente associado com a variedade plantada e equilíbrio adequado de nutrientes no solo.

No manejo sem parcelamento da irrigação não houve equações que se ajustaram para as doses de Zn nas variáveis TCH e TAH, conforme observado na Figura 4. Quanto ao manejo com parcelamento, percebe-se que a equação de segundo grau se ajustou para essas variáveis, mas não as representaram de forma justificáveis, demonstrando que as doses de Zn não promoveram incrementos reais para essas variáveis produtivas. O resultado encontrado corrobora com os descritos por Teixeira Filho et al. (2015), que observaram aumento dos teores foliares de Zn na cana-de-açúcar, mas não constataram incrementos na altura de planta e TCH.

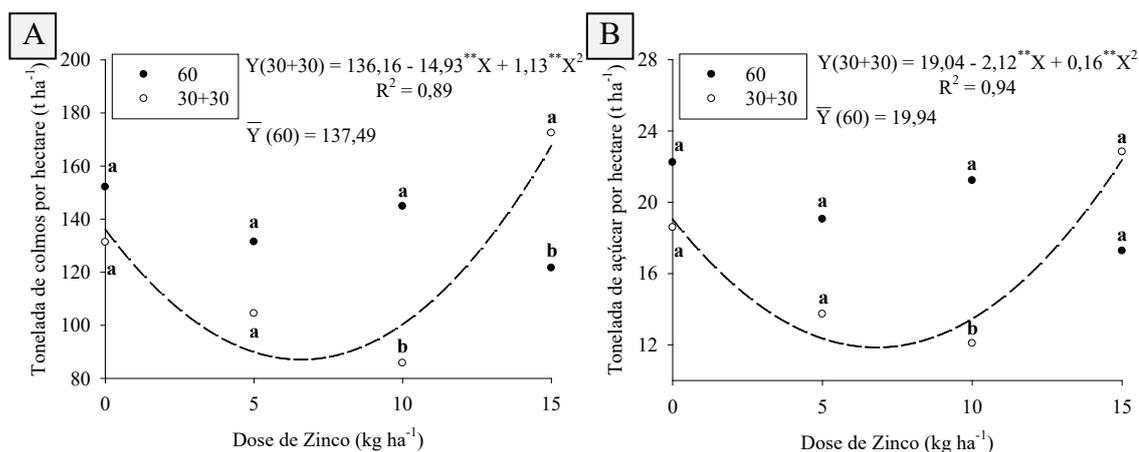


Figura 4. Tonelada de colmos por hectare (A) e açúcar (B) da cana-de-açúcar variedade SP 80-1816, em função de diferentes doses de zinco dentro de cada período de irrigação.

Essa baixa resposta da cana-de-açúcar a adubação com Zn, provavelmente está associada aos bons níveis do nutriente presente no solo inicialmente (Tabela 1), dificultando a resposta da cultura a adubação (Sousa & Lobato, 2004). Também pode estar associada a boa disponibilidade hídrica e a irrigação de salvamento realizada, pois de acordo com Teixeira Filho et al. (2015), uma hipótese para o não efeito da adubação com zinco na produtividade da cana-de-açúcar, é a boa disponibilidade hídrica durante o período vegetativo da cultura, pois isso poderia favorecer melhor desenvolvimento da raiz e, essas conseqüentemente terem explorado maior volume de solo e, portanto, absorvido mais Zn do solo. Adorna et al. (2013), estudando adubação com Zn e B cana-de-açúcar, cultivada em diferentes locais e níveis de fertilidade, constataram que os incrementos com a aplicação de Zn é mais significava em solos arenosos, de baixa fertilidade e sem aplicação de adubação orgânica no plantio. Entretanto, Mellis et al. (2016) encontraram

respostas mais expressivas com aplicação de Zn mesmo em ambientes mais férteis. Sendo assim, pode-se julgar que outros fatores podem afetar a resposta da cana-de-açúcar sob aplicação de Zn, como material genético e disponibilidade hídrica por exemplo. Assim, também há suporte para interação existente entre adubação com Zn e o parcelamento da irrigação encontrado no presente estudo.

Considerando a análise multivariada através das componentes principais, percebe-se que as duas primeiras componentes, componente principal 1 (PC1) e componente principal 2 (PC2) dos conjuntos de variáveis biométricas, produtivas e nutricional foram responsáveis por 89,5%, 93,2% e 72,8 da variação total dos dados, respectivamente (Figura 5A, 5B e 5C). Sendo assim, essas duas PC descrevem bem os dados, de acordo com o critério de seleção sugerido por Kaiser (1960), em que as somas das variâncias devem ser no mínimo de 70%.

Os dados produtivos de TPH, ATR e TAH foram bem representados pela PC1 enquanto TCH e o Brix pela PC2. Neste sentido, a tendência dos maiores valores representados pela PC1 estão associados ao tratamento sem parcelamento de irrigação e dose 0 de Zn (60Zn0) principalmente (Figura 5B). Nos dados biométricos a AP obteve correlação com a CP2 enquanto o CC, NE, CME e IAF com a CP1. Sendo assim, ressalta-se que o NE e CC por exemplo tenderam a serem superiores sem o parcelamento da irrigação e principalmente nas doses 0 e 15 kg ha⁻¹ de Zn. Já os parcelamentos da irrigação mantiveram os maiores valores para o CME e IAF (Figura 5A). Na nutrição da cana-de-açúcar os nutrientes que tiveram correlação com a PC1 foram N, P, K, B e Mn enquanto o Mg e o Cu com a PC2. O não parcelamento da irrigação proporcionou os melhores scores para o N, P, K e B e o menores valores para o Mn, e ressalta a afirmação anterior, em que o Mn foi importante para a predição das variáveis, mas, percebe-se que os benefícios estão mais ligados aos seus menores níveis na nutrição da cultura. Ressalta-se ainda que o Zn, Fe, S e Ca não se correlacionaram com as duas PC (Figura 5B). Em linhas gerais, confirmando que não houve benefícios com o parcelamento da irrigação e com o fornecimento de Zn via adubação para a variedade SP80-1816, demonstrando que no atual ambiente de estudo não há necessidade de investir no fornecimento de Zn e na irrigação de salvamento parcelada.

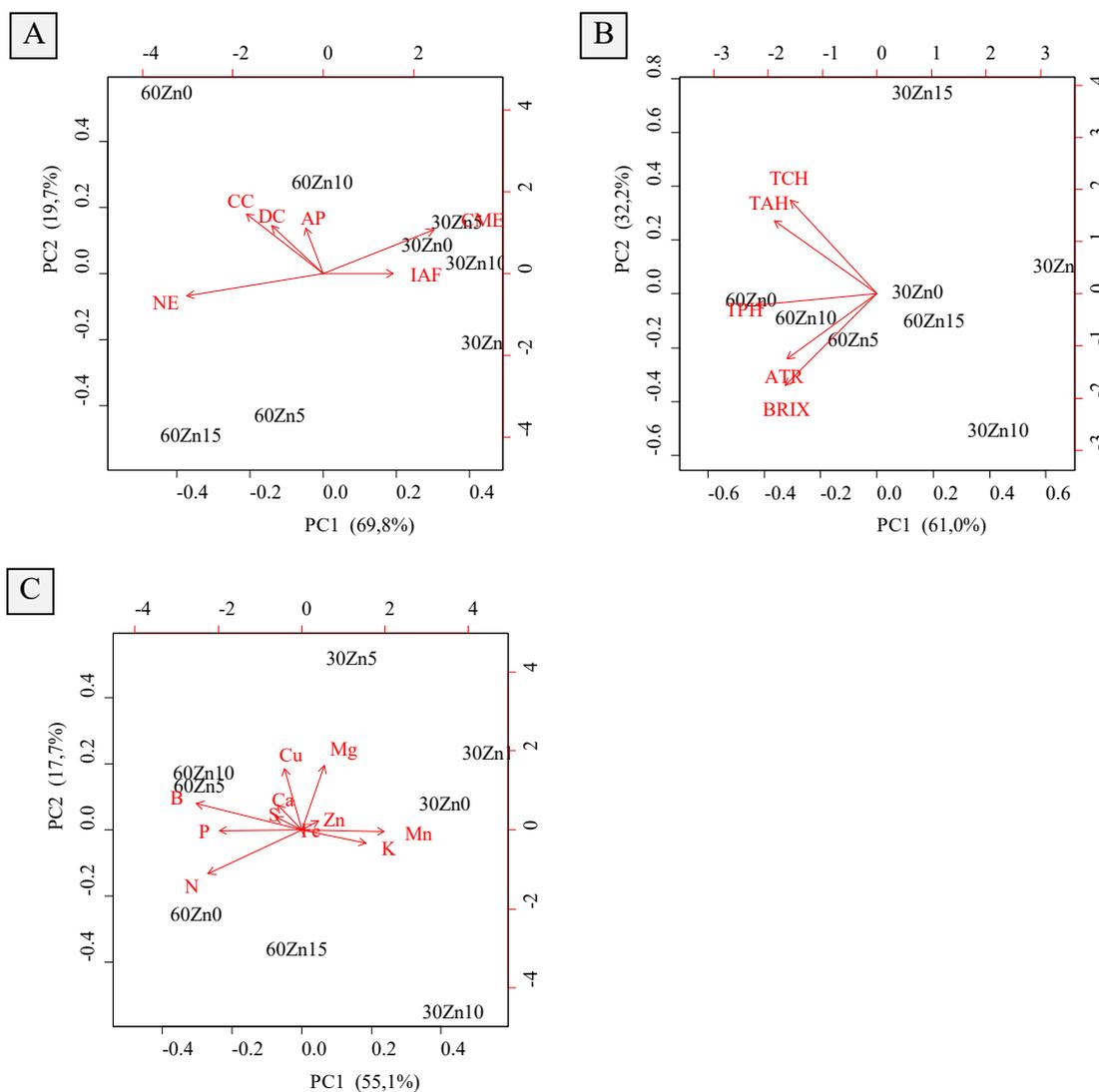


Figura 5. Distribuição das nuvens de fatores e duas componentes principais para as variáveis biométricas (A), produtivas (B) e nutrição foliar (C) da cana-de-açúcar, variedade SP80-1816.

Na Figura 6, pode-se ressaltar que o número de entrenós obteve correlações negativas com o comprimento médio do colmo e o índice de área foliar, sendo coerente, pois, espera-se que quanto maior o comprimento dos entrenós menor é a quantidade de entrenós presente na planta; neste mesmo sentido houve correlação positiva entre o IAF e o CME, e pode ser uma informação importante para auxiliar em estimativas de produtividade por exemplo. Analisando a TAH, que é a variável produtiva mais importante, sabe-se que quanto maior a produtividade e ATR, maiores são os rendimentos da TAH. Desviando um pouco dessas variáveis, resalta-se que a variável com maior correlação para a TAH foi o comprimento do colmo e a altura de planta, sendo importantes atributos para se investir no cultivo.

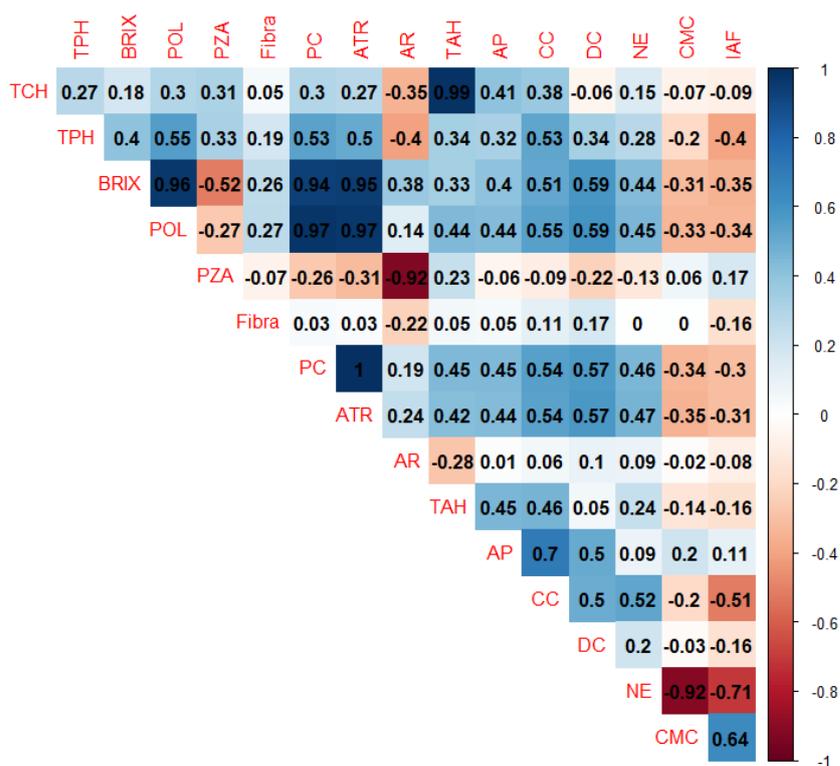


Figura 6. Correlações de Pearson entre as variáveis biométricas e produtivas avaliadas na cana de açúcar var. SP80-1816.

Conclusão

O parcelamento da irrigação de salvamento e o fornecimento de zinco via adubação não promoveram incrementos no rendimento de colmos e de açúcar da cana-de-açúcar.

Os níveis de zinco no solo foram suficientes para expressar o máximo potencial produtivo no ambiente de estudo para a variedade SP80-1816.

Referências bibliográficas

ADORNA J.C., CRUSCIOL C.A.C., ROSSATO, O.B. Fertilization with filter cake and micronutrients in plant cane. Rev. Bras. Cienc. Solo. V.37, p.649-657, 2013.

AHUJA L.R., MA L., ANAPALLI S.S. Biophysical System Models Advance Agricultural Research and Technology: Some Examples and Further Research

Needs. Bridging Among Disciplines by Synthesizing Soil and Plant Processes, v.8, p.1-32, 2019.

BRIEGER F.O. Início da safra. Como determinar a maturação. Boletim Informativo Copereste, v.4, p.1-3, Ribeirão Preto. 1968.

CONSECANA. Manual de instruções. 4. ed. Piracicaba: Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 2003. 115p.

DHANAPAL R., TAYADE A. S., BHASKARAN A., GEETHA, P. Efficient water management in sugarcane with composted coir pith and sugarcane trash under tropical Indian conditions. Sugar Tech, v.21, n.2, p.256-264, 2019.

DHANAPAL R., TAYADE A.S., BHASKARAN A., GEETHA, P. Efficient water management in sugarcane with composted coir pith and sugarcane trash under tropical Indian conditions. Sugar Tech, v.21, n.2, p.256-264, 2019.

DHANAPAL R., TAYADE A. S., BHASKARAN A., GEETHA P. Efficient water management in sugarcane with composted coir pith and sugarcane trash under tropical Indian conditions. Sugar Tech, v.21, n.2, p.256-264, 2019.

FERREIRA T.S., DA CUNHA F.F., FERREIRA L.B., COSTA F.M., DA SILVA NETO, E. (2020). Desenvolvimento inicial da cana-soca sob lâminas de irrigação de salvamento. Agrarian, v.13, n.50, p.493-503, 2020.

GHEVARIYA K., & DESAI, P. Zinc Solubilizing Rhizobacteria Associated with Sugarcane from South Gujarat Region. International Journal of Science and Research (IJSR). 2015.

GUILHERME L.R.G., CORGUINHA A.P.B., SOUZA G.A., SACCO M., MENEZES, M.D. Zinc Availability in Brazilian Agroecosystems. In 4th International Zinc Symposium: Improving Crop Production and Human Health, p. 58, 2015.

GUNARATHNA M.H.J.P., SAKAI K., NAKANDAKARI T., MOMII K., ONODERA T., KANESHIRO H., ... WAKASUGI K. Optimized subsurface irrigation system: the future of sugarcane irrigation. Water, v.10, n.3, p.314, 2018.

IAIA, A. M. Irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar no cerrado de mato grosso. (Tese – Ciências / Agronomia – produção vegetal). Universidade Federal do Paraná. 2014.

INMAN-BAMBER N G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. *Field crops research*, v.89, n.1, p.107-122, 2004.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em Jan 2021.

JABRAN K., CHEEMA, Z.A., FAROOQ M., KHAN M.B. Fertigation and foliar application of fertilizers alone and in combination with *Brassica campestris* (L.) extracts enhances yield in wheat crop. *Crop. Environ.*, v.2, p.42-45, 2017.

JAIN R., SRIVASTAVA S., SOLOMON S., SHRIVASTAVA A.K., CHANDRA, A. Impact of excess zinc on growth parameters, cell division, nutrient accumulation, photosynthetic pigments and oxidative stress of sugarcane (*Saccharum* spp.). *Acta Physiologiae Plantarum*, v.32, n.5, p.979-986, 2010.

KAISER, H.F. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, v.20, p.141-151, 1960.

KOTTEK M., GRIESER J., BECK C., RUDOLF B., RUBEL F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. 2006.

LEAL D.P., COELHO R.D., BARBOSA F.D.S., FRAGA JÚNIOR E.F., MAURI R., SANTOS L.D.C. Water productivity for sugar and biomass of sugarcane varieties. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.9, p.618-622, 2017.

LIU Y., MA H., XIAN A., WANG J., CHEN J., SHI, W. Effects of different nitrogen application methods and irrigation amounts on agronomic characters, nutrient accumulation and yield of sugarcane. *Journal of Southern Agriculture*, v.48, n.2, p.252-258, 2017.

MALAVOLTA E., VITTI G.C., OLIVEIRA S.A. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 308p.

MARANGONI F.F., OTTO R., DE ALMEIDA R.F., CASARIN V., VITTI G.C., TIRITAN C.S. Soluble Sources of Zinc and Boron on Sugarcane Yield in Southeast Brazil. *Sugar Tech*, v.21, n.6, p.917-924, 2019.

MELLIS E.V., QUAGGIO J.A., BECARI G.R.G., TEIXEIRA L.A.J., CANTARELLA H., DIAS F.L.F. Effect of micronutrients soil supplementation on sugarcane in different

production environments: Cane plant cycle. *Agronomy Journal*, v. 108, n. 5, 2060-2070, 2016.

MENDONÇA H.V., MARTINS C.E., DA ROCHA W.S.D., BORGES C.A.V., OMETTO J.P.H.B., OTENI M. H. Biofertilizer replace urea as a source of nitrogen for sugarcane production. *Water, Air, & Soil Pollution*, v.229, n.7, p.1-7. 2018.

MOURA FILHO G., ALBUQUERQUE A.W.D., MOURA, A.B., DOS SANTOS A.C., OLIVEIRA FILHO, M.D.S., SILVA L.C.D. Diagnose nutricional de variedades de cana-de-açúcar em argissolos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.11, p.1102-1109, 2014.

OLIVEIRA M.W., FREIRE F.M., MACÊDO G.A.R., FERREIRA J. J. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. *Informe Agropecuário, Belo Horizonte*, v.28, n.239, p.30-43, 2007.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. URL <https://www.R-project.org/>

SHUKLA A.K., TIWARI P.K., PATRA, A.K., DAS, S. Zinc Nutrition in Soil-Plant-Animal-Human Continuum for Sustaining Food and Nutritional Security in India. In 4th International Zinc Symposium: Improving Crop Production and Human Health (p. 12), 2015.

SILVA R.C.F., SILVA F.B.V., BIONDI C.M., NASCIMENTO C.W.A., OLIVEIRA E.C.A. Assessing the content of micronutrients in soils and sugarcane in different pedogeological contexts of northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.43, 2019.

SINGH I., VERMA R.R., SRIVASTAVA, T. K. Growth, yield, irrigation water use efficiency, juice quality and economics of sugarcane in pusa hydrogel application under different irrigation scheduling. *Sugar tech*, v.20, n.1, p.29-35, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAYADE A.S., VASANTHA S., ANUSHA S., KUMAR, R., HEMAPRABHA G. Irrigation Water Use Efficiency and Water Productivity of Commercial Sugarcane Hybrids under Water-Limited Conditions. *Transactions of the ASABE*, 63(1), 125-132, 2020.

TEIXEIRA FILHO M.C.M., BUZETTI S., GARCIA C.D.P., BENETT C.G.S., BENETT K.S.S., ANDREOTTI M., GALINDO F.S. Rates and sources of zinc applied in sugarcane grown on sandy soil in Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, v.10, n.6, 477-484, 2015.

TEIXEIRA, W.G. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 3ª edição revista e ampliada. Embrapa, Brasília, DF, 574p., 2017.

TITSHALL L.W., MILES N., MTHIMKHULU S. S. Copper, iron, manganese and zinc in soil and leaf samples from southern and eastern African sugarcane-producing regions. In: *Proceedings of the Annual Congress-South African Sugar Technologists' Association*. South African Sugar Technologists' Association, p.139-154, 2018.

VEYSI S., NASERI A.A., HAMZEH S., BARTHOLOMEUS, H. A satellite-based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields. *Agricultural water management*, v.189, p.70-86, 2017.

WILKS DS. (1995). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: an introduction*. International Geophysics Series, Academic Press. 1995, 464p.

CONCLUSÃO GERAL

A variedade RB92-579 respondeu positivamente ao parcelamento da irrigação de salvamento com grandes incrementos nos atributos biométricos e nos rendimentos finais da cultura, enquanto a variedade SP80-1816 não respondeu ao parcelamento da irrigação.

Na variedade RB92-579 que respondeu positivamente ao parcelamento da irrigação, cujo fornecimento de zinco via adubação melhorou importantes atributos biométricos e de qualidade industrial, sendo que as doses de zinco mais interessantes foram entre 5 e 10 kg ha⁻¹.

Os níveis de zinco no solo antes do plantio na camada de 0-20 cm de profundidade (2,3 - 3,9) foram suficientes para manter o máximo rendimento de colmos e de açúcar da cultura, não sendo necessário complementação via adubação.

Para respostas mais expressivas quanto ao maior fornecimento de zinco em áreas de Cerrado, deve-se estudar ambientes com menores teores no solo, de modo que o manejo da irrigação é um fator importante e complementar para ser associado aos demais estudos de nutrição da cana-de-açúcar.