

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

**DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E
QUALIDADE INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR
FERTIRRIGADA COM NITROGÊNIO E ZINCO**

Autor: Fernando Nobre Cunha
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

RIO VERDE - GO
NOVEMBRO – 2017

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

**DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E
QUALIDADE INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR
FERTIRRIGADA COM NITROGÊNIO E ZINCO**

Autor: Fernando Nobre Cunha
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Tese apresentada como parte das exigências para 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 em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde - GO
Novembro – 2017

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

CC972d Cunha, Fernando Nobre
Desenvolvimento, produtividade e qualidade industrial da cana-de-açúcar fertirrigada com nitrogênio e zinco / Fernando Nobre Cunha; orientador Marconi Batista Teixeira; co-orientador Frederico Antonio Loureiro Soares. -- Rio Verde, 2017.
84 p.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia)
-- Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde, 2017.

1. Saccharum spp.. 2. cana-planta. 3. ureia. 4. sulfato de zinco. 5. Cerrado. I. Teixeira, Marconi Batista, orient. II. Soares, Frederico Antonio Loureiro, co-orient. III. Título.

**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**

**DESENVOLVIMENTO, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE
INDUSTRIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM
NITROGÊNIO E ZINCO**

Autor: Fernando Nobre Cunha
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Coorientadores: Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares
Prof. Dr. Antonio Evami Cavalcante Sousa

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

APROVADA em 23 de novembro de 2017.

Prof. Dr. Edson Cabral da Silva
Avaliador interno
IF Goiano/RV

Prof. Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos
Avaliador interno
IF Goiano/RV

Prof. Dr. Cicero Teixeira Silva Costa
Avaliador externo
IFMS - Campus Naviraí

Dr. Antonio Evami Cavalcante Sousa
Avaliador interno
IFGoiano – Campus Ceres

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Presidente da banca
IF Goiano/RV

DEDICATÓRIA

A DEUS e ao Senhor JESUS, pela vida, saúde e força nos momentos de dificuldades, e por abrir meus olhos, para compreender um pouco mais a respeito do seu vasto propósito para a vida. Toda honra e glória ao Senhor DEUS e ao Senhor JESUS, por toda a eternidade.

À minha família, aos meus pais, Oneide Nobre e Ernane da Silveira, ao meu padrasto José Peixoto de Jesus, por todo amor, conselhos, ajuda e confiança que depositaram em mim e por apesar dos sacrifícios não desistiram de apoiar à minha educação. À minha irmã Gabriela Nobre e ao meu tio Divino José, por estarem sempre ao meu lado, em todas as situações.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos de maneira especial aos amigos, parceiros e colegas de curso e de laboratório Nelmício Furtado da Silva, Luciana Minervina de Freitas Moura, Wilker Alves Moraes, Vitor Marques Vidal, Flávio Henrique Ferreira Gomes, Ana Carolina Oliveira Horschutz, Cláudio Carvalho dos Santos, Fernando Rodrigues Cabral Filho, Daniely Karen Matias Alves, Rannaiany Teixeira Manso, Eduardo Sousa Cunha, Giovani Santos Moraes, Rhayane Carvalho Roque, Taynara Leopoldo da Silva, Gustavo da Silva Vieira, Fernando Cesar Souza, Alefe Viana Souza Bastos, Caroline Loureiro do Nascimento Silva, Laura Campos de Lira, Lays Borges dos Santos Cabral e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, pelos incentivos constantes, apoio e amizade dispensados ao longo de todo curso de pós-graduação, cuja contribuição através de discussões e troca de experiência foi de grande importância e relevância.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, todo pessoal envolvido (Diretoria, coordenação, secretaria e etc.), principalmente em nome do Professor Dr. Osvaldo Resende e Alan Carlos Costa. À Vanilda Maria Campos e Angélica Ferreira Melo, pela paciência e apoio desde a matrícula a defesa da tese, ao IFGoiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade e suporte concedido para a realização desse curso de pós-graduação e pelo desenvolvimento deste trabalho.

Aos Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira, Frederico Antônio Loureiro Soares, Edson Cabral da Silva, Antonio Evami Cavalcante Sousa, Cicero Teixeira Silva Costa e Leonardo Nazário Silva dos Santos, por todo o apoio, orientação e ensinamentos ao longo da execução deste trabalho e sobre tudo pela valiosa demonstração de amizade no decorrer desta caminhada. Aos Professores Edson Souchie e Carlos Rodrigues, pelos gestos de incentivo e amizade. Aos funcionários de todos os Departamentos da Instituição, pela atenção, colaboração e auxílio no desenvolvimento desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudo, pelas verbas de auxílio financeiro ao projeto e fomento à pesquisa. Ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelas concessões de bolsas de estudos, pelas verbas de auxílio financeiro ao projeto e fomento à pesquisa de maneira geral.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Fernando Nobre Cunha, filho de Oneide Nobre da Cunha e Ernane da Silveira Cunha, nasceu no dia 02 de janeiro de 1985, na cidade de Rio Verde, Goiás.

No mês de fevereiro de 2003, iniciou no curso de Tecnologia em produção de grãos no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - GO, finalizando em dezembro de 2005.

Em agosto de 2008, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - GO, graduando-se em maio de 2013.

Em 2010, durante o curso superior ingressou na Iniciação Científica (IC) na área de Irrigação e Drenagem, como bolsista (PIBIC/CNPq), sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, até a conclusão da graduação em 2013.

Em agosto de 2013, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus de Rio Verde - GO, como bolsista (CAPES), sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, concluindo em agosto de 2014.

Em agosto de 2014, iniciou o curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus de Rio Verde - GO, como bolsista (CAPES), sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, concluindo em novembro de 2017.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	xii
RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	15
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo geral.....	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
4 CAPÍTULO I.....	24
4.1 Introdução.....	25
4.2 Material e Métodos.....	26
4.3 Resultados e Discussão.....	30
4.4 Conclusões.....	49
4.5 Agradecimentos.....	50
4.6 Referências Bibliográficas.....	50
5 CAPÍTULO II.....	59
5.1 Introdução.....	60
5.2 Material e Métodos.....	62
5.3 Resultados e Discussão.....	65
5.4 Conclusões.....	76
5.5 Agradecimentos.....	76
5.6 Referências Bibliográficas.....	77
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I	Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com nitrogênio e zinco.....	24
Tabela 1.	Características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural do solo da área experimental, Jataí-GO, safra 2014/15.....	28
Tabela 2.	Resumo da análise de variância para a variáveis altura de planta (AP) e diâmetro de colmo (DC) de cana-de-açúcar (cana-planta) fertirrigada com nitrogênio (N) e zinco (Zn), Jataí-GO, safra 2014/15.....	30
Tabela 3.	Resumo da análise de variância para a variável produtividade de colmos (PC) de cana-de-açúcar (cana-planta) fertirrigada com nitrogênio (N) e zinco (Zn), Jataí-GO, safra 2014/15.....	31
CAPÍTULO II	Rendimento de açúcar e álcool de cana-de-açúcar submetida à fertirrigação com nitrogênio e zinco.....	59
Tabela 1.	Características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural do solo da área experimental, Jataí-GO, safra 2014/15.....	63
Tabela 2.	Resumo da análise de variância para as variáveis sólidos solúveis totais (Brix), peso do bagaço úmido (PBU), açúcar redutor do caldo (AR%CE) e da cana (AR%CA), fibra industrial (FIB) e pureza (PZA) da cana-de-açúcar (cana-planta) fertirrigada com nitrogênio (N) e zinco (Zn), Jataí-GO, safra 2014/15.....	66
Tabela 3.	Resumo da análise de variância para as variáveis Pol do caldo (Pol %caldo), Pol da cana (Pol %cana), açúcar total recuperável (ATR), rendimento de açúcar (RAç) e de álcool (RA) da cana-de-açúcar (cana-planta) fertirrigada com nitrogênio (N) e zinco (Zn), Jataí-GO, safra 2014/15.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I	Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com nitrogênio e zinco.....	24
Figura 1.	Dados quinzenais, precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa no período decorrente do experimento, Jataí-GO, safra 2014/15.....	27
Figura 2.	Altura de planta de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio aos 210, 250, 290 e 330 dias após o plantio (DAP) para as doses de zinco de 0 (A), 2,5 (B), 5,0 (C), 7,5 (D) e 10 kg ha ⁻¹ (E), Jataí-GO, safra 2014/15.....	32
Figura 3.	Altura de planta de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de zinco aos 210, 250, 290 e 330 dias após o plantio (DAP) para as doses de nitrogênio de 0 (A), 60 (B), 120 (C) e 180 kg ha ⁻¹ (D), Jataí-GO, safra 2014/15.....	36
Figura 4.	Altura de planta de cana-de-açúcar (cana-planta) em função dos dias após o plantio (DAP) nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha ⁻¹ para as doses de nitrogênio de 0 (A), 60 (B), 120 (C) e 180 kg ha ⁻¹ (D), Jataí-GO, safra 2014/15.....	39
Figura 5.	Diâmetro de colmo de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio aos 210, 250, 290 e 330 dias após o plantio (DAP) para as doses de zinco de 0 (A), 2,5 (B), 5,0 (C), 7,5 (D) e 10 kg ha ⁻¹ (E), Jataí-GO, safra 2014/15.....	41
Figura 6.	Diâmetro de colmo de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de zinco aos 210, 250, 290 e 330 dias após o plantio (DAP) para as doses de nitrogênio de 0 (A), 60 (B), 120 (C) e 180 kg ha ⁻¹ (D), Jataí-GO, safra 2014/15.....	43
Figura 7.	Diâmetro de colmo de cana-de-açúcar (cana-planta) em função dos dias após o plantio (DAP) nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha ⁻¹ para as doses de nitrogênio de 0 (A), 60 (B), 120 (C) e 180 kg ha ⁻¹ (D), Jataí-GO, safra 2014/15.....	46

	Produtividade de colmos de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e doses de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.....	48
Figura 8.		
CAPÍTULO II	Rendimento de açúcar e álcool de cana-de-açúcar submetida à fertirrigação com nitrogênio e zinco.....	59
	Dados quinzenais de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa ocorridas no período decorrente do experimento, Jataí-GO, safra 2014/15.....	62
Figura 1.		
	Sólidos solúveis totais (Brix) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.....	68
Figura 2.		
	Peso do bagaço úmido (PBU) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.....	69
Figura 3.		
	Pureza (PZA) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15....	69
Figura 4.		
	Pol do caldo (Pol %caldo) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.....	70
Figura 5.		
	Pol da cana (Pol %cana) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.....	71
Figura 6.		
	Açúcar total recuperável (ATR) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.....	72
Figura 7.		
	Rendimento de açúcar da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e doses de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.....	74
Figura 8.		
	Rendimento de álcool da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e doses de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.....	75
Figura 9.		

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

A.....	Área da parcela irrigada (m^2)
Al.....	Alumínio ($mmol_c dm^{-3}$)
AP.....	Altura de planta (cm)
AR%CA.....	Açúcar redutor da cana (%)
AR%CE.....	Açúcar redutor do caldo (%)
ARL.....	Açúcares redutores livres (%)
ATR.....	Açúcar total recuperável ($kg t^{-1}$)
B.....	Boro ($mg dm^{-3}$)
Ca.....	Cálcio ($mmol_c dm^{-3}$)
CC.....	Capacidade de campo (%)
CTC.....	Capacidade de troca de cátions ($mmol_c dm^{-3}$)
Cu.....	Cobre ($mg dm^{-3}$)
CV.....	Coefficiente de variação (%)
DAC	Dias após o corte
DAP.....	Dias após o plantio
DC	Diâmetro de colmo (mm)
Dp.....	Densidade de partículas
Ds.....	Densidade do solo ($g cm^{-3}$)
EUA.....	Eficiência de uso da água ($mm Mg^{-1} ha^{-1}$)
F.....	Fator de transformação estequiométrica de sacarose
Fe.....	Ferro ($mg dm^{-3}$)
Fg.....	Fator de Gay Lussac
FIB.....	Fibra industrial (%)
H.....	Hidrogênio ($mmol dm^{-3}$)
K.....	Potássio ($mg dm^{-3}$)
Kc.....	Coefficiente da cultura
LA.....	Lâmina aplicada durante o experimento
LL.....	Lâmina a ser aplicada (mm)
Mg.....	Magnésio ($mmol_c dm^{-3}$)
Mn.....	Manganês ($mg dm^{-3}$)
MO.....	Matéria orgânica ($g dm^{-3}$)
N.....	Nitrogênio

NPI.....	Número de perfis industrializáveis
P.....	Fósforo (mg dm^{-3})
PBU.....	Peso do bagaço úmido (%)
PC.....	Produção de colmos (kg ha^{-1})
PCC.....	Quantidade de açúcar bruto (%)
PCH.....	Produtividade de colmos/hectare (Mg ha^{-1})
PE.....	Precipitação efetiva
pH.....	Potencial Hidrogeniônico (CaCl_2)
PMP.....	Ponto de murcha permanente (%)
Pol%caldo.....	Pol do caldo (%)
Pol%cana.....	Pol da cana (%)
PT.....	Porosidade total ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
PZA.....	Pureza (%)
Q.....	Vazão do sistema ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$)
<i>Q_{média}</i>	Vazão média (L h^{-1})
RA.....	Rendimento bruto de álcool ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)
RAç.....	Rendimento bruto de açúcar (ton ha^{-1})
RH.....	Reposição hídrica
S.....	Enxofre (mg dm^{-3})
UR.....	Umidade Relativa (%)
V.....	Saturação por bases (%)
VTA.....	Volume total de água aplicado pela irrigação
Z.....	Profundidade do solo (cm)
Zn.....	Zinco (mg dm^{-3})
θ	Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)
θ_{CC}	Capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)
θ_{PMP}	Ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)

RESUMO

CUNHA, Fernando Nobre. **Desenvolvimento, produtividade e qualidade industrial da cana-de-açúcar fertirrigada com nitrogênio e zinco**. 2017. 84p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia) Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - GO.

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas brasileiras, apresentando-se como uma cultura de grande importância para a economia, principalmente por causa da exportação de açúcar, álcool e energia. Objetivou-se avaliar o crescimento e desenvolvimento, a produtividade de colmos, a qualidade industrial, o rendimento bruto de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000), irrigada por pivô central, submetida à fertirrigação com nitrogênio e zinco, no ciclo de cana-planta, em Latossolo Vermelho de Cerrado. O experimento foi conduzido em condições de campo, em área da Fazenda Rio Paraíso II pertencente à Usina Raízen, no município de Jataí-GO. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, muito argiloso, fase cerrado. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 4 x 5 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹), na forma de ureia; cinco doses de zinco (0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹), na forma de sulfato de zinco; quatro épocas de avaliações (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio – DAP). As parcelas foram constituídas por seis linhas de cana-de-açúcar de 5 m de comprimento espaçadas 1,50 m entre si. A área útil da parcela abrangeu as duas linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 2 m em cada extremidade. As variáveis avaliadas foram à altura de planta, o diâmetro de colmo, a produtividade de colmos, sólidos solúveis totais (Brix), peso do bagaço úmido (PBU), açúcar redutor do caldo (AR%CE) e da cana (AR%CA), fibra industrial (FIB), pureza (PZA), Pol do caldo (Pol %caldo), Pol da cana (Pol %cana), açúcar total recuperável (ATR), rendimento bruto de açúcar e de álcool. A irrigação foi realizada por um pivô central. A aplicação de diferentes doses de nitrogênio e zinco via fertirrigação influenciam o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar promovendo incrementos na produtividade de colmos e na qualidade tecnológica.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., cana-planta, ureia, sulfato de zinco, Cerrado.

ABSTRACT

CUNHA, Fernando Nobre. **Development, productivity and industrial quality of sugarcane fertirrigated with nitrogen and zinc**. 2017. 84p. Thesis (Doctor in Agricultural Sciences - Agronomy) Goiano Federal Institute – Campus Rio Verde – GO.

Sugarcane is one of the main Brazilian agricultural crops, evidencing as a culture of great importance to the Brazilian economy, mainly because of the export of sugar, alcohol and energy. The objective of this study was to evaluate the growth and development, stalk productivity, technological quality, yield of sugar and ethanol of sugarcane (IACSP 95-5000 variety) irrigated by central pivot, submitted to fertirrigation with nitrogen and zinc, in the cane-plant cycle, in Red Oxisol of Cerrado (savannah) phase. The experiment was conducted in field conditions in an area of the Rio Paraiso II Farm belonging to the Raízen industry, in the municipality of Jataí-GO, Brazil. The soil of the experimental area is classified as dystroferric Red Oxisol (Rhodic Hapludox), very clayey, cerrado (savannah) phase. The experimental design used was randomized block, analyzed in split-split-plot 4 x 5 x 4, with three replicates. The treatments consisted of four nitrogen doses (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹) as urea; five doses of zinc (0, 2.5, 5.0, 7.5 and 10 kg ha⁻¹) as zinc sulphate; four evaluations times (210, 250, 290 and 330 day after planting - DAP) in sugarcane of first year. The plots consisted of six lines of sugarcane of 5 m long, spaced 1.50 m apart. The area used by plot was two central lines of each plot, disregarding 2 m at each end. The variables evaluated were plant height, stalk diameter, productivity, soluble solids (Brix), bagasse weight (BW), juice reducing sugar (AR%CE), reducing sugar (AR%CA), industrial fiber (FIB), apparent purity (AP), juice apparent sucrose (Pol %juice), apparent sucrose (Pol %cane), total recoverable sugar (TRS), yield of sugar and ethanol. A central pivot realized the irrigation. The application of different doses of nitrogen and zinc by fertirrigation influences the growth and development of sugarcane promoting increases in stalk productivity and technological quality.

Key words: *Saccharum* spp, cane-plant, urea, zinc sulfate, yield, Oxisol, Cerrado

1.0 INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas brasileiras apresentando-se como uma cultura de grande importância para a economia, principalmente por causa da exportação de açúcar, álcool e energia, com isto o Brasil se destaca no cenário atual como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (UNICA, 2006; CHAVES et al., 2015; CONAB, 2016). A área colhida de cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2015/16 foi de 8.654,2 mil hectares. São Paulo, maior produtor, possui 52% (4.498,3 mil hectares), seguido por Goiás com 10,4% (885,8 mil hectares). A produção de cana-de-açúcar para a safra 2015/16 é de 665,6 milhões de toneladas, a área cultivada foi de 8.654,2 mil hectares, a produção de açúcar atingiu 33,5 milhões de toneladas e a produção de etanol total foi de 30,5 bilhões de litros (CONAB, 2016).

Atualmente, a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis, demonstrando relevância no cenário agrícola brasileiro e ocupando posição de destaque no cenário mundial, conseqüentemente os produtos energéticos da cana-de-açúcar, podem ser um caminho para ajudar na redução de emissões de gases do efeito estufa e da dependência de fontes fósseis (MAULLE et al., 2001; OLIVERA, 2013; MALUF, 2014).

A crescente demanda pelos produtos derivados da cana-de-açúcar tem impulsionado a realização de pesquisas que visam o entendimento da relação de fatores físicos e climáticos do ambiente de cultivo com o crescimento e desenvolvimento da planta, buscando, assim, a otimização dos recursos ambientais disponíveis (BATISTA, 2012).

Um suprimento adequado de água é essencial para o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, que tem demanda hídrica entre 1500 a 2500 mm. Isto se torna mais importante, pois geralmente a cultura está sujeita a ocorrência de déficit hídrico em determinados estádios do seu desenvolvimento, de tal modo que mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição irregular das chuvas pode, em alguns períodos, limitar o crescimento (DOOREMBOS; KASSAN, 1979; DANTAS NETO et al., 2006; LYRA et al., 2012).

Portanto, para que se possa obter produtividades favoráveis, melhores índices tecnológicos, maiores rendimentos de açúcar e de álcool, atingindo o potencial genético da cultura, com o auxílio da irrigação, seja ela suplementar ou não, faz-se necessário o

respeito a alguns critérios essenciais à otimização do uso desse recurso natural, pois empregando a irrigação, pode-se atingir valores elevados de biomassa em cana-planta (OLIVEIRA, 2003; FARIAS, 2006; SILVA et al., 2014).

A irrigação pode ser encontrada na maioria das áreas agrícolas tecnificadas, pois esta técnica se traduz em maiores produtividades, fazendo com que existam diversos tipos de irrigação, que podem ser escolhidos de acordo com o relevo, tipo de cultura e eficiência, com isto os métodos mais utilizados são irrigação por aspersão mecanizada (pivô central), irrigação por sulcos e irrigação localizada (DALRI, 2002; KUNZ et al., 2014). O sistema pivô central é apropriado para irrigar áreas individuais maiores, utilizado em terras altas na região dos Cerrados, este tem como vantagens a elevada eficiência de aplicação, baixo consumo de energia, exige menos mão de obra e possibilita a automação; nesse sistema os manejos mais comuns no cultivo da cana-de-açúcar são: irrigação de salvamento e irrigação plena. (CINTRA et al., 2008; CARVALHO et al., 2013; PEREIRA et al., 2015).

Nesse sentido, o manejo de água adequado é estratégico durante todo o ciclo da cana-de-açúcar, sendo um aspecto de grande importância para auxiliar no planejamento da produção e determinar a adoção de sistemas de irrigação. Além disso, também é relevante a obtenção de informações agrometeorológicas que auxiliem no gerenciamento dos recursos hídricos, para com isto aumentar a eficiência do uso da água no sistema de produção (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; SOUZA, 2016). Como efeito direto do uso da irrigação no canavial, pode-se verificar o aumento da produtividade agrícola e a longevidade das soqueiras, e como efeito indireto a redução no custo de transporte da cana-de-açúcar, quando irrigada próximo à unidade industrial e a possibilidade de realizar fertirrigação, existindo deste modo potencial de viabilidade econômica para a irrigação de cana-de-açúcar na região do Cerrado brasileiro (MATIOLI et al., 1998; PEREIRA et al., 2015).

A aplicação de nutrientes via fertirrigação é considerada a alternativa mais econômica e contribui para a melhoria da fertilidade dos solos e produtividade, logo a fertirrigação em substituição à adubação convencional, deve ser feita com sistema de irrigação que garanta alta performance na distribuição da água (BERNARDO, 2006; OLIVEIRA; VILLAS BOAS, 2008; ROCHA, 2013).

Os nutrientes com forte interação com a matriz do solo, como por exemplo o zinco a elevação da umidade do solo, com a utilização da irrigação ou sua aplicação via

fertirrigação, aumenta a eficiência da adubação, promovendo incrementos no rendimento das culturas (CARRIJO et al., 2004; ANDRADE JÚNIOR et al., 2012; SOUZA et al., 2015). O Zn, está associado com o metabolismo de carboidratos e de fosfato, além da síntese de enzimas como as desidrogenases, proteinases e peptidases, isto porque muitas enzimas requerem íons de zinco (Zn^{2+}) para suas atividades e este elemento pode ser exigido para a síntese de clorofila em algumas plantas (CHERIF et al., 2011; KABATA-PENDIAS, 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O zinco é o micronutriente que mais frequentemente causa deficiência nutricional, tal situação pode estar sendo agravada, com a expansão da cultura para regiões com ambientes de produção menos favoráveis, e o zinco é geralmente o micronutriente mais carente pelo pobre material de origem destes solos, além disso o zinco tem sido pouco estudado, enquanto micronutriente importante para o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar (FARIAS, 2006; QUINTANA, 2010; TEIXEIRA FILHO, 2011).

O nitrogênio é o segundo nutriente mais absorvido pela cana-de-açúcar, possui papel fundamental no desenvolvimento e potencial produtivo da cana-de-açúcar, sendo constituinte compostos como clorofila, proteínas e enzimas relacionadas com os processos fisiológicos, tais como fotossíntese e respiração (MALAVOLTA et al., 1997; FAGERIA et al. 2005; COLETI et al., 2006; KINGSTON, 2014). O N é o elemento químico com maior aplicação/emprego na fertirrigação, pois esse nutriente apresenta alta lixiviação e volatilização no solo (QUINTANA, 2010).

Com a fertirrigação de N é possível diminuir em aproximadamente 30% da adubação nitrogenada em relação ao cultivo de sequeiro, de tal modo que a aplicação de N, na forma de ureia, via fertirrigação, pode proporcionar elevada produtividade, com máxima eficiência econômica (KWONG et al., 1999; ESPERANCINI et al., 2015). Entretanto, os resultados obtidos com a aplicação de N em cana-de-açúcar ainda são bastante contraditórios, pois a resposta da cana-planta à adubação nitrogenada é considerada baixa, cuja resposta é menor e menos frequente do que no ciclo da cana-soca (FRANCO et al., 2010; PEREIRA, 2011).

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o crescimento e desenvolvimento, a produtividade de colmos, a qualidade industrial, o rendimento bruto de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000), irrigada por pivô central, submetida à fertirrigação com nitrogênio e zinco, no ciclo de cana-planta, em Latossolo Vermelho de Cerrado.

2.2 Objetivos específicos

Determinar a dose de nitrogênio e de zinco que proporcione a maior altura de planta e diâmetro de colmo da cana-de-açúcar.

Quantificar os incrementos no crescimento e formação dos colmos provenientes da fertirrigação com nitrogênio e zinco.

Identificar a melhor dose de nitrogênio e de zinco, que propicie a maior produtividade de colmo, rendimento de açúcar e de álcool para a cana-de-açúcar.

Determinar o efeito da fertirrigação com nitrogênio e zinco nos atributos tecnológicos da cana-de-açúcar.

3.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; DUARTE, J. A. L.; BRAGA, D. L.; NOLETO, D. H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.47, n.1, p.76-84, jan. 2012.
- BATISTA, E. L. S. **Efeito do estresse hídrico sobre o crescimento de cultivares de cana-de-açúcar**. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 117p., 2012.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.
- CARRIJO, O. A.; SOUSA, R. B. de; MAROUELLI, W. A.; ANDRADE R. J. Circular Técnica 32: **fertirrigação de hortaliças**, EMBRAPA DF, 2004,13p.
- CARVALHO, I. R.; KORCELSKI, C.; PELISSARI, G.; HANUS, A. D.; ROSA, G. M. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 2013 969, 2013.
- CHAVES, V. A.; SANTOS, S. G.; SCHULTZ, N.; PEREIRA, W.; SOUSA, J. S.; MONTEIRO, R. C.; REIS, V. M. Desenvolvimento inicial de duas variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas. **R. Bras. Ci. Solo**, 39:1595-1602, 2015.
- CHERIF, J.; MEDIOUNI, C.; AMMAR, W.B.; JEMAL, F. Interactions of zinc and cadmium toxicity in their effects on growth and in antioxidative systems in tomato plants (*Solanum lycopersicum*). **J. Environ. Sci.** 23(5), 837-844. 2011.
- CINTRA, J. E. V.; FERREIRA, G. H.; BRASIL, R. P. C. Viabilidade da irrigação suplementar na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar em regiões com déficit hídrico. **Revista Nucleus**, Ituverava, edição especial, p. 111-119, 2008.
- COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D.; OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB83486 e SP81-3250. **STAB**, 24:32-36, 2006.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Safra 2015/16. Companhia Nacional de Abastecimento. v. 2, n. 4, 76 p. Abr./ 2016.
- DALRI, B. A. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Irriga**, Botucatu, v.7, n.1, 2002.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana -de -açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e

- adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p.283 –288, 2006.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome: FAO, 1979. **Irrigation and Drainage Paper**, 33, 193p.
- ESPERANCINI, M.S.T; AFONSO, P.F.N; GAVA, G.J.C, VILLAS BOAS, R.L. dose ótima econômica de nitrogênio em cana-de-açúcar aplicada via fertirrigação por gotejamento. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 28-39, 2015.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen in crop plants. **Advances in Agronomy**, Boca Raton, v. 88, p. 97-185, 2005.
- FARIAS, C. H. A. **Otimização do uso da água e do zinco na cana-de-açúcar em tabuleiro costeiro paraibano**. Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2006. 142p.
- FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. **Scientia Agrícola**, v. 67, n. 5, p. 579-590, 2010.
- INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185 -202, 2005.
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. CRC Press, Boca Ratón, Florida. 2011.
- KINGSTON, G. Mineral nutrition of sugarcane. In: MOORE, P.H.; BOTHA, F.C. (Ed.). **Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology**. Oxford: John Wiley, p. 85-120, 2014.
- KUNZ, J.; ÁVILA, V. S.; PETRY, M. Distribuição temporal e espacial da umidade do solo em sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial. **REMOA**, v.13, n.5, dez. p. 3963-3976, 2014.
- KWONG, D.F.N.G.K.; PAUL, J.P.; DEVILLE, J. Drip-fertigation - a means for reducing fertilizer nitrogen to sugarcane. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 35, p. 31-37, 1999.
- LYRA G. B.; BATISTA, E. L. S.; LYRA, G. B.; PEREIRA, C. R.; SILVA, L. D. B.; SILVA, G. M. Coeficiente da cultura da cana-de-açúcar no estágio inicial de desenvolvimento em Campos dos Goytacazes, RJ. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 102-113, janeiro-março, 2012.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa e Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.
- MALUF, G. **A competição entre o etanol de segunda geração e a produção de eletricidade pelo uso do bagaço**. Dissertação (MPAGRO) – Fundação Getúlio Vargas Escola de Economia de São Paulo. São Paulo, SP, 93p., 2014.
- MATIOLI, C. S.; FRIZZONE, J. A.; PERES, F. C. Irrigação suplementar em cana-de-açúcar: Modelo de Análise de Decisão para a região norte do estado de São Paulo. **STAB**. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, Piracicaba, SP, v. 17, n.2, p. 42-45, 1998.
- MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA J UNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de - açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295 -301, 2001.
- OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS BOAS, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 95-103, 2008.
- OLIVEIRA, M.W.; MENDE, L.C.; BARBOSA, M.H.P.; VITTI, A.C.; FARIA, R.O. Avaliação do potencial produtivo de sete variedades de cana-de-açúcar sob irrigação complementar. **Inf. Agron.**, 101:9-10, 2003.
- OLIVERA, A. P. P. **Atributos edáficos e adubação nitrogenada em cana de açúcar em tabuleiros costeiros: respostas a sistemas de colheita com e sem queima da palhada**. Tese (Doutorado). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, p.76, 2013.
- PEREIRA, R. M.; ALVES JUNIOR, J.; CASAROLI D.; SALES D. L.; RODRIGUEZ, W. D. M.; SOUZA, J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 149-157, 2015.
- PEREIRA, W. **Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 70p., 2011.
- QUINTANA, K. A. **Irrigação e fertirrigação por gotejamento para cana-de-açúcar na presença e ausência de boro**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita

Filho” Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus de Jaboticabal. Jaboticabal – São Paulo – Brasil, 2010.

ROCHA, F. J. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes doses de vinhaça.** Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, SP. 94 p., 2013.

SILVA, N. F.; MOURA, L. C.; CUNHA, F. N.; RIBEIRO, P. H.; CARVALHO, J. J.; TEIXEIRA, M. B. Qualidade industrial da cana-de-açúcar fertirrigada sob diferentes lâminas de água no sudoeste goiano. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, p. 280-295, 2014.

SOUZA, J. K. C.; MESQUITA, F. O.; DANTAS NETO, J.; SILVA, M. B. R.; FARIAS, C. H. A.; LIMA, Y. B. **Crescimento da cana-de-açúcar submetido a diferentes lâminas de irrigação e adubação com zinco.** UFCG - Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos – PB, V. 11, n. 1, p. 114-119, abr - jun, 2015.

SOUZA, J. M. F. **Aplicação do algoritmo SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) na obtenção da evapotranspiração atual das culturas em condições de Cerrado.** Tese (Doutorado) Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 92 p., 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 954p., 2013.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M. **Doses, fontes e modos de aplicação de zinco na cultura da cana-de-açúcar.** Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia, Unesp – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 153 p., 2011.

UNICA. Estatísticas. São Paulo: União da Agroindústria Canavieira de São Paulo. 2006. União Agroindústria Canavieira de São Paulo. Disponível em: <http://www.portalunica.com.br/acao/canajsp> . Acesso em: 22 set. 2017.

4.0 CAPÍTULO II

PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM NITROGÊNIO E ZINCO

RESUMO

A relevância da cana-de-açúcar no agronegócio brasileiro é indiscutível e apesar do investimento na difusão de tecnologias para melhorar a qualidade do produto final, a pesquisa científica ainda tem muito a contribuir para a maximização do processo produtivo. Objetivou-se, assim avaliar a altura de planta, o diâmetro de colmo e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar (IACSP 95-5000) irrigada por pivô central, submetida à fertirrigação com nitrogênio e zinco, no ciclo de cana-planta, em Latossolo Vermelho de Cerrado. O experimento foi conduzido em condições de campo, em área da Fazenda Rio Paraiso II pertencente à Usina Raízen, no município de Jatai-GO. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico, muito argiloso, fase cerrado. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 4 x 5 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹), na forma de ureia; cinco doses de zinco (0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹), na forma de sulfato de zinco; quatro épocas de avaliações (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio – DAP). As parcelas foram constituídas por seis linhas de cana-de-açúcar de 5 m de comprimento espaçadas 1,50 m entre si. A área útil da parcela abrangeu as duas linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 2 m em cada extremidade. As variáveis avaliadas foram à altura de planta, o diâmetro de colmo e a produtividade de colmos. A irrigação foi realizada por um pivô central. A aplicação de diferentes doses de nitrogênio e zinco via fertirrigação influenciam o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar promovendo incrementos na produtividade de colmos.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*, rendimento, ureia, sulfato de zinco

PRODUCTIVITY OF SUGARCANE FERTIRRIGATED WITH NITROGEN AND ZINC

ABSTRACT

The relevance of sugarcane in Brazilian agribusiness is indisputable, and despite the investment in the technologies diffusion to improve the final product quality, scientific research still has much to contribute to the maximization of the productive process. The objective of this study was to evaluate the plant height, stalk diameter and stalk productivity (IACSP 95-5000 variety) irrigated by central pivot, submitted to fertirrigation with nitrogen and zinc, in the cane-plant cycle, in Red Oxisol of Cerrado (savannah) phase. The experiment was conducted in field conditions in an area of the Rio Paraiso II Farm belonging to the Raízen industry, in the municipality of Jataí-GO, Brazil. The soil of the experimental area is classified as dystroferric Red Oxisol (Rhodic Hapludox), very clayey, Cerrado (savannah) phase. The experimental design used was randomized block, analyzed in split-split-plot 4 x 5 x 4, with three replicates. The treatments consisted of four nitrogen doses (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹) as urea and five doses of zinc (0, 2.5, 5.0, 7.5 and 10 kg ha⁻¹) as zinc sulphate; four evaluations times (210, 250, 290 and 330 day after planting - DAP) in sugarcane of first year. The plots consisted of six lines of sugarcane of 5 m long, spaced 1.50 m apart. The area used by plot was two central lines of each plot, disregarding 2 m at each end. The variables evaluated were plant height, stalk diameter and productivity. A central pivot realized the irrigation. The application of different doses of nitrogen and zinc by fertirrigation influences the growth and development of sugarcane promoting increases in stalk productivity.

Key words: *Saccharum officinarum*, yield, urea, zinc sulfate

4.1 INTRODUÇÃO

A relevância da cana-de-açúcar no agronegócio brasileiro é indiscutível, pois a cultura contribui efetivamente para o desenvolvimento do país, sendo importante fonte de geração de empregos e renda e, apesar do investimento na difusão de tecnologias para

melhorar a qualidade do produto final, a pesquisa científica ainda tem muito a contribuir para a maximização do processo produtivo (COSTA et al., 2007; REGIS, 2016).

Neste contexto, o uso de irrigação para atenuar o efeito da escassez de água e da fertirrigação para aumentar a eficiência de uso dos nutrientes na produção de cana-de-açúcar se tornam alternativas bastante interessantes e viáveis, mas ainda pouco utilizada nos países produtores; a irrigação, promove a sustentabilidade econômica, social e ambiental, além de se tratar de importante “ferramenta” para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar (INMANBAMBER, 2004; DANTAS NETO et al., 2006; SALASSIER, 2006; DALRI et al., 2008; MUSSI et al., 2017).

O uso dos fertilizantes via irrigação (fertirrigação) reduz as perdas sem onerar o custo de produção; além disso, por si só a irrigação tem grandes efeitos sobre as variáveis rendimento de colmos, de açúcar e de álcool, mas também quando se utiliza a fertirrigação esses incrementos geralmente são potencializados (DALRI; CRUZ 2002; MOURA et al., 2005; ROBERTS, 2008; SILVA et al., 2014). A fertirrigação, deste modo torna-se uma técnica relevante para suprir a condição hídrica e a exigência nutricional da cana-de-açúcar, devido à importância da cultura, a compreensão dos atributos correlacionados ao fornecimento de água e nutrientes pode contribuir significativamente para indicar o melhor manejo, com intuito de obter maiores rendimentos (RHEIN, 2012).

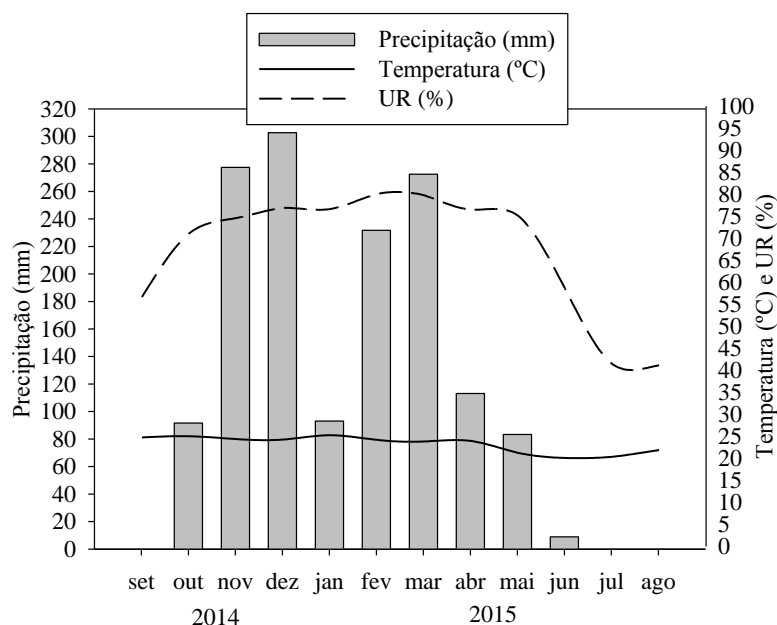
O nitrogênio, bem como o zinco tem apresentado repostas variadas na cana-de-açúcar (cana-planta), podendo ou não ser verificados incrementos significativos pela aplicação destes nutrientes, embora seja reconhecida esta ambiguidade e a importância destes nutrientes, o seu estudo em conjunto e principalmente aplicados via água de irrigação (fertirrigação), ainda são bastantes escassos (ANDERSON; BOWEN 1992; FARIAS, 2006; CUNHA, 2014; MELLIS et al., 2014).

Objetivou-se, assim avaliar a altura de planta, o diâmetro de colmo e a produtividade de colmos da cana-de-açúcar (IACSP 95-5000) irrigada por pivô central, submetida à fertirrigação com nitrogênio e zinco, no ciclo de cana-planta, em Latossolo Vermelho de Cerrado.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, em área da Fazenda Rio Paraíso II, pertencente à Usina Raízen, no município de Jataí, GO. As coordenadas

geográficas do local são 17°44'2.62"S e 51°39'6.06"O, com altitude média de 907 m. Segundo a classificação de Köppen (2013), o clima do local é do tipo Aw, tropical, com chuva nos meses de outubro a abril e seca nos meses de maio a setembro. A temperatura máxima oscila de 35 a 37°C, e a mínima de 12 a 15°C. A precipitação pluvial anual chega a 1800 mm aproximadamente, porém mal distribuídas ao longo do ano, conforme os dados climáticos dispostos na Figura 1.



Fonte: Estação Normal INMET – Jataí-GO.

Figura 1. Dados quinzenais de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa ocorridas no período decorrente do experimento, Jataí-GO, safra 2014/15.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico, muito argiloso, fase cerrado (SANTOS et al., 2013). As características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural estão descritas na Tabela 1. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 4 x 5 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹); cinco doses de zinco (0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹); quatro épocas de avaliações (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio - DAP), em cana-planta.

Tabela 1. Características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural do solo da área experimental, Jataí-GO, safra 2014/15

Camada ¹ m	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P --mg dm ⁻³ --	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V
0,0–0,1	5,4	81	33	4,0	4,8	21	10	<1	31	66,8	54
0,1–0,2	5,6	75	12	7,0	4,7	19	11	<1	22	56,7	61
0,2-0,4	5,7	74	16	12	4,8	21	12	<1	22	59,8	63
Camada m	B		Cu		Fe		Mn		Zn		
	----- mg dm ⁻³ -----										
0,0–0,1	0,22		1,2		73		3,9		1,0		
0,1–0,2	0,16		1,0		46		1,8		1,2		
0,2-0,4	0,20		1,1		55		2,9		0,2		
Camada m	Granulometria (g kg ⁻¹)			CC	PMP	Classificação textural					
	Areia	Silte	Argila	----- % -----	-----						
0,0–0,1	96	82	822	46,3	22,6	Muito argiloso					
0,1–0,2	97	82	822			Muito argiloso					
0,2-0,4	85	71	845	45,8	22,6	Muito argiloso					

¹CC – Capacidade de campo; PMP – ponto de murcha permanente; P, K, Ca e Mg: Resina; S: Fosfato de cálcio 0,01 mol L⁻¹; Al: KCl 1 mol L⁻¹; H+Al: SMP; B: água quente; Cu, Fe, Mn e Zn: DTPA; M.O - Matéria Orgânica; pH - em CaCl₂; CTC - Capacidade de troca de cátions; V - Saturação da CTC por bases.

A adubação nitrogenada foi de acordo com os tratamentos, cuja a fonte de N utilizada foi a ureia dividida em três aplicações, aos 60 dias após o plantio. Já a fonte de zinco utilizada foi o sulfato de Zn, em aplicação única. Todos os tratamentos foram adubados no sulco de plantio com fósforo P₂O₅ (100 kg ha⁻¹), na forma de superfosfato triplo, potássio K₂O (80 kg ha⁻¹), na forma de cloreto de potássio, e micronutrientes, exceto zinco conforme resultados das análises de solo e recomendação de Sousa e Lobato (2004).

A variedade escolhida para ser implantada no experimento foi a IACSP95-5000, nas condições de cana-planta. As principais características da variedade são: produção agrícola muito alta, alto teor de sacarose, porte ereto, bom perfilhamento e fechamento de entrelinhas, resistência as principais doenças, não apresentando tombamento e florescimento (CHAVES et al., 2015).

O preparo do solo foi realizado pelo sistema convencional, por meio de aração e gradagem, seguido de abertura dos sulcos de plantio. O plantio foi mecanizado, conforme realizado comercialmente e o número de gemas por metro, conforme as recomendações para a respectiva variedade.

A irrigação foi realizada por um Pivô central, modelo PC 08-64/03-647/01-646/L4 + AC, em aço galvanizado, baixa pressão, com 12 torres de sustentação, com área total irrigada de 139,31 ha, velocidade de 268 m h⁻¹ na última torre, aplica uma lâmina bruta mínima para uma volta a 100% de 1,35 mm. A tubulação adutora possui 800 m de comprimento, com diâmetro de 162,2 mm feito em PVC de 150/60. Pressurizado por uma bomba simples modelo ITA 100-400, com vazão prevista de 128,99 m³ h⁻¹, e pressão prevista de 63,90 mca, rotação de 1750 rpm e potência do motor de 47,49 CV.

A lâmina de irrigação, foi conforme realizado comercialmente, através do software IRRIGER[®]. O software utiliza o método de Penman-Monteith, adaptado por Allen et al. (1989) para a estimativa da evapotranspiração em escala diária, com os dados micrometeorológicos de radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

Foi avaliado a altura de plantas (AP) utilizando fita métrica, na medida da superfície do solo até o colarinho da folha +1 (folha +1 com colarinho completamente visível); o diâmetro de colmo (DC), foi determinado com auxílio de um paquímetro na base da planta, rente à superfície do solo, conforme Benincasa (2003). Foi realizado o monitoramento do °Brix da cana-de-açúcar em campo, nas quatro últimas semanas antes da colheita. Para a determinação racional do ponto de colheita da cana-de-açúcar, utilizou-se o Índice de Maturação (IM) determinado em campo, utilizando um refratômetro portátil, sendo os valores de IM classificados conforme Rosseto (2012).

A colheita da cana-de-açúcar foi realizada aos 330 dias após o plantio, em 25/08/2015. A produtividade de colmo (PC) foi determinada através da pesagem total dos colmos presentes nas respectivas subparcelas, quantificado o peso dos colmos em 2 m das duas linhas centrais. Para tanto, realizou-se o corte o mais rente possível do solo. Os colmos foram então despalhados e tiveram o ponteiro destacado. Em seguida, foram pesados em balança digital tipo gancho, marca Soil Control (precisão de 0,02 kg), com capacidade de 50 kg.

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) e em casos de significância, foi realizada análise de regressão para os níveis de adubação

nitrogenada, adubação com zinco e para as épocas de avaliação, utilizando o software estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação nitrogênio, zinco e épocas de avaliação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade, para a altura de planta (Tabela 2). Efeitos da aplicação de nitrogênio e de zinco em relação às épocas de avaliação no crescimento de cana-de-açúcar tem sido observado por vários autores (ALVES, 2014; OLIVEIRA et al., 2014b; SOUZA et al., 2015).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP) e diâmetro de colmo (DC) de cana-de-açúcar (cana-planta) fertirrigada com nitrogênio (N) e zinco (Zn), Jataí-GO, safra 2014/15

FV	GL	QM	
		AP	DC
N	3	0,255**	103,32**
Bloco	2	0,005 ^{ns}	0,048 ^{ns}
Resíduo (a)	6	0,0021	0,120
Zn	4	0,119**	40,37**
N*Zn	12	0,005*	1,97**
Resíduo (b)	8	0,0011	0,168
DAP	3	4,74**	101,79**
Zn*DAP	12	0,002 ^{ns}	0,545**
N*DAP	9	0,003 ^{ns}	2,37**
N*Zn*DAP	36	0,003*	0,232**
Resíduo (c)	144	0,0018	0,110
CV ₁ (%)	-	5,25	4,10
CV ₂ (%)	-	4,62	4,31
CV ₃ (%)	-	5,13	4,09

¹Fertirrigação com nitrogênio (N) e Zinco (Zn); Dias após o plantio (DAP). Fonte de variação (FV), Grau de liberdade (GL), Quadrado médio (QM) e Coeficiente de variação (CV). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

O diâmetro de colmo (DC) da cana-de-açúcar (IACSP95-5000) foi significativo ao nível de 1% de probabilidade para a interação nitrogênio, zinco e épocas de avaliação (Tabela 2). A adubação com nitrogênio e a fertirrigação, de maneira geral tem promovido incrementos na altura de planta e no diâmetro de colmo da cana-de-açúcar (ROCHA, 2013; SCUDELETTI; LONGATTO, 2015; RIBEIRO, 2016).

A interação nitrogênio e zinco foi significativa ao nível de 1% de probabilidade, para a produtividade de colmos da cana-de-açúcar (Tabela 3). Efeitos significativos pela aplicação de zinco e de nitrogênio têm sido verificados na produtividade de colmos e no rendimento de açúcar e álcool (FRANCO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2014b).

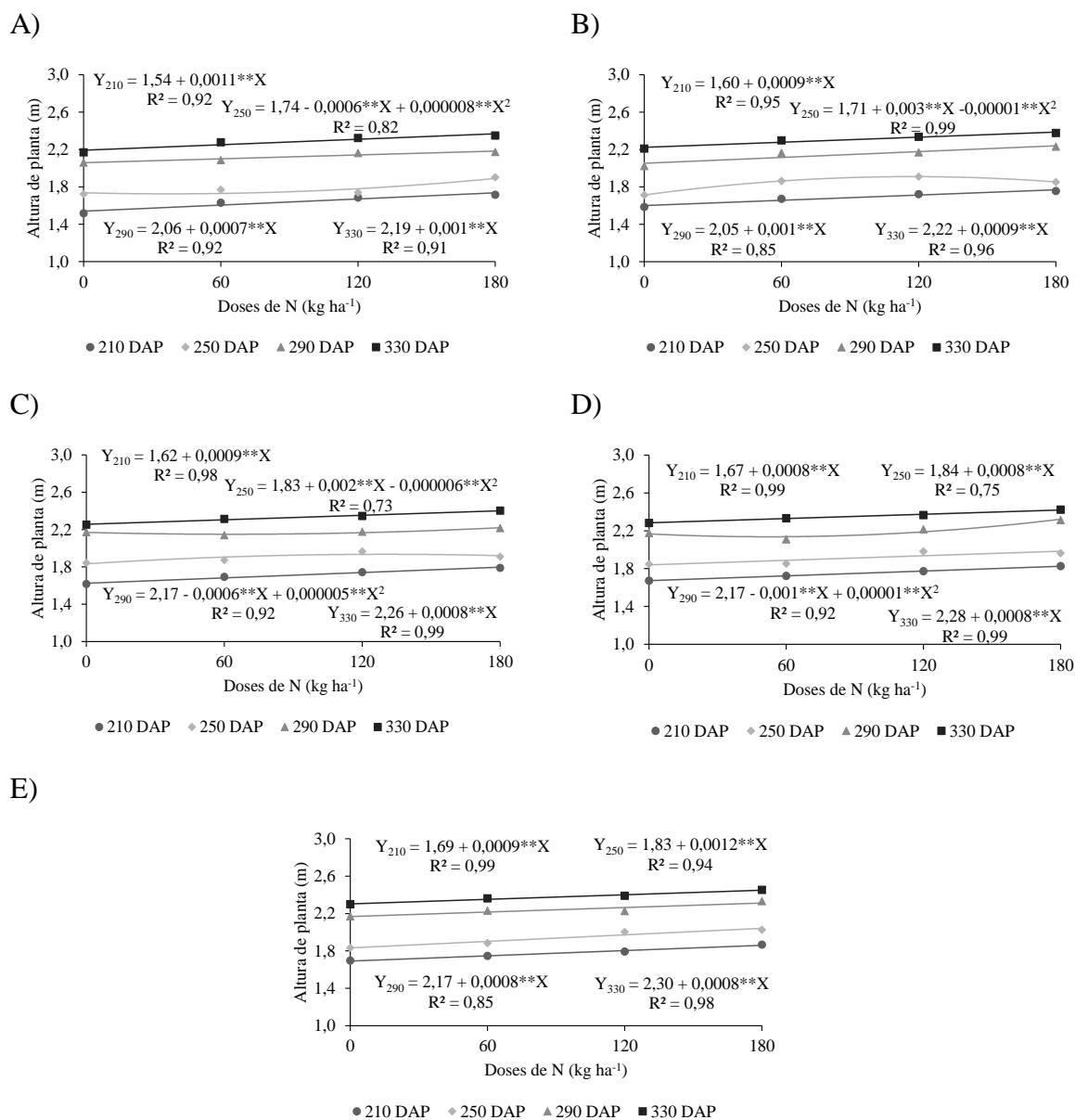
Tabela 3. Resumo da análise de variância para a variável produtividade de colmos (PC) de cana-de-açúcar (cana-planta) fertirrigada com nitrogênio (N) e zinco (Zn), Jataí-GO, safra 2014/15

FV	GL	QM
		PC
N	3	9114.67**
Zn	4	1852.03**
N*Zn	12	136.33*
Bloco	2	85.63 ^{ns}
Resíduo	38	53.23
CV (%)	-	6,43

¹Fertirrigação com nitrogênio (N) e Zinco (Zn). Fonte de variação (FV), Grau de liberdade (GL), Quadrado médio (QM) e Coeficiente de variação (CV). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

A altura de planta de cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000) em função das doses de nitrogênio aos 210, 250, 290 e 330 dias após o plantio (DAP) para as doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, em cana-planta, adequaram-se a modelos lineares e quadráticos com R² médio de 91,7% (Figura 2). Conforme a equação de regressão, obteve-se acréscimo de 3,8; 1,9 e 2,5% na altura de planta, para cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, aos 210, 290 e 330 DAP e sem fertirrigação com zinco, respectivamente. Comparando as doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha⁻¹, aos 210, 290 e

330 DAP, na ausência de fertirrigação com zinco, observa-se uma diferença na altura de planta em relação a essas doses de nitrogênio de 11,4; 5,8 e 7,6%, respectivamente (Figura 2A).



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 2. Altura de planta de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio aos 210, 250, 290 e 330 dias após o plantio (DAP) para as doses de zinco de 0 (A), 2,5 (B), 5,0 (C), 7,5 (D) e 10 kg ha⁻¹ (E), Jataí-GO, safra 2014/15.

A cana-de-açúcar apresenta menor altura de planta principalmente quando é submetido ao déficit hídrico na fase inicial de desenvolvimento da planta, e geralmente

afeta a qualidade tecnológica, a produtividade da cultura e o rendimento de álcool e açúcar (MACHADO, 2009; ROCHA, 2013).

As doses crescentes de fertirrigação de N aos 250 DAP e sem fertirrigação com zinco, não indicaram incrementos na altura de planta de cana-de-açúcar até a dose de 37,5 kg ha⁻¹, com a aplicação desta dose de N foi atingida a altura de planta mínima de aproximadamente 1,72 m. A altura de planta mínima verificada na dose de nitrogênio de 37,5 kg ha⁻¹, foi 1,0; 0,5; 3,4 e 8,9% menor do que a altura de planta observada nas doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 2A). Sime (2013) observou altura de planta de 2,05 m e diâmetro de colmo de 27,6 mm de cana-de-açúcar adubada com 92 kg ha⁻¹ de nitrogênio. A eficiência do aproveitamento do nitrogênio pela cana-de-açúcar, favorece o crescimento radicular, elevando a absorção de água e nutrientes e tornando-as melhor nutridas, promovendo assim, incrementos na altura de planta e na produtividade de colmos (OTTO et al., 2009; CUNHA et al., 2016).

Na dose de zinco de 2,5 kg ha⁻¹, a equação de regressão, apresentou acréscimo de 3,1; 2,7 e 2,3% na altura de planta, para cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, aos 210, 290 e 330 DAP, respectivamente. Levando em consideração as doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha⁻¹, aos 210, 290 e 330 DAP, na dose de zinco de 2,5 kg ha⁻¹, observa-se uma diferença na altura de planta em relação a essas doses de nitrogênio de 9,2; 8,1 e 6,8%, respectivamente (Figura 2B). O nitrogênio é um dos nutrientes que mais limitam o crescimento da cana-de-açúcar, deste modo para esta cultura o nitrogênio é essencial para o crescimento vigoroso, melhor qualidade tecnológica, produtividade e rendimento de açúcar e álcool (COSTA et al., 2016; SILVA, 2017).

O acréscimo na dose de fertirrigação com N, aos 250 DAP e com fertirrigação de 2,5 kg ha⁻¹ de zinco, proporcionaram elevação na altura de planta de cana-de-açúcar até a dose de 117,1 kg ha⁻¹ de N, com a aplicação desta dose de N foi atingida a altura de planta máxima de aproximadamente 1,91 m. A altura de planta máxima verificada na dose de nitrogênio de 117,1 kg ha⁻¹, foi 10,3; 2,4 e 3% maior do que a altura de planta observada nas doses de nitrogênio de 0, 60 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 2B).

Pancelli et al. (2015) verificou altura de planta de 2,2 m e diâmetro de colmo de 28 mm de cana-de-açúcar (cana-planta) variedade RB 86-7515, sob adubação de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio. A adição de N promove ganhos crescentes, ao se considerar a altura de planta e o diâmetro de colmo (GÍRIO et al., 2015).

Na dose de zinco de $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$ a equação de regressão, apresentou incremento de 3 e 2% na altura de planta, para cada aumento de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, aos 210 e 330 dias após o plantio, respectivamente. Assim com relação as doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha^{-1} , aos 210 e 330 DAP, na dose de zinco de $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$, observa-se diferença na altura de planta em relação a essas doses de nitrogênio de 9,1 e 6%, respectivamente (Figura 2C).

Tavares et al. (2017) observaram que as plantas de cana-de-açúcar têm seu crescimento estimulado ao serem irrigadas com elevadas lâminas de irrigação em fases mais avançadas do seu ciclo de cultivo. Conforme Brar et al. (2011) e Ghaffar et al. (2012) tanto o nitrogênio como o zinco também potencializam de maneira bastante significativa o crescimento da cana-de-açúcar.

O acréscimo nas doses de fertirrigação de N, aos 250 DAP e com fertirrigação de $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de zinco, promoveram aumentos na altura de planta de cana-de-açúcar até a dose de $130,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, com a aplicação desta dose de N foi atingida a altura de planta máxima de aproximadamente 1,93 m. A altura de planta máxima verificada na dose de nitrogênio de $130,6 \text{ kg ha}^{-1}$, foi 5,3; 1,5 e 0,8% maior do que a altura de planta observada nas doses de nitrogênio de 0, 60 e 180 kg ha^{-1} , respectivamente (Figura 2C). Já aos 290 DAP, foi verificada na cana-de-açúcar fertirrigada com $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn, e com $62,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, a altura de planta mínima de aproximadamente 2,15 m. A altura de planta mínima verificada na dose de nitrogênio de $62,7 \text{ kg ha}^{-1}$, foi 0,8 e 3,1% menor do que a altura de planta observada nas doses de nitrogênio de 120 e 180 kg ha^{-1} , respectivamente (Figura 2C). Soomro et al. (2014) observaram que as doses mais elevadas de nitrogênio tem um maior efeito sobre a altura de planta ($>244,1 \text{ m}$) e diâmetro de colmo ($>25 \text{ mm}$). A adubação nitrogenada aumenta o crescimento da cana-de-açúcar e permite que as plantas absorvam outros nutrientes, o que favorece o alongamento dos entrenós e o crescimento do colmo, fazendo com que ocorra um aumento expressivo em termos de altura de planta (BARNES, 1974; BIKILA et al., 2014).

A cana-de-açúcar a cada aumento de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, aos 210, 250 e 330 dias após o plantio, na fertirrigação com $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de zinco, indica acréscimo de 2,6; 2,4 e 1,98% na altura de planta, respectivamente. As doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha^{-1} , aos 210, 250 e 330 DAP, na dose de zinco de $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$, demonstram uma diferença na altura de planta de 7,9; 7,3 e 5,9%, respectivamente (Figura 2D).

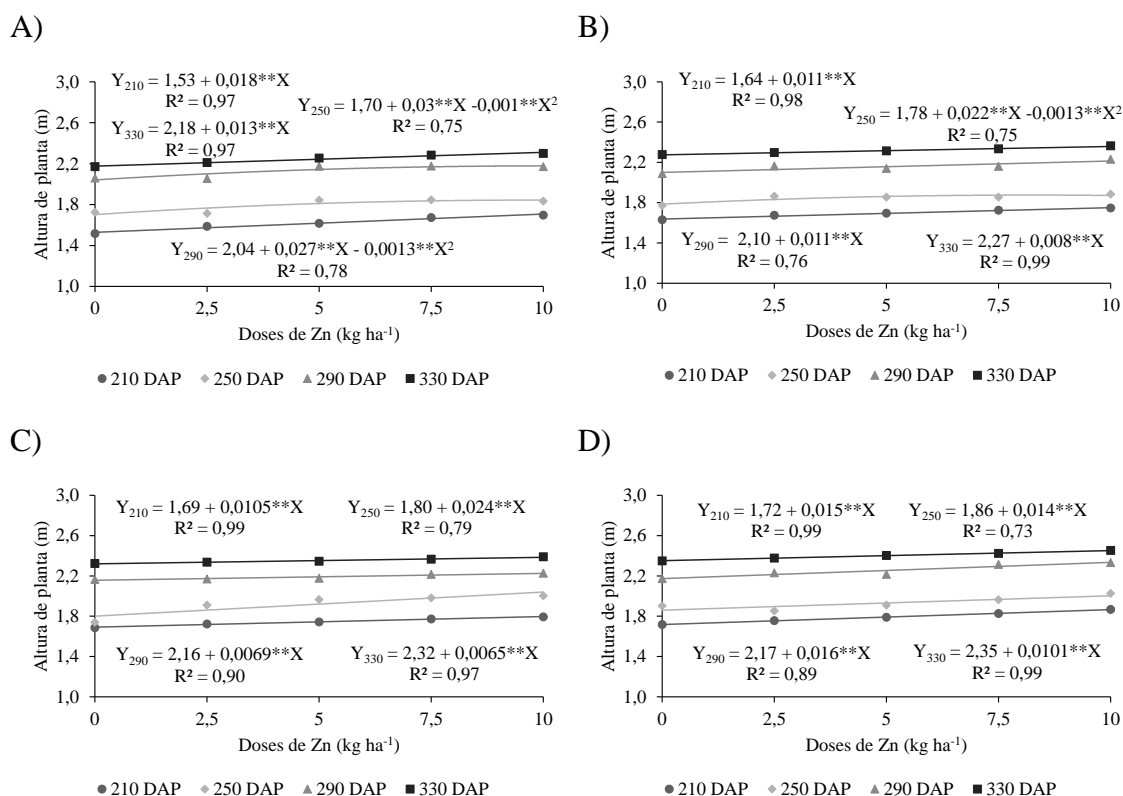
Chinelato (2016) observou que a altura de planta de cana-de-açúcar (cana-planta) fertirrigada com fertilizante mineral foi a que garantiu melhores resultados (2,76 m), também ressaltou que altura de planta está intimamente ligada à produção de colmos industrializáveis.

As doses crescentes de fertirrigação de N aos 290 DAP e com fertirrigação de 7,5 kg ha⁻¹ de zinco, não promoveram incrementos na altura de planta de cana-de-açúcar até a dose de 52 kg ha⁻¹, com a aplicação desta dose de N foi atingida a altura de planta mínima de aproximadamente 2,14 m. A altura de planta mínima verificada na dose de nitrogênio de 52 kg ha⁻¹, foi 2,4 e 8% menor do que a altura de planta observada nas doses de nitrogênio de 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 2D).

A cana-de-açúcar fertirrigada com doses elevadas de N antecipa e prolonga a fase intermediária (crescimento ativo), acumulando, desta forma mais matéria seca, esse aumento se deve a resposta da planta à fertirrigação nitrogenada, a qual se mantém com as folhas verdes por mais tempo, produzindo desta forma maiores níveis de fotoassimilados (URIBE et al., 2016).

Na dose de zinco de 10 kg ha⁻¹, observou-se incrementos de 2,9; 3,5; 2,1 e 1,9% na altura de planta, para cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, aos 210, 250, 290 e 330 DAP, respectivamente. Em relação às doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha⁻¹, observa-se diferença de 8,7; 10,5; 6,2 e 5,9% na altura de planta da cana-de-açúcar aos 210, 250, 290 e 330 dias após o plantio, na dose de zinco de 10 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 2E). Oliveira et al. (2014a) justificam que isso geralmente é pela maior quantidade de água e adubo disponibilizados à cana-de-açúcar, em que a planta se desenvolve mais em altura e logo demonstra maior taxa de crescimento, em comparação às plantas que receberam menos adubo e água.

A altura de planta de cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000) em função das doses de zinco aos 210, 250, 290 e 330 DAP para as doses de nitrogênio de 0, 60, 120, e 180 kg ha⁻¹, em cana-planta adequaram-se a modelos lineares e quadráticos com R² médio de 88,7% (Figura 3); conforme a equação de regressão obteve-se incremento de 2,6 e 1,4% na altura de planta, para cada aumento de 2,5 kg ha⁻¹ de zinco, aos 210 e 330 DAP e na ausência de fertirrigação com nitrogênio, respectivamente. Comparando as doses de zinco de 0 e 10 kg ha⁻¹, aos 210 e 330 DAP, sem fertirrigação com nitrogênio, observa-se diferença na altura de planta em relação a essas doses de zinco de 10,5 e 5,8%, respectivamente (Figura 3A).



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 3. Altura de planta de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de zinco aos 210, 250, 290 e 330 dias após o plantio (DAP) para as doses de nitrogênio de 0 (A), 60 (B), 120 (C) e 180 kg ha⁻¹ (D), Jataf-GO, safra 2014/15.

A adubação com zinco em canaviais é importante para manter níveis adequados de zinco para a cultura, e proporciona maior crescimento dos internódios, aumenta o crescimento do topo da cana-de-açúcar e, conseqüentemente, aumenta o comprimento e produtividade de colmos (KORNDÖRFER et al., 1999; TEIXEIRA FILHO, 2011).

O aumento da dose de fertirrigação com zinco, aos 250 DAP e sem fertirrigação com nitrogênio, provocaram a elevação na altura de planta de cana-de-açúcar até a dose de 9,64 kg ha⁻¹ de zinco, com a aplicação desta dose de zinco foi alcançada a altura de planta máxima de aproximadamente 1,84 m. A altura de planta máxima verificada na dose de zinco de 9,64 kg ha⁻¹, foi 7,7; 4,2; 1,8 e 0,4% maior do que a altura de planta observada nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0 e 7,5 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 3A).

As doses crescentes de fertirrigação de zinco, aos 290 DAP e sem fertirrigação de nitrogênio, apresentou altura de planta máxima de 2,18 m, na dose de 10 kg ha⁻¹ de zinco;

consequentemente esta altura de planta máxima demonstrou diferença de aproximadamente 6,5%, em relação à altura de planta da cana-de-açúcar sem fertirrigação com zinco (Figura 3A). Tariq et al. (2014) observaram que a aplicação de zinco e nitrogênio tiveram efeitos positivos no crescimento, parâmetros qualitativos e na produtividade da cultura.

A cana-de-açúcar fertirrigada com 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, apresentou acréscimo de 1,6; 1,3 e 0,9% na altura de planta, para cada aumento de 2,5 kg ha⁻¹ de zinco, aos 210, 290 e 330 DAP, respectivamente. A cana-de-açúcar fertirrigada com as doses de zinco de 0 e 10 kg ha⁻¹, na dose de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio e aos 210, 290 e 330 DAP, apresentou diferença na altura de planta em relação as doses de zinco de 6,5; 5,1 e 3,6%, respectivamente (Figura 3B).

Em condições de boa disponibilidade hídrica e com suprimento adequado de nitrogênio, ocorre a promoção do crescimento radicular; de maneira semelhante a aplicação de zinco também favorece o desenvolvimento radicular, permitindo maior absorção de água e nutrientes, e leva a maior alongação dos entrenós, resultando em maior taxa de crescimento da cana-de-açúcar (ROBINSON et al., 1983; SHIGAKI et al., 2004; SILVA et al., 2014a; GOBARAH et al., 2014).

A elevação na dose de zinco, aos 250 DAP e com fertirrigação de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, promoveu adição na altura de planta de cana-de-açúcar até a dose de 8,3 kg ha⁻¹ de zinco, com a aplicação desta dose de zinco, foi atingida a altura de planta máxima de 1,88 m. A altura de planta máxima verificada na dose de zinco de 8,3 kg ha⁻¹, foi 4,8; 2,4; 0,8 e 0,2% maior do que a altura de planta observada nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente.

Teixeira Filho et al. (2015) verificaram que as doses crescentes de zinco proporcionaram aumento linear nos níveis de zinco na folha e nos colmos da cana-de-açúcar (cana planta), independentemente da fonte de zinco utilizada, promovendo incrementos significativos no crescimento da cana-de-açúcar, melhorando o seu desenvolvimento e a qualidade da matéria-prima.

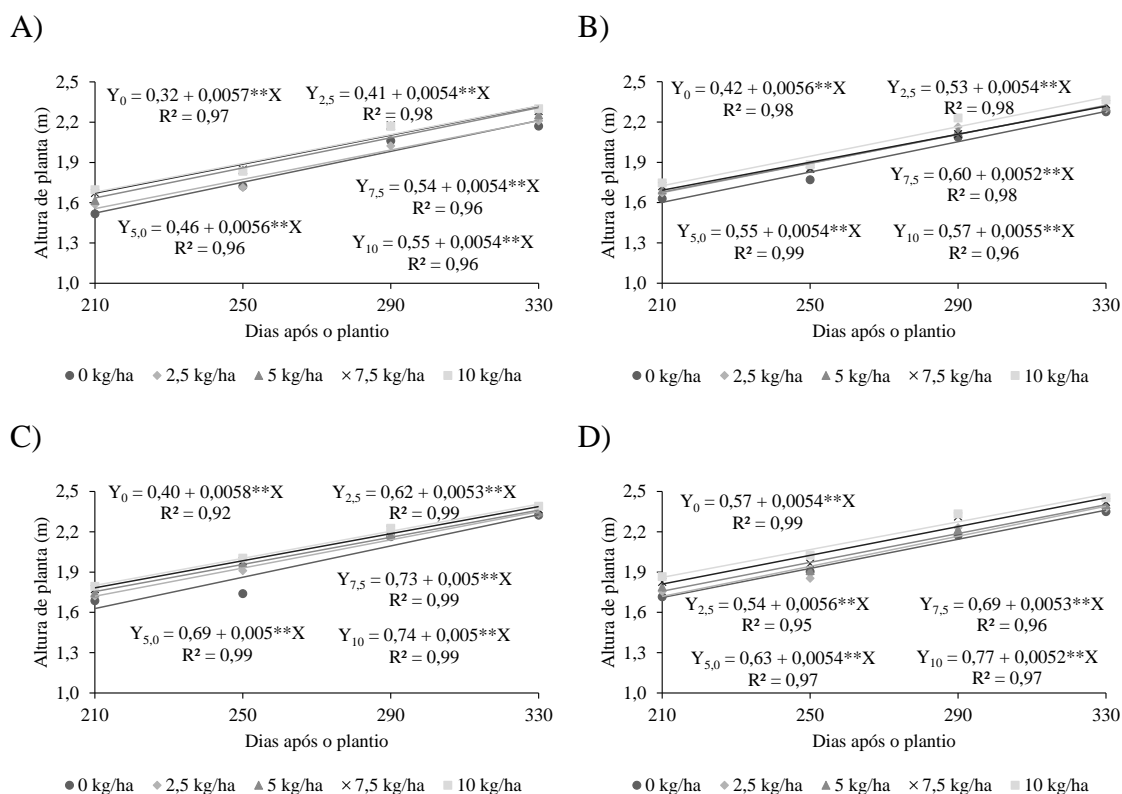
A cana-de-açúcar aos 210, 250, 290 e 330 DAP, fertirrigada com 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, apresentou incrementos de 1,5; 2,9; 0,8 e 0,7% na altura de planta, para cada aumento de 2,5 kg ha⁻¹ de zinco, respectivamente; com diferenças em relação às doses de zinco de 0 e 10 kg ha⁻¹ de 5,8; 11,8; 3,1 e 2,7%, na altura de planta de cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000), aos 210, 250, 290 e 330 DAP, respectivamente (Figura 3C).

Samiullah et al. (2015) atribuíram a maior altura de planta à disponibilidade de melhores condições de crescimento que resultaram no aumento do índice de área foliar e em melhor interceptação da radiação que finalmente produziram plantas mais altas, complementaram que isso também ocorreu pela aplicação de água e nutrientes (nitrogênio e zinco) ocasionando em redução na competição por estes recursos, desempenhando papel determinante no rendimento final da cana-de-açúcar.

A cana-de-açúcar fertirrigada com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, apresentou acréscimo de 2,0; 1,8; 1,7 e 1,0% na altura de planta, para cada aumento de 2,5 kg ha⁻¹ de zinco, aos 210, 250, 290 e 330 DAP, respectivamente. As doses de zinco de 0 e 10 kg ha⁻¹, aplicadas na cana-de-açúcar fertirrigada com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio e aos 210, 250, 290 e 330 DAP, proporcionou diferença na altura de planta de 7,9; 7,1; 6,9 e 4,1%, respectivamente (Figura 3D).

Ghaffar et al. (2012) verificaram que a resposta da aplicação de zinco em diferentes níveis foi altamente significativa, de tal modo que a altura de planta mínima (1,97 m) foi encontrada na cana-de-açúcar sem a aplicação de zinco, isto foi atribuído a adequada disponibilidade do micronutriente, acelerando a taxa de crescimento da cultura, ocasionando em maior comprimento de internódios que resultaram em maior altura de planta.

A altura de planta de cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000) em função dos dias após o plantio, fertirrigada com 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ de zinco, para as doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, em cana-planta adequaram-se aos modelos lineares com R² acima de 92% (Figura 4). Assim, a cada aumento de 40 DAP, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ e sem fertirrigação com nitrogênio, verificou-se acréscimo de 10,4; 9,85; 9,71; 9,31 e 9,26% na altura de planta de cana-de-açúcar, respectivamente. Levando em consideração a altura de planta aos 210 e 330 DAP, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ e sem fertirrigação com nitrogênio, observa-se diferença na altura de planta em relação a esses dias após o plantio de 31,11; 29,54; 29,12; 27,94 e 27,77%, respectivamente (Figura 4A). Campos et al. (2014) observaram que os valores mínimos e máximos de comprimento de colmos, de 16 variedades, inclusive a variedade IACSP 95-5000 aos 203 e 285 DAP, foram de 1,57 a 2,26 m, e 1,99 a 2,71 m, respectivamente, indicando que as variedades de cana-de-açúcar adubada com 3,6 kg ha⁻¹ de Zn, se mostraram responsivas à irrigação e que está é uma prática relevante para manter o processo produtivo.



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 4. Altura de planta de cana-de-açúcar (cana-planta) em função dos dias após o plantio (DAP) nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ para as doses de nitrogênio de 0 (A), 60 (B), 120 (C) e 180 kg ha⁻¹ (D), Jataí-GO, safra 2014/15.

A cana-de-açúcar fertirrigada com 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, apresentou acréscimo de 9,89; 9,32; 9,26; 8,99 e 9,21% na altura de planta, a cada aumento de 40 DAP, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 4B). Comparando a altura de planta entre os 210 e 330 DAP, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ da cana-de-açúcar fertirrigada com 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, observa-se diferença na altura de planta em relação a esses DAP de 29,66; 27,97; 27,77; 26,98 e 27,64%, respectivamente.

Rocha (2013) observou aos 226 DAP diferença em relação ao tratamento sem irrigação, o qual apresentou menor altura de planta em relação aos tratamentos irrigados, já aos 292 DAP encontrou maiores alturas de plantas (>2,18 m) na cana-de-açúcar (cana-planta) fertirrigada com nitrogênio.

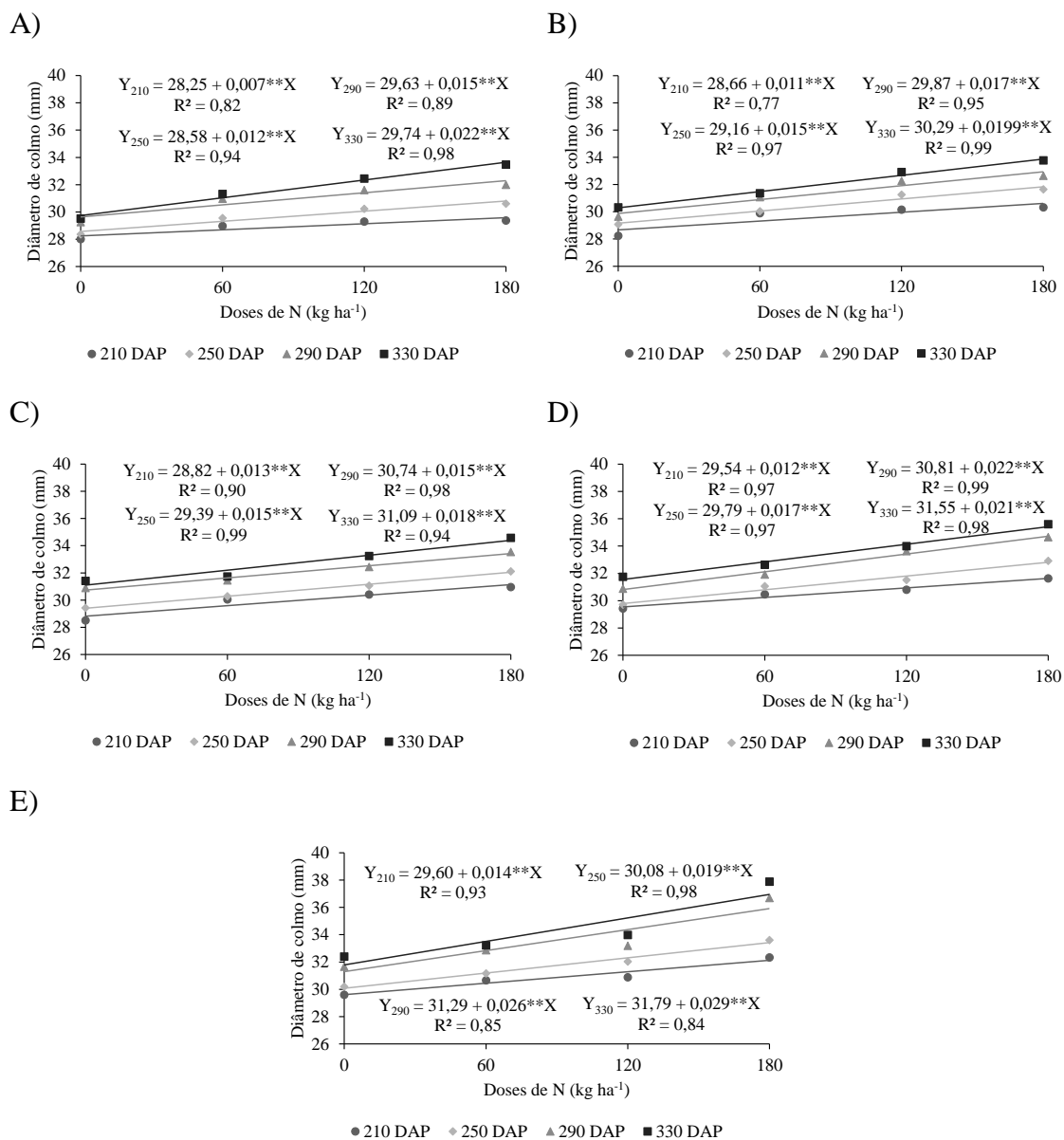
A altura de planta de cana-de-açúcar (IACSP 95-5000), nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, fertirrigada com 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio e a cada aumento de 40 DAP, indicou acréscimos de 10,01; 8,96; 8,53; 8,42 e 8,35%, respectivamente. Já a altura de planta em relação aos 210 e 330 DAP, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ da cana-de-açúcar fertirrigada com 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, apresentou diferença na altura de planta em relação a esses DAP de 30,03; 26,87; 25,59; 25,25 e 25,06%, respectivamente (Figura 4C).

As lâminas de irrigação e as doses de nitrogênio aplicadas em cana-planta, influenciam de maneira positiva no crescimento, no aumento da produtividade de colmos e no rendimento de açúcar, enquanto os melhores resultados de qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar ocorrem quando a irrigação da cultura é interrompida aos 300 DAP (TEODORO, 2011; ARAÚJO et al., 2016).

A cana-de-açúcar fertirrigada (180 kg ha⁻¹ de N), a cada aumento de 40 DAP, apresentou incrementos de 9,18; 9,36; 8,95; 8,70 e 8,35% na altura de planta, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente. Contrastando a altura de planta aos 210 e 330 DAP, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ da cana-de-açúcar fertirrigada com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, observa-se diferenças na altura de planta de 27,54; 28,09; 26,85; 26,11 e 25,05%, respectivamente (Figura 4D).

Mazhar (2016) verificou efeito significativo do zinco na altura de planta de cana-de-açúcar, mostrando que a aplicação de Zn tem maior influência na altura de planta em comparação a outros micronutrientes, como por exemplo o boro, indicando que o zinco é altamente eficaz, para a maximização do rendimento da cana-de-açúcar.

O diâmetro de colmo da cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000) em função das doses de nitrogênio aos 210, 250, 290 e 330 dias após o plantio (DAP) para as doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, em cana-planta, adequaram-se a modelos lineares com R² médio de 93% (Figura 5); conforme a equação de regressão, obteve-se acréscimo de 1,5; 2,4; 2,7 e 3,9% no diâmetro de colmo, para cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, aos 210, 250, 290 e 330 DAP e na ausência de fertirrigação com zinco, respectivamente. Comparando as doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha⁻¹, aos 210, 250, 290 e 330 dias após o plantio, sem fertirrigação com zinco, observa-se diferença no diâmetro de colmo em relação a essas doses de nitrogênio de 4,5; 7,2; 8,2 e 11,6%, respectivamente (Figura 5A).



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 5. Diâmetro de colmo de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio aos 210, 250, 290 e 330 dias após o plantio (DAP) para as doses de zinco de 0 (A), 2,5 (B), 5,0 (C), 7,5 (D) e 10 kg ha⁻¹ (E), Jataí-GO, safra 2014/15.

Saleem et al. (2012) observaram melhores respostas da cana-de-açúcar para a aplicação de elevadas doses de N, sendo encontrados incrementos na altura de plantas, diâmetro de colmo, produtividade e no rendimento de açúcar. Os autores explicaram que isto ocorreu pela maximização da taxa de crescimento da cultura e da duração da área foliar, proporcionado pela alta dose de nitrogênio.

Na dose de zinco de $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$, a equação de regressão indicou incremento de 2,1; 2,8; 3,1 e 3,5% no diâmetro de colmo, para cada aumento de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, aos 210, 250, 290 e 330 DAP, respectivamente. Contrastando as doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha^{-1} , aos 210, 250, 290 e 330 DAP, na dose de zinco de $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$, observa-se diferença no diâmetro de colmo em relação a essas doses de nitrogênio de 6,4; 8,4; 9,3 e 10,6%, respectivamente (Figura 5B). A cana-de-açúcar apresenta maior acúmulo de nitrogênio no colmo, com valores de alocação de 167 kg ha^{-1} de N, correspondendo a 66% do nitrogênio acumulado na parte aérea (OLIVEIRA et al., 2011a).

A cana-de-açúcar sob fertirrigação de zinco ($5,0 \text{ kg ha}^{-1}$), apresentou acréscimos de 2,5; 2,7; 2,7 e 3,2% no diâmetro de colmo, para cada aumento de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, aos 210, 250, 290 e 330 DAP, respectivamente. Levando em consideração as doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha^{-1} , aos 210, 250, 290 e 330 DAP, na dose de zinco de $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$, observa-se diferença entre essas doses no diâmetro de colmo de aproximadamente 7,5; 8,2; 8,0 e 9,6%, respectivamente (Figura 5C). A adubação com nitrogênio e zinco promove incrementos na altura de plantas e no diâmetro do colmo, isso pode ter ocorrido porque em plantas carentes em nitrogênio e zinco a divisão celular é prejudicada em função da diminuição da síntese proteica (EPSTEIN; BLOOM, 2006; ABREU et al., 2016).

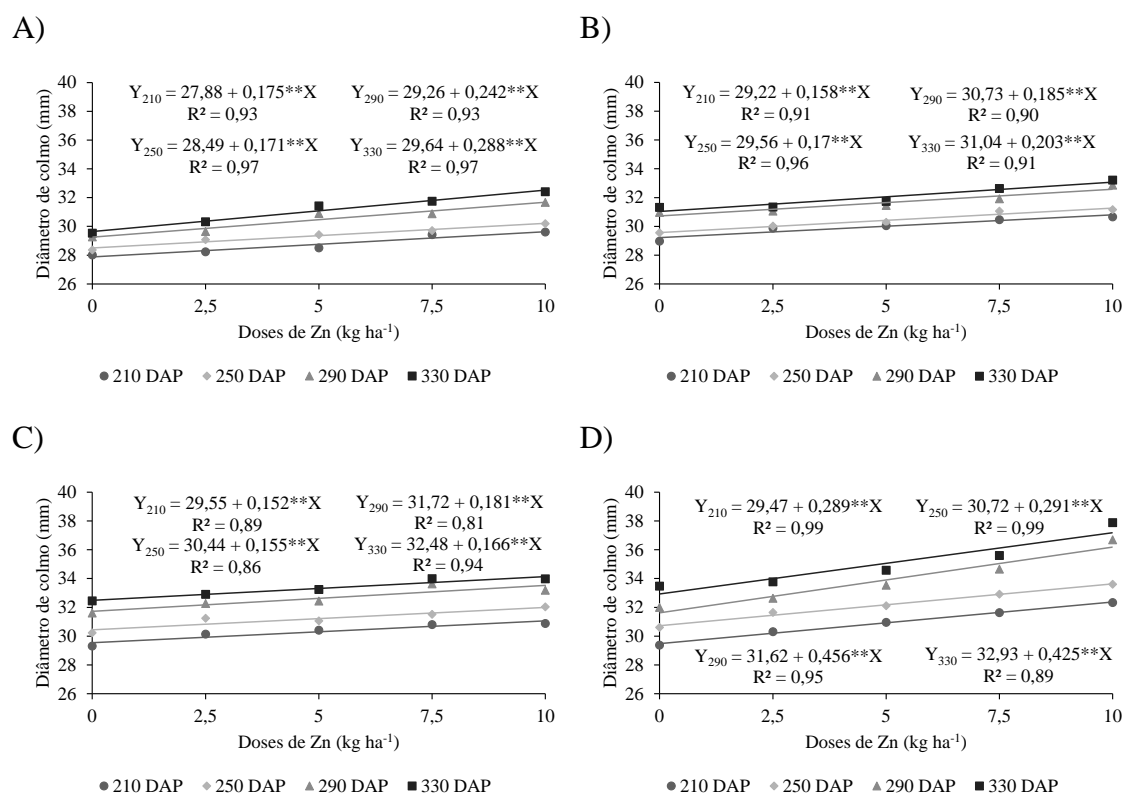
A cada aumento de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, a cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000) fertirrigada com $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de zinco, aos 210, 250, 290 e 330 DAP, apresentou incremento de 2,2; 3,1; 3,7 e 3,6% no diâmetro de colmo, respectivamente; observou-se também diferença de 6,6; 9,2; 11,2 e 10,9% no diâmetro de colmo em relação às doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha^{-1} , aos 210, 250, 290 e 330 DAP, na dose de zinco de $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente (Figura 5D). Gírio et al. (2015) observaram ganhos de 23, 15, 30 e 17%, na altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento de raízes e massa seca do colmo de cana-de-açúcar, respectivamente; com isto concluíram que o fornecimento de N favorece bastante o crescimento da cana-de-açúcar, ao aumentar a altura de planta, o diâmetro de colmo e a produção da matéria seca de colmo.

O diâmetro de colmo da cana-de-açúcar na dose de zinco de 10 kg ha^{-1} , demonstrou incrementos de 2,6; 3,3; 4,3 e 4,7%, a cada aumento de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, aos 210, 250, 290 e 330 DAP, respectivamente. Wahab (2014) observou que os maiores diâmetros de colmos ($>25 \text{ mm}$) foram verificados na cana-de-açúcar fertirrigada com nitrogênio. A cana-de-açúcar fertirrigada com 10 kg ha^{-1} de zinco, aos

210, 250, 290 e 330 DAP, mostrou diferença de 7,8; 10; 12,9 e 14% no diâmetro de colmo em relação às doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 5E).

A utilização da irrigação, promove desenvolvimento mais acentuado da cana-de-açúcar, antecipando o acúmulo de nutrientes pelo colmo, e sugerindo um aumento na demanda por nutrientes, desde as fases iniciais da cultura (OLIVEIRA et al., 2011a). Com isto a aplicação de nitrogênio via fertirrigação em doses mais elevadas tendem a apresentar respostas mais expressivas, pois quando submetida à irrigação a cana-de-açúcar geralmente demonstra maior requerimento por nitrogênio e, quando a aplicação é realizada via água de irrigação, tem-se melhor eficiência dos fertilizantes nitrogenados, com efeito direto no crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura.

O diâmetro de colmo da cana-de-açúcar em função das doses de zinco aos 210, 250, 290 e 330 DAP, para as doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, em cana-planta, adequaram-se aos modelos lineares com R² médio de 92,5% (Figura 6).



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 6. Diâmetro de colmo de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de zinco aos 210, 250, 290 e 330 dias após o plantio (DAP) para as doses de nitrogênio de 0 (A), 60 (B), 120 (C) e 180 kg ha⁻¹ (D), Jataí-GO, safra 2014/15.

Conforme a equação de regressão, obteve-se acréscimo de 1,48; 1,42; 1,91 e 2,21% no diâmetro de colmo, para cada aumento de 2,5 kg ha⁻¹ de zinco, aos 210, 250, 290 e 330 DAP e na ausência de fertirrigação com nitrogênio, respectivamente. A cana-de-açúcar aos 210, 250, 290 e 330 DAP, sem fertirrigação com nitrogênio, apresenta diferença no diâmetro de colmo em relação as doses de zinco de 0 e 10 kg ha⁻¹ de 5,91; 5,67; 7,64 e 8,85%, respectivamente (Figura 6A). Teixeira Filho (2011) verificou que para as fontes de Zn houve diferença significativa na 1ª cana-soca, sendo que o Zn quelatizado com EDTA (30,1 mm) proporcionou maior diâmetro do colmo em relação ao silicato de Zn em pó (27,4 mm) e ao sulfato de Zn (27,3 mm).

Na dose de nitrogênio de 60 kg ha⁻¹, a equação de regressão apresentou incremento de 1,28; 1,36; 1,42 e 1,54% no diâmetro de colmo, para cada aumento de 2,5 kg ha⁻¹ de zinco, aos 210, 250, 290 e 330 DAP, respectivamente. Comparando as doses de zinco de 0 e 10 kg ha⁻¹, aos 210, 250, 290 e 330 DAP, na dose de nitrogênio de 60 kg ha⁻¹, observa-se diferença no diâmetro de colmo em relação a essas doses de zinco de 5,13; 5,44; 5,68 e 6,14%, respectivamente (Figura 6B).

A cana-de-açúcar fertirrigada com nitrogênio e zinco apresentou diâmetros de colmos acima de 31 mm aos 330 DAP (Figura 6). Barlóg et al. (2016) observaram que a aplicação simultânea de Zn e N afeta favoravelmente o rendimento e a qualidade industrial da cultura e justificaram que os principais motivos da atividade positiva do Zn, foi pelo impacto sobre a matéria seca e por promover o melhor desenvolvimento das raízes.

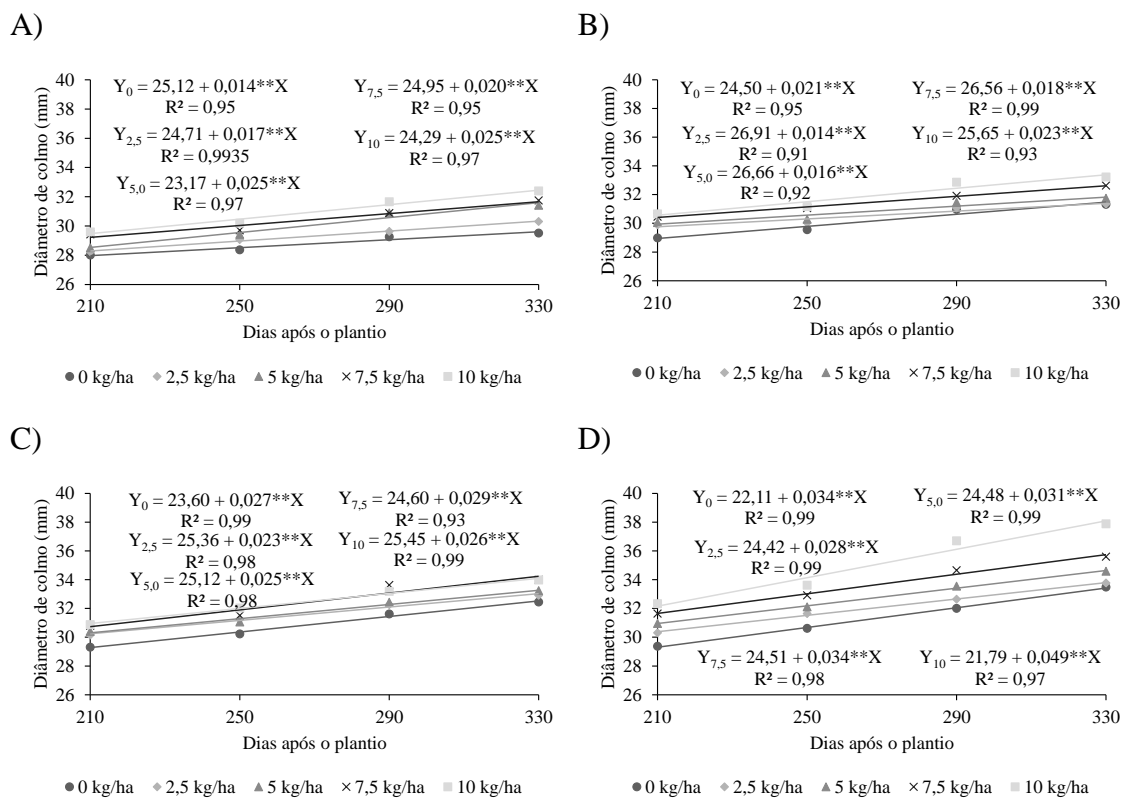
A cana-de-açúcar fertirrigada com nitrogênio (120 kg ha⁻¹), apresentou incremento de 1,22; 1,20; 1,35 e 1,21% no diâmetro de colmo, para cada aumento de 2,5 kg ha⁻¹ de zinco, aos 210, 250, 290 e 330 DAP, respectivamente. Conseqüentemente a cana-de-açúcar fertirrigada com esta dose de nitrogênio, apresenta diferença entre as doses de zinco de 0 e 10 kg ha⁻¹, no diâmetro de colmo da cana-de-açúcar de 4,89; 4,84; 5,40 e 4,86%, aos 210, 250, 290 e 330 DAP, respectivamente (Figura 6C). A cana-de-açúcar quando irrigada apresenta melhor crescimento, caracterizado pela expansão do diâmetro dos colmos, já quando submetida à fertirrigação estes valores de diâmetro de colmo tendem a ser ainda mais expressivos (>30 mm) (SILVA et al., 2012; CUNHA et al., 2014).

A cana-de-açúcar aos 210, 250, 290 e 330 DAP, fertirrigada com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, apresentou incremento de 2,23; 3,15; 2,16 e 2,86% no diâmetro de colmo, para cada aumento de 2,5 kg ha⁻¹ de zinco, respectivamente (Figura 6D). O melhor efeito das doses mais elevadas de zinco na cana-de-açúcar em cana-planta, se deve tanto à irrigação como à fertirrigação com N, que favoreceram a ocorrência de uma acentuada taxa de crescimento e, assim, maior demanda por nutrientes, além disto os teores médios de Mn, como demonstrado anteriormente na Tabela 1, possivelmente tiveram também papel fundamental nessa influência positiva das doses de zinco, pois conforme Benett et al. (2013) quanto maior o valor de Mn, maior é a quantidade acumulada pela cana-de-açúcar de Zn em cana-planta e cana-soca.

A cana-de-açúcar fertirrigada com doses mais elevadas de nitrogênio e de zinco apresentam expressivo aumento no diâmetro de colmo; podendo desta forma, ser observado diferenças no diâmetro de colmo em relação as doses de 0 e 10 kg ha⁻¹ de zinco, da ordem de 8,94; 12,61; 8,65 e 11,44%, aos 210, 250, 290 e 330 DAP, na dose de nitrogênio de 180 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 6D).

Estudos demonstram efeitos significativos no diâmetro de colmo pela aplicação de nitrogênio e zinco, bem como na altura de planta, número de colmos, massa seca de colmo, área foliar, número de folhas, de perfilhos e de plantas e na produtividade de colmos da cana-de-açúcar (BRAGA et al., 2011; LEITE, 2011; OLIVEIRA et al., 2011b; SILVA et al., 2009; SILVA et al., 2015; TEIXEIRA FILHO et al., 2015; CUNHA, et al., 2016), logo a aplicação de nitrogênio e zinco via água de irrigação traz inúmeros benefícios para a cultura.

O diâmetro de colmo de cana-de-açúcar em função dos dias após o plantio, fertirrigada com 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ de zinco, para as doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, em cana-planta, adequaram-se a modelos lineares com R² acima de 91% (Figura 7). Conforme a equação de regressão, obteve-se acréscimos de 1,84; 2,24; 3,23; 2,57 e 3,05% no diâmetro de colmo, a cada aumento de 40 DAP, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ e sem fertirrigação com nitrogênio, respectivamente. Comparando o diâmetro de colmo entre os 210 e 330 DAP, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ e sem fertirrigação com nitrogênio, observa-se diferença no diâmetro de colmo em relação a esses dias após o plantio de 5,51; 6,73; 9,69; 7,70 e 9,14%, respectivamente (Figura 7A).



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 7. Diâmetro de colmo de cana-de-açúcar (cana-planta) em função dos dias após o plantio (DAP) nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ para as doses de nitrogênio de 0 (A), 60 (B), 120 (C) e 180 kg ha⁻¹ (D), Jataí-GO, safra 2014/15.

Braga et al. (2011), verificaram que o diâmetro de colmo (>28 mm) apresentou os maiores valores aos 274 dias após o corte (DAC), para as doses de 44, 111 e 178 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

A cana-de-açúcar fertirrigada com 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, apresentou acréscimos de 2,68; 1,73; 1,96; 2,26, e 2,80% no diâmetro de colmo, a cada aumento de 40 DAP, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente. Comparando o diâmetro de colmo entre os 210 e 330 DAP, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ da cana-de-açúcar fertirrigada com 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, observa-se diferença no diâmetro de colmo em relação a esses dias após o plantio de 8,05; 5,20; 5,88; 6,77 e 8,41%, respectivamente (Figura 7B).

A aplicação de zinco melhora o desenvolvimento das raízes, do colmo e favorece o aumento da sacarose, conseqüentemente tem um papel importante no aumento da produtividade e na melhoria da qualidade das plantas (GOBARAH et al., 2014).

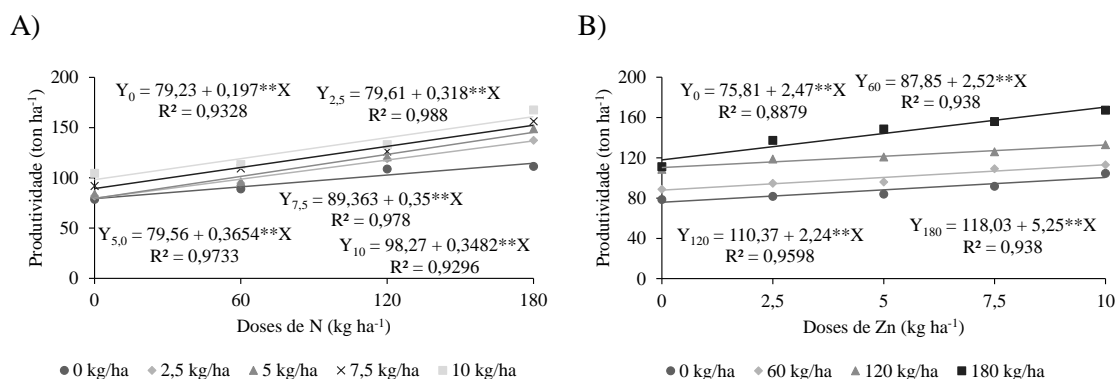
O diâmetro de colmo de cana-de-açúcar, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, fertirrigada com 120 kg ha⁻¹ e a cada aumento de 40 DAP, indicou acréscimos de 3,32; 2,82; 2,97; 3,41 e 3,07%, respectivamente. Já o diâmetro de colmo em relação aos 210 e 330 DAP, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ da cana-de-açúcar fertirrigada com 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, apresentou diferença no diâmetro de colmo em relação a esses dias após o plantio de 9,96; 8,46; 8,91; 10,23 e 9,22%, respectivamente (Figura 7C).

Castro (2016) observou o máximo diâmetro de colmo da cana-de-açúcar (sem irrigação) na dose de 120 kg ha⁻¹ N, aos 330 DAC, que foi de 27,74 mm, também mostrou que a aplicação de diferentes doses de N apresentam reflexos na altura de planta, pol, fibra, brix, ATR e na produtividade de colmos.

A cana-de-açúcar fertirrigada com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, a cada aumento de 40 DAP, apresentou acréscimos de 4,10; 3,36; 3,56; 3,81 e 5,19% no diâmetro de colmo, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente. Contrastando o diâmetro de colmo entre os 210 e 330 DAP, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹ da cana-de-açúcar fertirrigada com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, observa-se diferenças no diâmetro de colmo de 12,31; 10,09; 10,67; 11,44 e 15,56%, respectivamente (Figura 7D).

Campos et al. (2014) observaram que dez variedades, inclusive a variedade IACSP95-5000 (CTC2, CTC9, CTC15, IAC87-3396, IAC91-1099, IACSP93-3096, IACSP94-2101, RB86-7515 e RB92579), de cana-de-açúcar irrigada obtiveram médias superiores, aos 285 DAP, em relação à outras variedades, no entanto não mostraram diferenças significativas entre si no diâmetro de colmo.

A produtividade de colmos da cana-de-açúcar em função das doses de nitrogênio, em cana-planta se adequou ao modelo linear, com R² acima de 92,9% (Figura 8A); conforme a equação de regressão, obteve-se incrementos de 10,3; 13,9; 15,1; 13,8 e 12,9% na produtividade, para cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente. Teodoro et al. (2013) verificaram que a taxa marginal de substituição da água de irrigação por nitrogênio não é fixa, aumenta à medida que diminui a lâmina de irrigação, mas isso só até certo ponto; ainda observaram que a resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, com base na reta que limita a região de produção, aumenta em relação direta com a disponibilidade hídrica do solo.



** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Figura 8. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e doses de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.

Comparando as doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha⁻¹, observa-se diferença na produtividade de colmos em relação a essas doses de nitrogênio de 30,9; 41,8; 45,2; 41,3 e 38,9%, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 8A). Joris (2015) observou que em solo de textura média, a absorção de N proveniente do fertilizante é menor do que em solo argiloso, quando aplicados em quantidades e épocas similares; deste modo, concluiu que altas doses de N (acima de 120 kg ha⁻¹) em cana-de-açúcar podem promover ganhos de produtividade em ambientes responsivos.

A produtividade de colmos da cana-de-açúcar, também indicou acréscimo 0,2; 0,32; 0,36; 0,35 e 0,35 ton ha⁻¹ para cada incremento de 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 8A).

O N aplicado proporciona aumentos significativos na produção de colmos e no teor de sacarose de cana-de-açúcar (cana-de-planta), e conseqüentemente no rendimento de açúcar, e também pode ser observado quando se aplica zinco; além disso, o crescimento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar são diretamente proporcionais à água transpirada, pois existe relação entre a produtividade e a evapotranspiração de cana-de-açúcar (LEAL, 2012; FRANCO et al., 2015), e faz com que a fertirrigação de N e Zn promova incrementos bastante significativos na cana-de-açúcar.

A produtividade de colmos da cana-de-açúcar em função das doses de zinco, em cana-planta se adequou ao modelo linear, com R² acima de 88% (Figura 8B); conforme a equação de regressão, obteve-se acréscimo de 6,1; 5,6; 4,2 e 7,7% na produtividade de

colmos, para cada aumento de 2,5 kg ha⁻¹ de zinco, nas doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente.

A aplicação de nutrientes via água de irrigação, promove aumento significativo na produtividade da cana-de-açúcar (>22%), além disso para a produtividade de 152 ton ha⁻¹, a cana-de-açúcar, extrai 1,4 kg ha⁻¹ de Mn e 2,3 kg ha⁻¹ de Zn (TASSO JUNIOR et al., 2007; SOUSA et al., 2015). Esta produtividade de colmos é próxima à obtida na cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000) fertirrigada com 7,5 kg ha⁻¹ de Zn e 180 kg ha⁻¹ de N, e inferior quando a cultura foi fertirrigada com 10 kg ha⁻¹ de Zn e 180 kg ha⁻¹ de N (Figura 8B).

A produtividade de colmos da cana-de-açúcar, também indicou acréscimo 2,47; 2,52; 2,24 e 5,25 ton ha⁻¹ para cada incremento de 1 kg ha⁻¹ de zinco, nas doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 8B). O aumento do suprimento de nutrientes (nitrogênio e zinco) resulta em crescimento vigoroso da cana-de-açúcar (UDAYAKUMAR et al., 2014), conseqüentemente com plantas de cana-de-açúcar apresentando maximização da sua altura e do seu diâmetro, consegue-se melhor ATR e produtividade de colmos da cana-de-açúcar.

Comparando as doses de zinco de 0 e 10 kg ha⁻¹, observa-se diferença na produtividade de colmos em relação a essas doses de zinco de 24,6, 22,3, 16,9 e 30,8%, nas doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 8B). A produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com as doses mais elevadas de nitrogênio e zinco ficou acima de 160 ton ha⁻¹. Becari (2010) observou que houve respostas a aplicação com Zn que resultaram em produtividade de 157 ton ha⁻¹, a qual foi 21,7% maior do que a produtividade da cana-de-açúcar (variedade SP 81-3250) obtida no controle, em um Latossolo Vermelho, que apresentava baixo teor de Zn.

4.4 CONCLUSÕES

A aplicação de nitrogênio e zinco aumenta significativamente a altura de planta e o diâmetro de colmo no decorrer do ciclo da cana-de-açúcar.

A máxima produtividade de colmos da cana-de-açúcar, ocorre quando a cultura é fertirrigada com 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio e 10 kg ha⁻¹ de zinco.

A aplicação de diferentes doses de nitrogênio e zinco via fertirrigação influenciam o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, promovendo incrementos na produtividade de colmos.

4.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), à Usina Raízen unidade Jataí, e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, pelo apoio financeiro e estrutural para a condução deste estudo.

4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J. A. A.; GONÇALVES, J. R. P.; MELO, S. A.; OKA, J. M.; SENRA, T. V. Zinco: necessário para a produção de milho em solo de várzea (Iranduba) Amazonas. **Revista de educação, ciência e tecnologia** do IFAM, v. 10 - nº 2, 15p., 2016.
- ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, 81:650-662, 1989.
- ALVES, B. A. **Desempenho agrônomo e produtividade de soqueira de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água e nitrogênio**. Dissertação (Mestrado). Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, 66p., 2014.
- ANDERSON, D.L.; BOWEN, J.E. Nutrição da cana de açúcar. Piracicaba: Potafós, 1992. 40p.
- ARAÚJO, R.; ALVES JUNIOR, J.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P. Variação na qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar em decorrência da suspensão da irrigação antes da colheita e da ocorrência de baixas temperaturas. **Bragantia**, Campinas v. 75, n. 1, p.118-127, 2016.
- BARŁÓG, P.; NOWACKA, A.; BŁASZYK, R. Effect of zinc band application on sugar beet yield, quality and nutrient uptake. **Plant Soil Environ**, Vol. 62, No. 1: 30-35, 2016.
- BARNES, A.C. **The sugar cane**. 2nd ed. Leonard Hill, Ltd., London, 1974.
- BECARI, G. R. G. **Resposta da cana-planta à aplicação de micronutrientes**. Teses. Instituto agrônomo IAC. Campinas, SP, 79p., 2010.

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; BENETT, K. S. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; COSTA, N. R.; MAEDA, A. S.; ANDREOTTI, M. Acúmulo de nutrientes no colmo de cana-de-açúcar em função de fontes e doses de manganês. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 1077-1088, maio/jun. 2013.

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

BIKILA, M.; DECHASSA, N.; ALEMAYEHU, Y. Effects of Pre Cutting Nitrogen Application Rate and Time on Seed Cane Quality of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Crop at Finchaa Sugar Estate. **Advances in Crop Science and Technology**, 2:5, 7p., 2014.

BRAGA, D. L.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; BRITO, R. R. et al. **Crescimento de cana-de-açúcar (1ª soca) sob diferentes níveis de fertirrigação nitrogenada**. Embrapa Meio Norte, Teresina, PI. 2011.

BRAR, M.S.; BIJAY-SINGH; BANSAL, S.K.; SRINIVASARAO, C.H. Role of potassium nutrition in nitrogen use efficiency in cereals. **Eifc** 29: 20-27, 2011.

CAMPOS, P. F.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; FONTOURA, P. R.; EVANGELISTA, A. W. P. Variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação suplementar no cerrado goiano. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.34, n.6, p. 1139-1149, nov./dez. 2014.

CASTRO, S. G. Q. **Manejo da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar e diagnose por meio de sensores de dossel**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, Brasil, 129p. 2016.

CHAVES, V. A.; SANTOS, S. G.; SCHULTZ, N.; PEREIRA, W.; SOUSA, J. S.; MONTEIRO, R. C.; REIS, V. M. Desenvolvimento inicial de duas variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas. **R. Bras. Ci. Solo**, 39:1595-1602, 2015.

CHINELATO, P. H. **Produtividade e comportamento biométrico da cana-de-açúcar sob aplicação de vinhaça (in natura) e adubação mineral via gotejamento subsuperficial**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 115 p., 2016.

COSTA, A. R. F. C.; ROLIM, M. M.; BONFIM-SILVA, E. M.; SIMÕES NETO, D. E.; PEDROSA, E. R. M.; SILVA, Ê. F. F. Accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in sugarcane cultivated under different types of water management and doses of nitrogen. **Australian Journal of Crop Science** AJCS 10(3):362-369, 2016.

- COSTA, M. C. G. **Eficiência agrônômica de fontes nitrogenadas na cultura da cana-de-açúcar em sistema de colheita sem despalha a fogo**. Dissertação – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Piracicaba, 2001, 79 p.
- CUNHA, F. N. **Crescimento e rendimento da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água por gotejamento**. Dissertação. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. 2014. 76p.
- CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; SOUSA, A. E. C.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; VIDAL, V. M. Yield of sugarcane submitted to nitrogen fertilization and water depths by subsurface drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Online), v. 20, p. 841-846, 2016.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Irriga**, Botucatu, v.7, n.1, 2002. p.29-34.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n.3, p. 516-524, 2008.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana -de -açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p.283 –288, 2006.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 402 p.
- FARIAS, C. H. de A. **Otimização do uso da água e do zinco na cana-de-açúcar em tabuleiro costeiro paraibano**. Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2006. 142p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; OLIVEIRA, E. C. A.; FORTES, C.; FERREIRA, D. A.; KÖLLN, O. T.; GARSIDE, A. L.; TRIVELIN, P. C. O. Residual recovery and yield performance of nitrogen fertilizer applied at sugarcane planting. **Scientia Agricola**, 72(6), 528-534, 2015.
- FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; SARTORI, R. H. **Produtividade e atributos tecnológicos da cana-planta relacionados à aplicação de zinco**. STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 27, n. 5, p. 30-34, 2009.

GHAFFAR, A.; EHSANULLAH; AKBAR, N.; KHAN, S. H.; JABRAN, K.; HASHMI, R. Q.; IQBAL, A.; ALI, M. A. Effect of trench spacing and micronutrients on growth and yield of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Australian Journal of Crop Science**. AJCS 6(1): 1-9, 2012.

GÍRIO, L. A. S.; DIAS, F. L. F.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; SCHULTZ, N.; BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.50, n.1, p.33-43, jan. 2015.

GOBARAH, M.E.; TAWFIK, M.M.; ZAGHLOUL, S.M.; AMIN, G.A. Effect of combined application of different micronutrients on productivity and quality of sugar beet plants (*Beta vulgaris* L.). **International Journal of Plant and Soil Science**, 3: 589–598, (2014).

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

JORIS, H. A. W. **Nitrogênio na produção de cana-de-açúcar: aspectos agronômicos e ambientais**. Tese (Doutorado). Instituto Agrônomo – IAC. Campinas, SP, p.134, 2015.

KÖPPEN, W. **Köppen climate classification**. Geography about. 2013. Disponível em: <<http://geography.about.com/library/weekly/aa011700b.htm> >. Acessado em: 2 Fevereiro. 2017.

KORNDÖRFER, G. H.; RIBEIRO, A. C.; ANDRADE, L. A. B. **Cana-de-açúcar**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 285-288.

LEAL, D. P.V. **Evapotranspiração da cana-de-açúcar e fotossíntese acumulada em biomassa e energia, para diferentes variedades, disponibilidades hídricas no solo e ciclos de cultivos**. Dissertação. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

LEITE, J. M. **Acúmulo de fitomassa e de macronutrientes da cana-de-açúcar relacionadas ao uso de fontes de nitrogênio**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 90 p., 2011.

MACHADO, R.S.; RIBEIRO, R.V.; MARCHIORI, E.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, E.C.; LANDELL, M.G.A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit

hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MAZHAR, S. Impact of zinc and boron application on growth, cane yield and recovery in sugarcane. **Life Sciences International Journal**, Vol: 10 Issue: 01, January, 2016.

MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A.; TEIXEIRA, L. A. J. **Boletim zinco: cana-de-açúcar**. Iniciativa Nutriente Zinco (ZNI). IAC, pg. 1-6, 2014.

MOURA, M. V. P. da S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V. de; PONTES NETO, J.; AZEVEDO, H. M. DE; PORDEUS, R.V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência Agrotécnica**, Lavras/MG. v. 29, n. 4, 2005, p. 753 – 760.

MUSSI, R. F.; ALVES JUNIO, J.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; FLORES, R. A. Produção de cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada com efluente urbano de Goiânia-GO. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.8, n.1, p.46-54, 2017.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 579-588, jul-set, 2011a.

OLIVEIRA, F. M.; AGUILAR, P. B.; TEIXEIRA, M. F. F.; ASPIAZÚ, I.; MONÇÃO, F. P.; ANTUNES, A. P. S. Características agrotecnológicas de cana-de-açúcar em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1587-1606, 2014a.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J. Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica**, v.5, n.1, p. 56, 2011b.

OLIVEIRA, W. S.; BRITO, M. E. B.; ALVES, R. A. B.; SOUZA, A. S.; SILVA, E. G. Cultivo da cana-de-açúcar sob fertirrigação com vinhaça e adubação mineral. **Revista Verde** (Mossoró – RN), v. 9, n. 1, p. 01-05, jan - mar, 2014b.

PANCELLI, M. A.; PRADO, R. M.; FLORES, R. A.; ALMEIDA, H. J.; MODA, L. R.; SOUZA JUNIOR, J. P. Growth, yield and nutrition of sugarcane ratoon as affected by potassium in a mechanized harvesting system. **Australian Journal of Crop Science**, AJCS, 9(10):915-924, 2015.

REGIS, J. A. V. B. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones de cana-de-açúcar em dois ciclos produtivos**. Dissertação. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Ilha Solteira, 56p., 2016.

RHEIN, A. F. L. **Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 117p., 2012.

RIBEIRO, D. S. **Crescimento inicial da cana-de-açúcar em função de doses de adubos nitrogenados revestidos com micronutrientes ou não**. Universidade Federal de Uberlândia UFU, pg.35, 2016.

ROBERTS, T. L. Improving nutrients use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 32, p.177 -182, 2008.

ROBINSON, N.; GAMAGE, H.; WHAN, A.; FLETCHER, A.; BRACKIN, R.; HOLST, J.; LAKSHAMANAN, P.; SILVA, L.C.F.; CASAGRANDE, J.C. 1983. **Mineral nutrition of sugarcane (macronutrients)**. In: Orlando Filho J (ed) Nutrition and fertilization of sugarcane, Piracicaba, São Paulo.

ROCHA, F. J. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes doses de vinhaça**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 94 p., 2013.

ROCHA, F. J. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes doses de vinhaça**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 94 p., 2013.

ROSSETTO, R. **Maturação da cana-de-açúcar**. 2012. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_90_22122006154841.html>. Acesso em: 10 jan. 2017.

SALASSIER, B. **Manejo da Irrigação na Cana-de-açúcar**. 2006. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fi. Acesso em: 20 fev. 2017.

SALEEM, M. F.; GHAFAR, A.; ANJUM, S. A.; CHEEMA, M. A.; BILAL, M. F. Effect of Nitrogen on Growth and Yield of Sugarcane. **Journal American Society of Sugar Cane Technologists**, Vol. 32, 2012.

SAMIULLAH; EHSANULLAH; ANJUM, S.A.; RAZA, M.; HUSSAIN, N.; NADEEM, M.; ALI, N. Studies on Productivity and Performance of Spring Sugarcane Sown in

Different Planting Configurations. **American Journal of Plant Sciences**, 6, 2984-2988. 2015.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. 3.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353p.

SCUDELETTI, D.; LONGATTO, M. H. Efeito de diferentes adubações com npk em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista científica eletrônica de agronomia**, v.1, p.131-139, 2015.

SHIGAKI, F.; FREITAS, N.; BERTO, A.; CEDDIA, M. B.; ZONTA, E.; LIMA, E. Influência do estresse hídrico nos parâmetros de crescimento, acúmulo de N e produtividade de diferentes variedades de cana-de-açúcar em Miracema – RJ. **Revista Universitária Rural – Série Ciências da Vida**, v. 24, n. 1, p. 63-71, 2004.

SILVA, C. T. S.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; CARVALHO, C. M.; GOMES FILHO, R. R. Crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. **Rev. Bras. Agric. Irrigada**, v.3, n.1, p.3-12 2009.

SILVA, N. F. **Otimização de fontes e doses de nitrogênio (¹⁵N) na cana-de-açúcar irrigada no cerrado**. Tese (Doutorado) - Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Brasil. 2017. 115p.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; OLIVEIRA, R. C.; MOURA, L. M. F.; MOURA, L. C.; TEIXEIRA, M. B. Crescimento da cana-de-açúcar sob aplicação de nitrogênio via gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.8p.11, 2014a.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; MOURA, L. C. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar submetida a lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, p. 79-90, 2015.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; CARMO, J. F. A.; SOUZA, L. S. B. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 500-509, 2012.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOUZA, L. S. B. Biomassa seca acumulada, partições e rendimento industrial da cana-de-açúcar irrigada no Semiárido brasileiro. **Rev. Ceres, Viçosa**, v. 61, n.5, p. 686-696, set/out, 2014.

SIME, M. Effect of Different Nitrogen Rates and Time of Application in Improving Yield and Quality of Seed Cane of Sugarcane (*Saccharum* spp. L.) Variety B41/22. **International Journal of Scientific and Research Publications**, v.3, Issue 1, p.7, 2013.

SOOMRO, A. F.; TUNIO, S.; KEERIO, M. I.; RAJPER, I.; CHACHAR, Q.; ARAIN, M. Y. Effect of inorganic NPK fertilizers under different proportions on growth, yield and juice quality of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Pure Appl. Bio.**, 3(1): 10-18, March- 2014.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. (Eds). 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 416 p., 2004.

SOUSA, S. F. G.; MARASCA, I.; PALUDO, V.; SILVA, P. R. A.; LANÇAS, K. P. Produtividade da cultura de cana de açúcar com e sem a aplicação de fósforo em profundidade utilizando equipamento de preparo profundo mecanizado. **Energ. Agric.**, Botucatu, vol. 30, n.3, p.258-263, 2015.

TARIQ, A.; ANJUM, S.A.; RANDHAWA, M.A.; ULLAH, E.; NAEEM, M.; QAMAR, R.; ASHRAF, U.; NADEEM, M. Influence of zinc nutrition on growth and yield behaviour of maize (*Zea mays* L.) Hybrids. **American Journal of Plant Sciences**, 5, 2646-2654, 2014.

TASSO JUNIOR, L. C.; MARQUES, M. O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, T. **Extração de macronutrientes em cinco variedades de cana-de-açúcar cultivadas na região centro-norte do estado de São Paulo**. STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 25, n. 6, p. 6-8, 2007.

TAVARES, A.C.S; DUARTE, S.N.; DIAS, N. S.; SÁ, F.V. S; MIRANDA, J. H.; FERNANDES, C. S. Produção e maturação de cana-de-açúcar submetida a encharcamento em diferentes estádios de desenvolvimento. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 154-166, janeiro-março, 2017.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. **Doses, fontes e modos de aplicação de zinco na cultura da cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia, Unesp – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 153 p., 2011.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; GARCIA, C. M. 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**, Vol. 10(6), pp. 477-484, 2015.

TEODORO, I. **Respostas técnico-econômicas da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada**. 2011. 100p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

TEODORO, I.; DANTAS NETO, J.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; BRITO, K. S.; SÁ, L. A.; SANTOS, M. A. L.; SARMENTO, P. L. V. S. Isoquantas de produtividade da cana-de-açúcar em função de níveis de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 3, p. 387-401, 2013.

UDAYAKUMAR, S.; BASKAR, K.; SALIHA, B. B. Impact of fertilisation on yield and quality of ratoon sugarcane in theni district (India). **Journal of international academic research for multidisciplinary**, Volume 2, Issue 6, 9p., 2014.

URIBE, R. A. M.; GAVA, G. J. de C.; KÖLLN, O. T.; SAAD, J. C. C. Estimativa do acúmulo de fitomassa da soqueira de cana-de-açúcar fertirrigada com doses de N-fertilizante utilizando modelo de simulação. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 126-139, 2016.

VALE, F. R.do; GUEDES, G. A. de A.; GUILHERME, L. R. G.; FURTINI NETO, A. E. **Manejo da Fertilidade do Solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. p.173-179.

WAHAB, D. A. M. A. Introduction of Fertigation in Sugarcane Production for Optimization of Water and Fertilizers Use. **Agricultural Sciences**, 5, p.945-957, 2014.

5.0 CAPÍTULO I

RENDIMENTO DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA À FERTIRRIGAÇÃO COM NITROGÊNIO E ZINCO

RESUMO

O complexo sucroalcooleiro tem ocupado um lugar de destaque no agronegócio brasileiro, mediante a produção de açúcar e de álcool, deste modo para a cana-de-açúcar, a irrigação e a fertirrigação tornam-se uma prática essencial para aumento da produtividade canavieira e melhoria da qualidade tecnológica do caldo. Objetivou-se, assim avaliar a qualidade industrial, o rendimento bruto de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar (IACSP 95-5000), irrigada por pivô central, submetida à fertirrigação com nitrogênio e zinco, no ciclo de cana-planta, em Latossolo Vermelho de Cerrado. O experimento foi conduzido em condições de campo, em área da Fazenda Rio Paraíso II pertencente à Usina Raízen, no município de Jatai-GO. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, muito argiloso, fase Cerrado. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 4 x 5 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹), na forma de ureia; cinco doses de zinco (0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹), na forma de sulfato de zinco; quatro épocas de avaliações (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio – DAP). As parcelas foram constituídas por seis linhas de cana-de-açúcar de 5 m de comprimento espaçadas 1,50 m entre si. A área útil da parcela abrangeu as duas linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 2 m em cada extremidade. As variáveis avaliadas foram os sólidos solúveis totais (Brix), peso do bagaço úmido (PBU), açúcar redutor do caldo (AR%CE) e da cana (AR%CA), fibra industrial (FIB), pureza (PZA), Pol do caldo (Pol %caldo), Pol da cana (Pol %cana), açúcar total recuperável (ATR), rendimento bruto de açúcar e de álcool. A irrigação foi realizada por um pivô central. A aplicação de nitrogênio e zinco via água de irrigação promove aumento de até 47%, nos rendimentos de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*, qualidade industrial, irrigação, produtividade

YIELD OF SUGAR AND ALCOHOL OF SUGARCANE SUBMITTED TO FERTIRRIGATION WITH NITROGEN AND ZINC

ABSTRACT

The industrial complex has occupied a prominent place in the Brazilian agribusiness, through the production of sugar and alcohol, thus for sugarcane, irrigation and fertirrigation become an essential practice for increasing sugarcane productivity and improving technological quality of the juice. The objective of this study was to evaluate technological quality, yield of sugar and ethanol of sugarcane (IACSP 95-5000) irrigated by central pivot, submitted to fertirrigation with nitrogen and zinc, in the cane-plant cycle, in Red Oxisol of Cerrado (savannah) phase. The experiment was conducted in field conditions in an area of the Rio Paraiso II Farm belonging to the Raízen industry, in the municipality of Jataí-GO, Brazil. The soil of the experimental area is classified as dystroferric Red Oxisol (Rhodic Hapludox), very clayey, Cerrado (savannah) phase. The experimental design used was randomized block, analyzed in split-split-plot 4 x 5 x 4, with three replicates. The treatments consisted of four nitrogen doses (0, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹) as urea; five doses of zinc (0, 2.5, 5.0, 7.5 and 10 kg ha⁻¹) as zinc sulphate; four evaluations times (210, 250, 290 and 330 day after planting - DAP) in sugarcane of first year. The plots consisted of six lines of sugarcane of 5 m long, spaced 1.50 m apart. The area used by plot was two central lines of each plot, disregarding 2 m at each end. The variables evaluated were soluble solids (Brix), bagasse weight (BW), juice reducing sugar (AR%CE), reducing sugar (AR%CA), industrial fiber (FIB), apparent purity (AP), juice apparent sucrose (Pol %juice), apparent sucrose (Pol %cane), total recoverable sugar (TRS), yield of sugar and ethanol. A central pivot realized the irrigation. The application of nitrogen and zinc by irrigation water promotes an increase of up to 47% in the yield of sugar and alcohol from sugarcane.

Keywords: *Saccharum officinarum*, technological quality, irrigation, productivity

5.1 INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético tem grande importância na economia brasileira, cuja indústria sucroalcooleira representa cerca de 2% das exportações nacionais, e contribui de maneira efetiva para o crescimento do mercado interno de bens de consumo. Desta forma o complexo sucroalcooleiro tem ocupado lugar de destaque no agronegócio brasileiro, mediante a produção açúcar e álcool combustível, além de inúmeros outros produtos de significativa expressão (DIAS NETO, 2000; BOLOGNA-CAMPBELL, 2007; UNICA, 2008; NEVES; TROMBIN, 2014). Com isto, para espécies com grande importância econômica como a cana-de-açúcar, a irrigação e a fertirrigação tornam-se uma prática essencial para aumento da produtividade canavieira e melhoria da qualidade tecnológica do caldo e longevidade do canavial (DANTAS NETO et al. 2006; DALRI; CRUZ, 2008; SANTOS, 2014).

A fertirrigação permite manter a disponibilidade de água e nutrientes próxima dos valores considerados ótimos ao crescimento, à produtividade e ao rendimento de álcool e de açúcar da cultura (CIAVATTA, 2009; MUSSI et al., 2017). Além disso, cada vez mais tem crescido a necessidade de utilização de técnicas que impliquem no uso racional de fertilizantes em agricultura irrigada, como é o caso da fertirrigação (OLIVEIRA et al., 2007, ESPERANCINI et al., 2015).

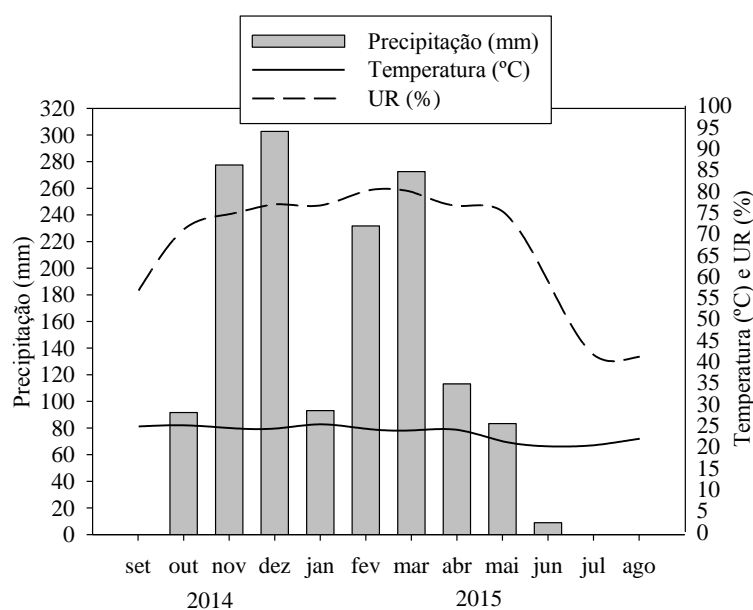
Na aplicação de nitrogênio, é que a fertirrigação tem sido mais empregada, pois pode resultar numa eficiência de uso desse nutriente duas vezes maior, quando comparado com a adubação convencional (PHENE et al., 1987; VALE et al., 1997; OLIVEIRA et al., 2014). Sua aplicação via fertirrigação é considerada a alternativa mais econômica e contribui para a fertilidade dos solos e o rendimento de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar, porém o manejo inadequado na aplicação pode ocasionar, a perda na qualidade da matéria-prima para indústria (ROCHA, 2013; BASTOS et al., 2016).

O fornecimento de nutrientes de forma balanceada e na quantidade exigida pela cultura é fator determinante no aumento da produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. O zinco é o micronutriente que geralmente mais tem causado deficiência nutricional, pois o solo pobre em zinco, dificulta o crescimento e o desenvolvimento da cultura, e limita a produção, também acaba repercutindo em perdas na qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar; entretanto, o zinco ainda é pouco estudado (ALLOWAY, 2004; FARIAS, 2006; QUINTANA, 2010; SOUZA et al., 2015), principalmente via fertirrigação na cultura da cana-de-açúcar.

No caso da aplicação destes nutrientes, tanto o excesso quanto a deficiência pode influenciar a qualidade tecnológica dos colmos, ocasionando em alterações na qualidade do caldo, no teor de fibra e na concentração de sacarose, repercutindo diretamente na qualidade e na quantidade dos produtos derivados da cana-de-açúcar, pois a eficiência do processo industrial de recuperação do açúcar depende da qualidade da matéria-prima entregue na unidade industrial (VIANA et al. 2007; PECEGE, 2011; VALE, 2013; BET, 2015). Objetivou-se, assim avaliar a qualidade industrial, o rendimento bruto de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar (IACSP 95-5000), irrigada por pivô central, submetida à fertirrigação com nitrogênio e zinco, no ciclo de cana-planta, em Latossolo Vermelho de Cerrado.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, em área da fazenda Rio Paraíso II pertencente à Usina Raízen, no município de Jataí, GO. As coordenadas geográficas do local são 17°44'2.62"S e 51°39'6.06"O, com altitude média de 907 m. A precipitação pluvial anual chega a 1800 mm aproximadamente, porém mal distribuídas ao longo do ano, conforme os dados climáticos dispostos na Figura 1.



Fonte: Estação Normal INMET – Jataí-GO.

Figura 1. Dados quinzenais de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa ocorridas no período decorrente do experimento, Jataí-GO, safra 2014/15.

Segundo a classificação de Köppen (2013), o clima do local é do tipo Aw, tropical, com chuva nos meses de outubro a abril, e seca nos meses de maio a setembro. A temperatura máxima oscila de 35 a 37°C e, a mínima de 12 a 15°C.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico, muito argiloso, fase cerrado (SANTOS et al., 2013). As características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas, físico-hídricas, granulometria e classificação textural do solo da área experimental, Jataí-GO, safra 2014/15

Camada ¹ m	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P --mg dm ⁻³ --	S --mg dm ⁻³ --	K -----mmolc dm ⁻³ -----	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V %
0,0–0,1	5,4	81	33	4,0	4,8	21	10	<1	31	66,8	54
0,1–0,2	5,6	75	12	7,0	4,7	19	11	<1	22	56,7	61
0,2-0,4	5,7	74	16	12	4,8	21	12	<1	22	59,8	63
Camada m	B		Cu		Fe		Mn		Zn		
	----- mg dm ⁻³ -----										
0,0–0,1	0,22		1,2		73		3,9		1,0		
0,1–0,2	0,16		1,0		46		1,8		1,2		
0,2-0,4	0,20		1,1		55		2,9		0,2		
Camada m	Granulometria (g kg ¹)			CC ----- % -----	PMP -----	Classificação textural					
	Areia	Silte	Argila								
0,0–0,1	96	82	822	46,3	22,6	Muito argiloso					
0,1–0,2	97	82	822			Muito argiloso					
0,2-0,4	85	71	845	45,8	22,6	Muito argiloso					

¹CC – Capacidade de campo; PMP – ponto de murcha permanente; P, K, Ca e Mg: Resina; S: Fosfato de cálcio 0,01 mol L⁻¹; Al: KCl 1 mol L⁻¹; H+Al: SMP; B: água quente; Cu, Fe, Mn e Zn: DTPA; M.O - Matéria Orgânica; pH - em CaCl₂; CTC - Capacidade de troca de cátions; V - Saturação da CTC por bases.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 4 x 5 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹); cinco doses de zinco

(0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹); quatro épocas de avaliações (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio - DAP), em cana-planta.

A adubação nitrogenada foi de acordo com os tratamentos, cuja fonte de N utilizada foi a ureia, dividida em três aplicações, aos 60 dias após o plantio. Já a fonte de zinco utilizada foi o sulfato de Zn, em aplicação única. Todos os tratamentos foram adubados no sulco de plantio com fósforo P₂O₅ (100 kg ha⁻¹), na forma de superfosfato triplo, potássio K₂O (80 kg ha⁻¹), na forma de cloreto de potássio, e micronutrientes, exceto zinco, conforme resultados das análises de solo e recomendação de Sousa e Lobato (2004).

A variedade escolhida para ser implantada no experimento foi a IACSP95-5000, nas condições de cana-planta. As principais características da variedade são: produção agrícola muito alta, alto teor de sacarose, porte ereto, ótima brotação de soqueira, indicada para ambientes médios - favoráveis, bom perfilhamento e fechamento de entrelinhas, resistência as principais doenças, não apresentando tombamento e florescimento (CHAVES et al., 2015).

O preparo do solo foi realizado pelo sistema convencional, por meio de aração e gradagem, seguido de abertura dos sulcos de plantio. O plantio foi mecanizado, conforme realizado comercialmente e o número de gemas por metro, conforme as recomendações para a respectiva variedade.

A irrigação foi realizada por um Pivô central, modelo PC 08-64/03-647/01-646/L4 + AC, em aço galvanizado, baixa pressão, com 12 torres de sustentação, com área total irrigada de 139,31 ha, velocidade de 268 m h⁻¹ na última torre, aplica uma lâmina bruta mínima para uma volta a 100% de 1,35 mm. A tubulação adutora possui 800 m de comprimento, com diâmetro de 162,2 mm feito em PVC de 150/60. Pressurizado por uma bomba simples modelo ITA 100-400, com vazão prevista de 128,99 m³ h⁻¹, e pressão prevista de 63,90 mca, rotação de 1750 rpm e potência do motor de 47,49 CV.

A lâmina de irrigação, foi conforme realizado comercialmente, através do software IRRIGER[®]. O software utiliza o método de Penman-Monteith, adaptado por Allen et al. (1989) para a estimativa da evapotranspiração em escala diária, com os dados micrometeorológicos de radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

Foi realizado o monitoramento do °Brix da cana-de-açúcar em campo, nas quatro últimas semanas antes da colheita. Para a determinação do ponto de colheita da cana-de-

açúcar, utilizou-se o Índice de Maturação (IM) determinado em campo, utilizando um refratômetro portátil, sendo os valores de IM classificados conforme Rosseto (2012).

A colheita da cana-de-açúcar foi realizada aos 330 dias após o plantio, em 25/08/2015. Na colheita, foi realizada uma subamostragem aleatória de dez colmos de cada parcela, que foram encaminhados ao Laboratório agroindustrial da Usina Raízen, em Jatai-GO, para as análises e obtenção dos valores de Pol %cana, Pol %caldo, Brix %, pureza aparente (PZA), peso do bagaço úmido (PBU), açúcares redutores (AR), açúcar total recuperável (ATR) e teor de fibra (FIB), conforme sistema Consecana (2006).

Os rendimentos de açúcar e de álcool foram calculados utilizando o valor de quantidade de açúcar bruto determinado na análise tecnológica de acordo com metodologia descrita por Caldas (1998), conforme equação 1 e 2:

$$RA_{\zeta} = \left(\frac{PCC * PC}{100} \right) \quad (1)$$

em que: RA_{ζ} - rendimento de açúcar ($kg\ ha^{-1}$); PCC - quantidade de açúcar bruto (%) contido nos colmos e determinada em laboratório; PC - produção de colmos ($kg\ ha^{-1}$).

$$RA = ((PCC * F) + ARL) * Fg * 10 * PC \quad (2)$$

em que: RA - rendimento de álcool ($L\ ton^{-1}$); PCC - quantidade de açúcar bruto (%) contido nos colmos e determinada em laboratório; F - fator de transformação estequiométrica de sacarose em uma molécula de glicose mais uma de frutose, igual a 1,052; ARL - são os açúcares redutores livres (%), cujos valores variam de 0,7 a 0,85%, sendo que a destilaria utiliza 0,7 para PCC alto; Fg - fator de Gay Lussac igual a 0,6475; PC - produção de colmos ($t\ ha^{-1}$).

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$) e em casos de significância, foi realizada análise de regressão para os níveis de adubação nitrogenada, adubação com zinco e para as épocas de avaliação, utilizando o software estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O peso do bagaço úmido (PBU), sólidos solúveis totais (Brix) e pureza (PZA) da cana-de-açúcar (cana-planta), foi significativo para os fatores isolados nitrogênio e zinco

(Tabela 2). Efeitos significativos pela aplicação de zinco e de nitrogênio têm sido verificados nos parâmetros agroindustriais de qualidade da cana-de-açúcar (cana-planta), bem como na produtividade (FRANCO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2014).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis sólidos solúveis totais (Brix), peso do bagaço úmido (PBU), açúcar redutor do caldo (AR%CE) e da cana (AR%CA), fibra industrial (FIB) e pureza (PZA) da cana-de-açúcar (cana-planta) fertirrigada com nitrogênio (N) e zinco (Zn), Jataí-GO, safra 2014/15

FV	GL	QM					
		Brix	PBU	AR%CE	AR%CA	FIB	PZA
N	3	1,19*	31,08*	0,0016 ^{ns}	0,0011 ^{ns}	0,017 ^{ns}	19,05*
Zn	4	10,59**	464,33**	0,0023 ^{ns}	0,0024 ^{ns}	0,018 ^{ns}	189,72**
N*Zn	12	0,59 ^{ns}	16,89 ^{ns}	0,0025 ^{ns}	0,0017 ^{ns}	0,013 ^{ns}	8,09 ^{ns}
Bloco	2	0,12 ^{ns}	9,37 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,025 ^{ns}	9,51 ^{ns}
Resíduo	38	0,41	9,86	0,0013	0,001	0,016	6,49
CV (%)	-	3,35	2,35	3,08	3,21	2,44	2,85

¹Fertirrigação com nitrogênio (N) e Zinco (Zn). Fonte de variação (FV), Grau de liberdade (GL), Quadrado médio (QM) e Coeficiente de variação (CV). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Não houve efeito significativo da fertirrigação com nitrogênio e zinco na fibra industrial (FIB), no açúcar redutor do caldo (AR%CE) e da cana (AR%CA) da cana-de-açúcar. Não têm sido observadas alterações consideráveis na fibra e AR, em resposta a aportes mais elevados de N, pois valores destes índices tecnológicos muito elevados podem caracterizar uma qualidade inferior da matéria-prima (FIRME 2007; SILVA et al., 2014).

O AR%CE e AR%CA e a fibra industrial da cana-de-açúcar (variedade IACSP95-5000) apresentaram valores médios de 0,55; 047 e 11,8%, respectivamente. Schultz (2009) estudando o efeito da vinhaça e de diferentes doses de nitrogênio na cana-de-açúcar verificou valores de fibra variando de 10,4 a 11,1%.

A interação nitrogênio e zinco foi significativo para o rendimento de açúcar (RAç) e de álcool (RA), ao nível de 1% de probabilidade; já para os fatores isolados nitrogênio

e zinco houve efeito significativo para o Pol do caldo (Pol %caldo), Pol da cana (Pol %cana) e açúcar total recuperável (ATR) (Tabela 3).

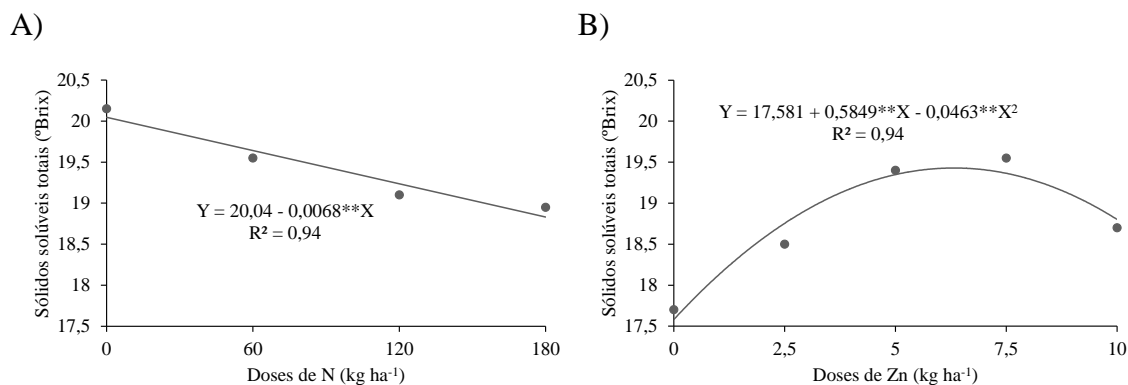
Tabela 3. Resumo da análise de variância para as variáveis Pol do caldo (Pol %caldo), Pol da cana (Pol %cana), açúcar total recuperável (ATR), rendimento de açúcar (RAç) e de álcool (RA) da cana-de-açúcar (cana-planta) fertirrigada com nitrogênio (N) e zinco (Zn), Jataí-GO, safra 2014/15

FV	GL	QM				
		Pol%Caldo	Pol%Cana	ATR	RAç	RA
N	3	1,77*	1,12*	149,96**	219,71**	110,86**
Zn	4	7,67**	3,23**	34,22**	44,70**	22,56**
N*Zn	12	0,44 ^{ns}	0,77 ^{ns}	3,06 ^{ns}	2,85**	1,44**
Bloco	2	1,36 ^{ns}	0,14 ^{ns}	1,65 ^{ns}	2,08 ^{ns}	1,05 ^{ns}
Resíduo	38	0,62	0,39	2,19	1,04	0,53
CV (%)	-	4,55	4,16	2,28	6,40	6,45

¹Fertirrigação com nitrogênio (N) e Zinco (Zn). Fonte de variação (FV), Grau de liberdade (GL), Quadrado médio (QM) e Coeficiente de variação (CV). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Andrade Júnior et al. (2012) verificaram que a variação nos níveis de irrigação e de N proporcionaram diferenças significativas na produtividade de colmos, rendimento de açúcar e de álcool, e indica o potencial de aplicação da técnica da fertirrigação na cultura da cana-de-açúcar.

O Brix da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio se adequou ao modelo linear, com R^2 de 94%, conseqüentemente apenas 5,9% das variações do Brix não são explicadas pela variação das doses de nitrogênio (Figura 2A); conforme a equação de regressão, obteve-se decréscimo de 2% no Brix, para cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Comparando a dose de nitrogênio de 0 e 180 kg ha⁻¹, observa-se diferença no Brix em relação a essas doses de nitrogênio de 6%. O menor Brix foi de aproximadamente 18,8 °Brix, na dose de nitrogênio de 180 kg ha⁻¹. Moura et al. (2014) observaram diferença significativa para o Brix, sendo que para este, grande parte dos maiores valores foram encontrados sem fertirrigação com nitrogênio.



** significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.

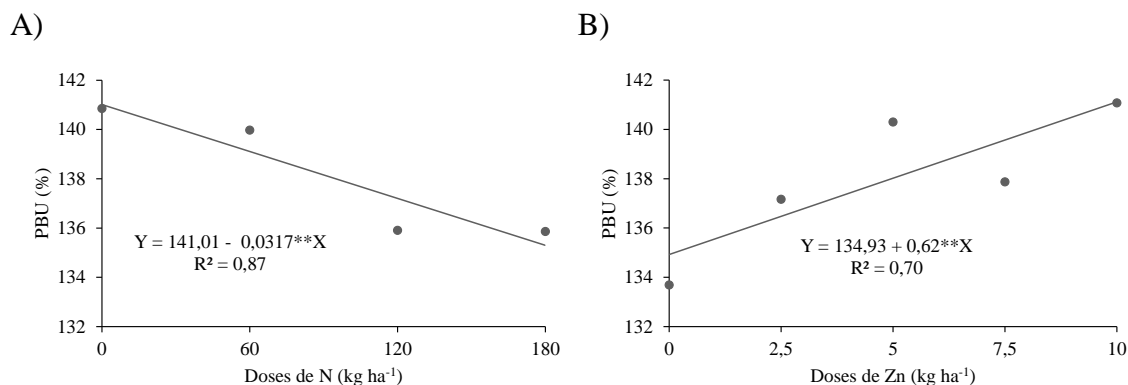
Figura 2. Sólidos solúveis totais (Brix) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.

O Brix da cana-de-açúcar em função das doses de zinco se adequou ao modelo quadrático com R^2 de 94% (Figura 2B). As doses crescentes de fertirrigação com zinco elevaram o Brix da cana-de-açúcar até a dose de 6,32 kg ha⁻¹, com a aplicação desta dose de zinco foi atingido o Brix máximo de aproximadamente 19,43 °Brix.

O Brix máximo verificado na dose de zinco de 6,32 kg ha⁻¹, foi 9,5; 3,5; 0,42; 0,34 e 3,2% maior do que o Brix observada nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente.

Schultz et al. (2017) verificaram que as variedades RB867515 e RB72454 de cana-de-açúcar adubadas com 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio apresentaram Brix de 20,2 e 19,6 °Brix, e Pol da cana de 13,2 e 13,8%, respectivamente.

O peso do bagaço úmido (PBU) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio, se adequou ao modelo linear, com R^2 de 87% (Figura 3A); conforme a equação de regressão obteve-se decréscimo de 1,9% no PBU, para cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Contrastando a dose de nitrogênio de 0 e 180 kg ha⁻¹, observa-se diferença no PBU em relação a essas doses de nitrogênio de 5,7%. O PBU da cana-de-açúcar, também indicou decréscimo de 0,03% para cada incremento de 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio, alcançando na dose de nitrogênio de 180 kg ha⁻¹ o PBU de 135,3%. Oliveira et al. (2017) verificaram efeitos significativos na qualidade tecnológica, no rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar (RB 918639), adubada com doses de nitrogênio de até 160 kg ha⁻¹.

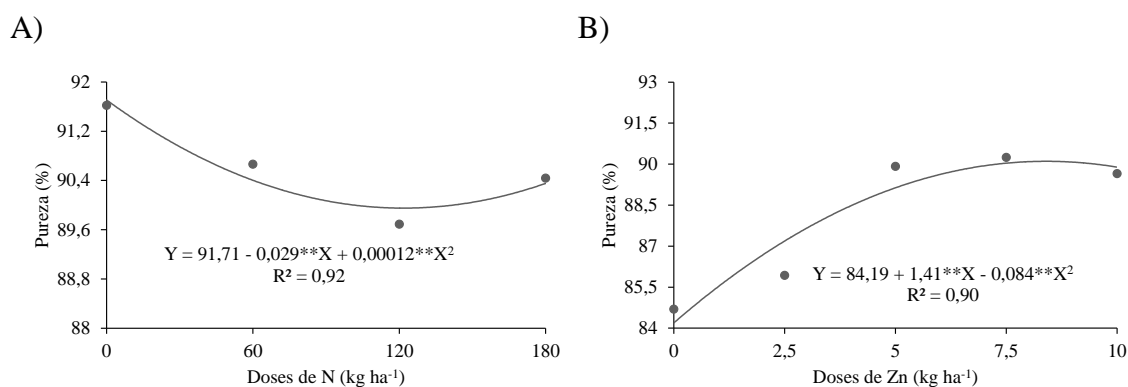


** significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 3. Peso do bagaço úmido (PBU) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.

O PBU da cana-de-açúcar em função das doses de zinco se adequou ao modelo linear, com R^2 de 70% (Figura 3B). Levando em consideração a dose de zinco de 0 e 10 kg ha⁻¹, observa-se diferença no PBU em relação a essas doses de zinco de 6,2%. O PBU da cana-de-açúcar, também indicou acréscimo de 0,62% para cada incremento de 1 kg ha⁻¹ de zinco, alcançando na dose de zinco de 10 kg ha⁻¹ o PBU de aproximadamente 141%. Farias et al. (2009) avaliando a qualidade industrial da matéria-prima da cana-de-açúcar (variedade SP 79 1011), sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de adubação com zinco, observou um PBU de 143,83% na dose de 4 kg ha⁻¹ de Zn.

A pureza da cana-de-açúcar em função das doses de nitrogênio se adequou ao modelo quadrático com R^2 de 92% (Figura 4A).



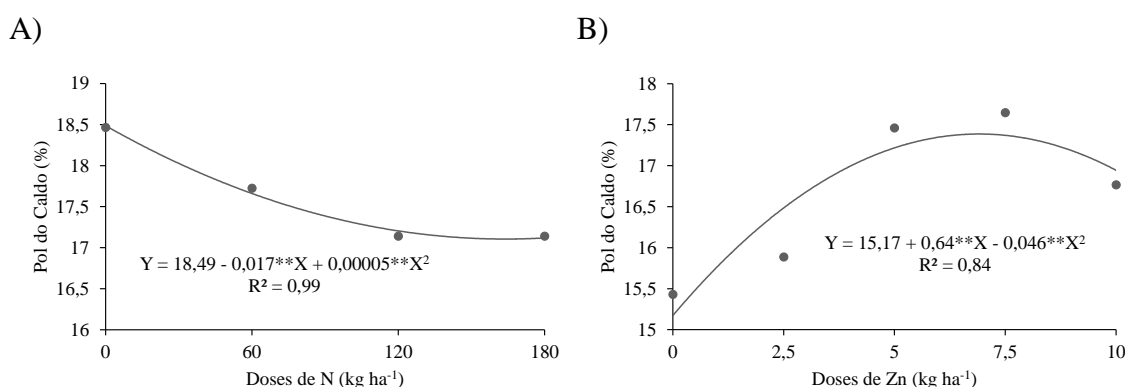
** significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 4. Pureza (PZA) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.

As doses crescentes de adubação com nitrogênio reduziram a pureza da cana-de-açúcar até a dose de 121,8 kg ha⁻¹ de N, com a aplicação desta dose de nitrogênio foi atingido a pureza mínima de aproximadamente 89,9%. A pureza mínima verificada na dose de nitrogênio de 121,8 kg ha⁻¹, foi 1,8% menor do que a pureza observada na dose de nitrogênio de 0 kg ha⁻¹. Rhein et al. (2016) observou que as variáveis tecnológicas Brix, pol% caldo e pureza% da cultivar SP80-3280 de cana-de-açúcar foram alteradas mediante a aplicação das doses de nitrogênio via fertirrigação, com reduções significativas na dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

A pureza da cana-de-açúcar em função das doses de zinco se adequou ao modelo quadrático com R² de 90% (Figura 4B). As doses crescentes de adubação com zinco elevaram a pureza da cana-de-açúcar até a dose de 8,4 kg ha⁻¹, com a aplicação desta dose de zinco foi atingida a pureza máxima de aproximadamente 90,1%. A pureza máxima verificada na dose de zinco de 8,4 kg ha⁻¹, foi 5,9 e 2,9% maior do que a pureza observada na dose de zinco de 0 e 2,5 kg ha⁻¹. Pereira et al. (2017) observaram valores de pureza variando entre 83,6 a 88,2% e de Pol da cana entre 14,6 a 15%, das variedades RB92579, RB98710, RB99395 e RB961003.

O Pol do caldo da cana-de-açúcar em função das doses de nitrogênio se adequou ao modelo quadrático com R² de 99,2%, logo somente 0,8% das variações do Pol do caldo não são explicadas pela variação das doses de nitrogênio (Figura 5A).



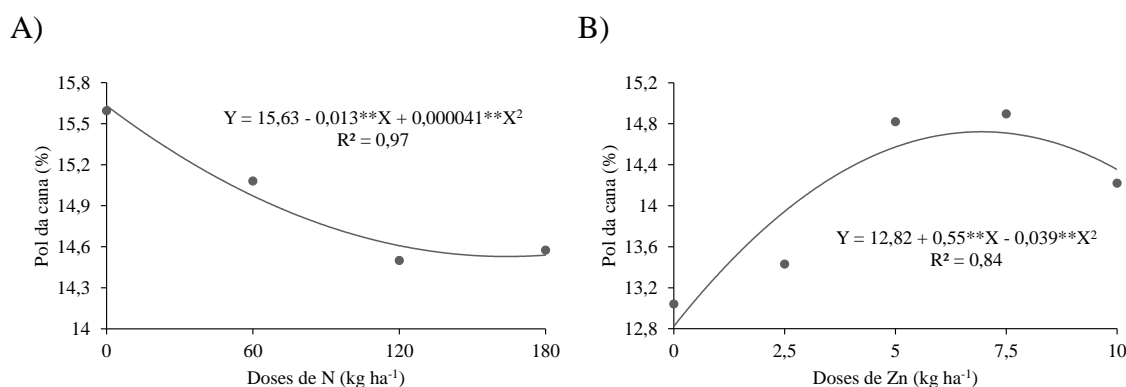
** significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 5. Pol do caldo (Pol % caldo) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.

As doses crescentes de adubação com nitrogênio reduziram o Pol do caldo da cana-de-açúcar até a dose de 163,9 kg ha⁻¹ de N, com a aplicação desta dose de nitrogênio foi atingido o Pol do caldo mínimo de aproximadamente 17,1%. O Pol do caldo mínimo verificado na dose de nitrogênio de 163,9 kg ha⁻¹, foi 1,4% menor do que o Pol do caldo observada na dose de nitrogênio de 0 kg ha⁻¹. A adubação nitrogenada geralmente está associada ao maior crescimento vegetativo, determinando plantas com maior teor de umidade, porém com perdas no acúmulo de sacarose (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

O Pol do caldo da cana-de-açúcar em função das doses de zinco se adequou ao modelo quadrático com R² de 84% (Figura 5B). As doses crescentes de adubação com zinco elevaram o Pol do caldo da cana-de-açúcar até a dose de 6,9 kg ha⁻¹, com a aplicação desta dose de zinco foi atingido o Pol do caldo máximo de aproximadamente 17,4%. O Pol do caldo máximo verificada na dose de zinco de 6,9 kg ha⁻¹, foi 2,2% maior do que a Pol do caldo observado na dose de zinco de 0 kg ha⁻¹. Teixeira Filho et al. (2013) avaliando a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar cultivada em um Argissolo Vermelho eutroférico, de textura arenosa com baixo teor de Zn, verificou que os maiores valores de Pol do caldo (19,5%) e Brix (22,1 °Brix) da 1ª cana-soca, ocorreram entre as doses de 4,0 a 5,0 kg ha⁻¹ de Zn.

O Pol da cana da cana-de-açúcar em função das doses de nitrogênio se adequou ao modelo quadrático com R² de 97% (Figura 6A). As doses crescentes de adubação com nitrogênio reduziram o Pol da cana até a dose de 164 kg ha⁻¹, com a aplicação desta dose de nitrogênio foi atingido o Pol da cana mínimo de aproximadamente 14,5%.



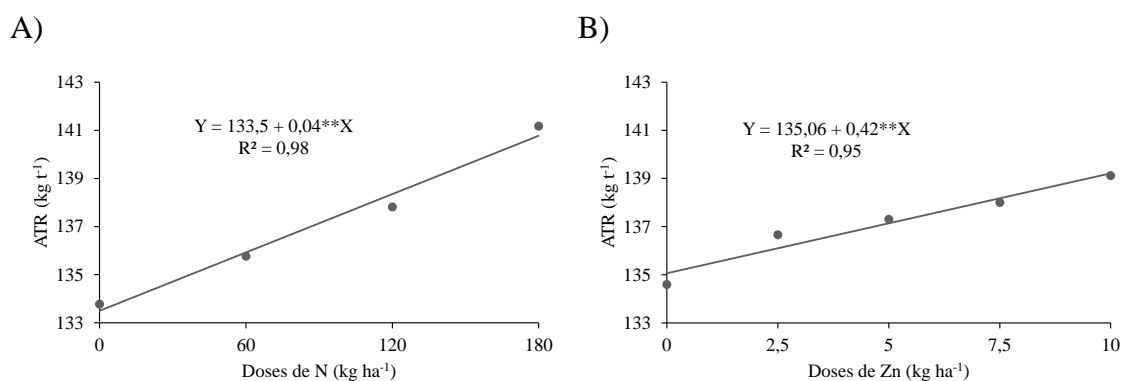
** significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 6. Pol da cana (Pol % cana) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.

O Pol da cana mínimo verificado na dose de nitrogênio de 164 kg ha⁻¹, foi 1,1% menor do que o Pol da cana observada na dose de nitrogênio de 0 kg ha⁻¹. Teshome et al.(2015) também encontraram os maiores valores de Brix (18,74), de Pol (14,94%) e de pureza (80,53%) de cana-de-açúcar (variedade B52-298) nas doses menores de nitrogênio.

O Pol da cana da cana-de-açúcar em função das doses de zinco se adequou ao modelo quadrático com R² de 84% (Figura 6B). As doses crescentes de adubação com zinco elevaram o Pol da cana até a dose de 6,94 kg ha⁻¹, com a aplicação desta dose de zinco foi atingido o Pol da cana máximo de aproximadamente 14,7%. O Pol da cana máximo verificada na dose de zinco de 6,94 kg ha⁻¹, foi 1,9% maior do que o Pol da cana observado na dose de zinco de 0 kg ha⁻¹. Franco et al. (2009) de maneira semelhante, observaram que a cana-de-açúcar sob adubação de zinco, apresenta aumento significativo no POL da cana.

O açúcar total recuperável (ATR) da cana-de-açúcar em função das doses de nitrogênio, em cana-planta se adequou ao modelo linear, com R² de 98% (Figura 7A); conforme a equação de regressão, obteve-se um acréscimo de 1,7% no ATR, para cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Comparando as doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha⁻¹, observa-se diferença no ATR em relação a essas doses de nitrogênio de 5,2%. Sanchez-Roman et al. (2015) avaliando a cana-de-açúcar fertirrigada com nitrogênio verificaram que a adubação nitrogenada proporcionou efeito significativo sobre o ATR, com aumentos correspondentes a 4,32% em cana-planta e a 1,04% em cana-soca.



** significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 7. Açúcar total recuperável (ATR) de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.

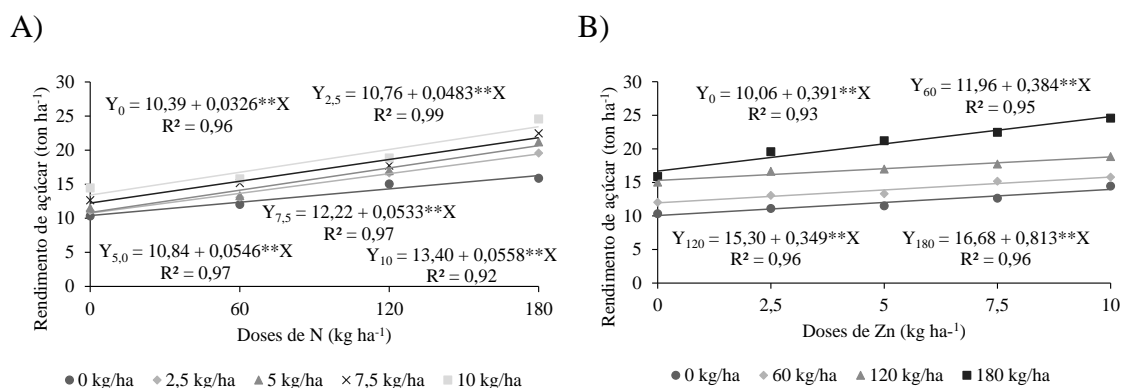
O ATR da cana-de-açúcar, desta forma, indicou acréscimo de $0,04 \text{ kg t}^{-1}$ para cada incremento de 1 kg ha^{-1} de nitrogênio, alcançando na dose de nitrogênio de 180 kg ha^{-1} um ATR de aproximadamente 141 kg t^{-1} (Figura 7A). Civiero et al. (2014) observaram ATR médio de 144 kg t^{-1} , da cana-de-açúcar (variedade RB92579) adubada com diferentes níveis de nitrogênio.

Oliveira et al. (2012) verificaram que a qualidade da matéria-prima pode ser melhorada com a irrigação, também observaram que o maior nível de adubação nitrogenada propiciou o melhor desenvolvimento da cultura, além disso encontraram valores elevados de ATR e rendimento de álcool.

O ATR da cana-de-açúcar em função das doses de zinco, em cana-planta se adequou ao modelo linear, com R^2 de 95% (Figura 7B); conforme a equação de regressão obteve-se acréscimo de 0,75% no ATR, para cada aumento de $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de zinco. Comparando as doses de zinco de 0 e 10 kg ha^{-1} , observa-se diferença na ATR em relação a essas doses de zinco de aproximadamente 3%. O ATR da cana-de-açúcar, conseqüentemente indicou acréscimo de $0,42 \text{ kg t}^{-1}$ para cada incremento de 1 kg ha^{-1} de zinco. Os valores de ATR encontrados no presente estudo foram próximos aos observados por Gouveia Neto (2012), em que o ATR médio da cana-de-açúcar sob aplicação de nitrogênio, em cana-planta foi de $140,14 \text{ kg t}^{-1}$.

O zinco aplicado no sulco de plantio de cana-de-açúcar indica resposta significativa para a produção na dose de 10 kg ha^{-1} de Zn, além disso tem-se encontrado incrementos no perfilhamento, na qualidade tecnológica e na produtividade de açúcar (CAMBRIA et al. 1989; BECARI, 2010).

O rendimento de açúcar da cana-de-açúcar em função das doses de nitrogênio, em cana-planta se adequou ao modelo linear, com R^2 acima de 92% (Figura 8A); obtendo-se desta maneira acréscimo de 12,0; 14,9; 15,8; 14,7 e 14,3% no rendimento de açúcar, para cada aumento de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha^{-1} , respectivamente. O máximo rendimento de açúcar ($>23 \text{ ton ha}^{-1}$) foi verificado na cana-de-açúcar fertirrigada com 10 kg ha^{-1} de Zn e 180 kg ha^{-1} de N. Gouveia Neto (2012) avaliando o rendimento de açúcar da cana-de-açúcar (cana-planta) irrigada e com adubação nitrogenada de 130 kg ha^{-1} de N, observou rendimento médio de açúcar de $17,79 \text{ ton ha}^{-1}$. A cana-de-açúcar apresentou diferença de 36,1; 44,7; 47,6; 43,9 e 42,8%, no rendimento de açúcar em relação as doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha^{-1} , nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha^{-1} , respectivamente.



** significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 8. Rendimento de açúcar de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e doses de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.

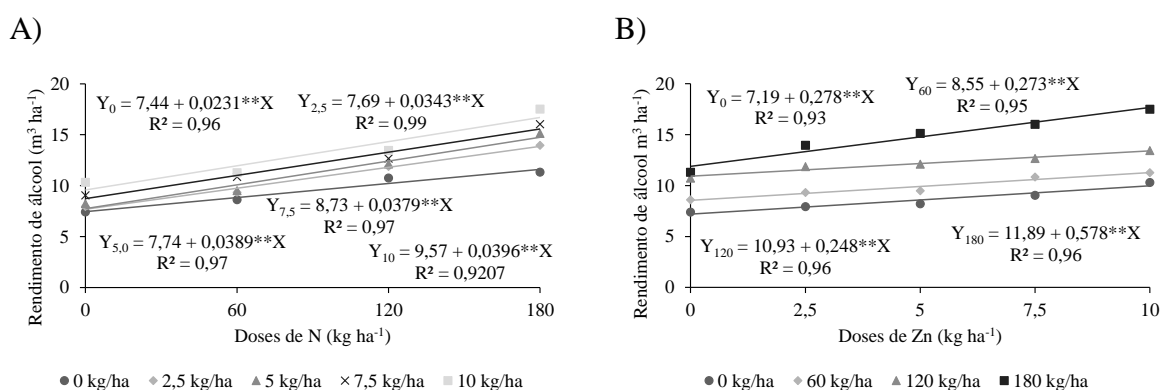
O rendimento de açúcar da cana-de-açúcar fertirrigada com 10 kg ha⁻¹ de zinco, indicou acréscimo de 0,06 ton ha⁻¹, para cada incremento de 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 8A). A cana-de-açúcar fertirrigada com doses elevadas de N, geralmente apresenta incrementos expressivos na produtividade de açúcar (>22 ton ha⁻¹), observa-se com isto aumento considerável pela fertirrigação, uma vez que quando se aplica os nutrientes via água de irrigação, a cana-de-açúcar tende a apresentar melhor crescimento e desenvolvimento, fazendo com que os valores finais de produção de álcool e de açúcar normalmente sejam superiores (ANDRADE JÚNIOR et al., 2012; SILVA et al., 2014b).

O rendimento de açúcar da cana-de-açúcar em função das doses de zinco, em cana-planta (R^2 acima de 93%) são apresentados na Figura 8B; conforme a equação de regressão, obteve-se acréscimo de 7,0; 6,1; 4,6 e 8,2% no rendimento de açúcar, para cada aumento de 2,5 kg ha⁻¹ de zinco, nas doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente. O rendimento de açúcar da cana-de-açúcar, indicou acréscimo de 0,39; 0,38; 0,35 e 0,81 ton ha⁻¹ para cada incremento de 1 kg ha⁻¹ de zinco, nas doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente. As doses de zinco de 0 e 10 kg ha⁻¹, quando comparadas demonstram diferenças de 28,0; 24,3; 18,6 e 32,8%, no rendimento de açúcar de cana-de-açúcar nas doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente.

A deficiência de Zn geralmente caracteriza-se pela redução do número e comprimento de entrenós, e dificulta o crescimento e culmina com a paralisação do desenvolvimento e excesso de folhas secas, afetando deste modo a qualidade da matéria-

prima e o rendimento de açúcar e de álcool, além disso tornando um dos fatores limitantes à produção (SULTANUM, 1972; ALLOWAY, 2004; SILVA et al., 2014b).

O rendimento de álcool da cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000) em função das doses de nitrogênio, em cana-planta se adequou ao modelo linear, com R^2 acima de 92% (Figura 9A); tanto na cana-de-açúcar irrigada e quanto sob fertirrigação com N, a dose de adubação geralmente influencia significativamente, segundo comportamento linear positivo, a produtividade, rendimento de açúcar e de álcool (MOURA et al., 2005; SILVA et al., 2017).



** significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 9. Rendimento de álcool de cana-de-açúcar (cana-planta) em função das doses de nitrogênio (A) e doses de zinco (B), Jataí-GO, safra 2014/15.

O rendimento de álcool da cana-de-açúcar conforme a equação de regressão apresentou acréscimos de 11,9; 14,8; 15,8; 14,6 e 14,2%, para cada aumento de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente. Comparando as doses de nitrogênio de 0 e 180 kg ha⁻¹, observa-se diferença no rendimento de álcool em relação a essas doses de nitrogênio de 35,86; 44,53; 47,49; 43,86 e 42,67%, nas doses de zinco de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10 kg ha⁻¹, respectivamente. O rendimento de álcool da cana-de-açúcar fertirrigada com 10 kg ha⁻¹ de zinco, mostrou acréscimo de 0,04 m³ ha⁻¹ para cada incremento de 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 9A).

A altura e o diâmetro de colmos são componentes importantes para a formação do potencial agrícola do canavial, conseqüentemente a aplicação de nutrientes como N e Zn tem proporcionado incrementos nestas variáveis levando a aumentos significativos na produtividade e no rendimento de açúcar e álcool (LANDELL; SILVA, 2004; CUNHA et al., 2016a).

O máximo rendimento de álcool (>15 m³ ha⁻¹) foi verificado na cana-de-açúcar fertirrigada com 10 kg ha⁻¹ de Zn e 180 kg ha⁻¹ de N; tem sido observado rendimentos de álcool acima de 12 m³ ha⁻¹ na cana-de-açúcar irrigada e adubada com doses de nitrogênio acima 100 kg ha⁻¹ (ANDRADE JÚNIOR et al., 2012; CUNHA et al., 2016b).

O rendimento de álcool da cana-de-açúcar em função das doses de zinco, em cana-planta se adequou ao modelo linear, com R² acima de 93% (Figura 9B); indicando incrementos no rendimento de álcool de cana-de-açúcar de 6,96; 6,0; 4,6 e 8,17% para cada aumento de 2,5 kg ha⁻¹ de zinco, nas doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente. Chandiposha et al. (2014) verificaram maior altura de planta, diâmetro de colmos, produtividade, rendimento de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar graças à disponibilidade adicional de nitrogênio e zinco.

O rendimento de álcool da cana-de-açúcar, indicou acréscimo 0,28; 0,27; 0,25 e 0,58 m³ ha⁻¹ para cada incremento de 1 kg ha⁻¹ de zinco, nas doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente. Comparando as doses de zinco de 0 e 10 kg ha⁻¹, observa-se diferença no rendimento de álcool em relação a essas doses de zinco de 27,8; 24,2; 18,5 e 32,7%, nas doses de nitrogênio de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 9B). O aumento da dose de nitrogênio e zinco proporciona aumento do acúmulo matéria seca de colmo, matéria seca total de parte aérea, aumento no número e comprimento de entrenós, beneficiando o crescimento e refletindo em maior rendimento de açúcar e de álcool (ALLOWAY, 2004; SILVA et al., 2014b; CUNHA et al., 2016a; SILVA, 2017).

5.4 CONCLUSÕES

Os atributos tecnológicos (Brix, PBU, Pureza, Pol do caldo e Pol da cana) da cana-de-açúcar tendem a reduzir com o aumento da dose de nitrogênio.

A aplicação de nitrogênio e zinco via água de irrigação, promove aumento de até 47%, nos rendimentos de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar.

As maiores doses de zinco (10 kg ha⁻¹) e de nitrogênio (180 kg ha⁻¹), tem melhor efeito no PBU, ATR, rendimento de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar.

5.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), à Usina Raízen unidade Jataí e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, pelo apoio financeiro e estrutural para condução deste estudo.

5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, 81:650-662, 1989.

ALLOWAY, B. J. **Zinc in soils and crop nutrition**. International Zinc Association (IZA), Belgic, 116 p. 2004.

ALVES, B. A. **Desempenho agrônômico e produtividade de soqueira de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de água e nitrogênio**. Dissertação (Mestrado). Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, 66p., 2014.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; DUARTE, J. A. L.; BRAGA, D. L.; NOLETO, D. H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.47, n.1, p.76-84, jan. 2012.

BASTOS, A. V. S.; SILVA, M. V.; SILVA, E. C.; TEIXEIRA, M. B.; MURAOKA, T; SOARES, F. A. L.; COELHO, R. D. Agroindustrial yield of sugarcane grown under different levels of water replacement and nitrogen fertilization. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11(29), pp. 2623-2629, 21 July, 2016.

BECARI, G. R. G. **Resposta da cana-planta à aplicação de micronutrientes**. Teses. Instituto agrônômico IAC. Campinas, SP, 79p., 2010.

BET, J. A. **Indutores de maturação e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 112p., 2015.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. Tese, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007, 112 p.

CALDAS, C. **Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras**. Maceió: Sindicato da Indústria e do Alcool do Estado de Alagoas, 1998. 424p.

- CAMBRIA, S. BONI, P.S.; STRABELLI, J. **Estudos preliminares com micronutrientes – zinco**. Boletim Técnico Copersucar, n.46, p. 12-17, 1989.
- CHANDIPOSHA, M.; KUNEDZIMWE, N.; MUNYARADZI, G.; CHIRIMAN'OMBE, D. Comparisons of sugar blend 1 plus fertilizer over straight fertilizer as basal application on growth and yield of sugarcane (*Saccharum officinarum* L). **International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)**. Vol. 4, No. 4, p. 89-93, 2014.
- CHAVES, V. A.; SANTOS, S. G.; SCHULTZ, N.; PEREIRA, W.; SOUSA, J. S.; MONTEIRO, R. C.; REIS, V. M. Desenvolvimento inicial de duas variedades de cana-de-açúcar inoculadas com bactérias diazotróficas. **R. Bras. Ci. Solo**, 39:1595-1602, 2015.
- CIAVATTA, S. F. **Fertirrigação na produção e qualidade de mudas de *Eucalyptus* Spp. Nos períodos de inverno e de verão**. Dissertação - UNESP, Botucatu, 2009. 82p.
- CIVIERO, J. C.; DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A.; WEBER, H.; BESPALHOK FILHO, J. C.; FIGUEIREDO, G. G. O. Stalk and root development of sugarcane treated with nitrogen, filter cake and inoculation of diazotrophs. **Journal of Agronomy**, 13(2): 49-57, 2014.
- CONSECANA. **Manual de instruções**. Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. 5.ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006. 112p.
- CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; SOUSA, A. E. C.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; VIDAL, V. M. Yield of sugarcane submitted to nitrogen fertilization and water depths by subsurface drip irrigation. **Rev. Bras. Eng. Agr. Amb.** (Online), v. 20, p. 841-846, 2016a.
- CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; MORAIS, W. A.; VIDAL, V. M.; CUNHA, E. S.; GOMES, F. H. F.; ARAUJO, A. O. Agronomic performance and industrial yield of sugarcane under water-saving irrigation in cerrado soil. **African Journal of Agricultural Research**. Vol. 11(32), pp. 3056-3064, 11 August, 2016b.
- DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n.3, p. 516-524, 2008.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.
- DIAS NETO, A.F. **Aprimoramento de um mecanismo dosador de rebolos de cana-de-açúcar para o plantio mecanizado**. 2000. Disponível em:

<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000197851&fd=y>. Acesso em 20 fev. 2017, 115 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33. 1994. 306p.

ESPERANCINI, M. S. T; AFONSO, P. F. N; GAVA, G. J. C; VILLAS BOAS, R. L. Dose ótima econômica de nitrogênio em cana-de-açúcar aplicada via fertirrigação por gotejamento. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA, p. 28-39, 2015.

FARIAS, C. H. A. **Otimização do uso da água e do zinco na cana-de-açúcar em tabuleiro costeiro paraibano**. Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2006. 142p.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; DANTAS NETO, J. Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 419- 428, 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FIRME, L. P. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado no sistema solo- planta em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 109p. 2007.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; SARTORI, R. H. **Produtividade e atributos tecnológicos da cana-planta relacionados à aplicação de zinco**. STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 27, n. 5, p. 30-34, 2009.

GÍRIO, L. A. S.; DIAS, F. L. F.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; SCHULTZ, N.; BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.50, n.1, p.33-43, jan. 2015.

GOUVEIA NETO, C. G. **Rendimento agroindustrial da cana-de-açúcar sob suplementação hídrica e parcelamento de nitrogênio**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 145 p. 2012.

KÖPPEN, W. **Köppen climate classification**. Geography about. 2013. Disponível em: <<http://geography.about.com/library/weekly/aa011700b.htm> >. Acessado em: 2 Fev. 2017.

- LANDELL, M. G. A.; SILVA, M. A. **As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil**. Visão Agrícola, Piracicaba, v. 1, p. 18-23, 2004.
- MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. **Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas**. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. e; VITTI, G.C. (Ed.). Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p.189-249.
- MOURA, L. C.; SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; BASTOS, F. J. C.; CÉLIA, J. A.; TEIXEIRA, M. B. Índice de maturação da cana-de-açúcar fertirrigada sobre diferentes lâminas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, p. 64-76, 2014.
- MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. DANTAS NETO, V.; J.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, jul./ago., 2005.
- MUSSI, R. F.; ALVES JUNIO, J.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D.; FLORES, R. A. Produção de cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada com efluente urbano de Goiânia-GO. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.8, n.1, p.46-54, 2017.
- NEVES, M.F.; TROMBIN, V.G. **A dimensão do setor sucroenergético: mapeamento e quantificação da safra 2013/14**. Ribeirão Preto: Markestrat; Fundace; USP, FEA-RP/USP, 2014. 45 p.
- OLIVEIRA, A. P. P.; ALVES, B. J. R.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; ZONTA, E.; PEREIRA, W.; SOARES, P. F. C. Agronomic performance of green cane fertilized with ammonium sulfate in a coastal tableland soil. **Bragantia, Campinas**, v. 76, n. 2, p.246-256, 2017.
- OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J. Avaliação tecnológica de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 59, n.6, p. 832-840, nov/dez, 2012.
- OLIVEIRA, S. L. de; COELHO, E. F.; BORGES, A. L. Irrigação e fertirrigação. **Frutas do Brasil- Banana Produção**, v.1, 2007.
- OLIVEIRA, W. S.; BRITO, M. E. B.; ALVES, R. A. B.; SOUZA, A. S.; SILVA, E. G. Cultivo da cana-de-açúcar sob fertirrigação com vinhaça e adubação mineral. **Revista Verde** (Mossoró – RN), v. 9, n. 1, p. 01-05, jan - mar, 2014.

OTTO, R.; FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n.4, p.398-405, 2009.

PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: Fechamento da safra 2010/2011**. Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2011. 141p.

PEREIRA, L. F. M.; FERREIRA, V. M.; OLIVEIRA, N. G.; SARMENTO, P. L. V. S.; ENDRES, L.; TEODORO, I. Sugars levels of four sugarcane genotypes in different stem portions during the maturation phase. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**. 89(2): 1231-1242, 2017.

PHENE, C.J.; DAVIS, K.R.; HUTMACHER, R.B.; MCCORMICK, R.L. Advantages of subsurface irrigation processing tomatoes. **Acta Horticulture**, n.200, p.101-113, 1987.

QUINTANA, K. A. **Irrigação e fertirrigação por gotejamento para cana-de-açúcar na presença e ausência de boro**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus de Jaboticabal. Jaboticabal - São Paulo - Brasil, 2010.

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

ROCHA, F. J. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes doses de vinhaça**. Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 94 p. 2013.

ROSSETTO, R. **Maturação da cana-de-açúcar**. 2012. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_90_22122006154841.html>. Acesso em: 10 jan. 2017.

SANCHEZ-ROMAN, R. M.; SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; RIBEIRO, P. H. P. Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes reposições hídricas e nitrogênio em dois ciclos. **Irriga**, v. 1, p. 198-210, 2015.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema**

Brasileiro de Classificação de Solo. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. 3.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353p.

SANTOS, L. N. S. **Irrigação da cana-de-açúcar com esgoto tratado por gotejamento subsuperficial.** Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 159p. 2014.

SCHULTZ, N. **Efeito residual da adubação em cana planta e adubação nitrogenada em cana de primeira soca com aplicação de vinhaça.** Dissertação (Mestrado) - Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 59p., 2009.

SCHULTZ, N.; PEREIRA, W.; SILVA, P. A.; BALDANI, J. I.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; REIS, V. M. Yield of sugarcane varieties and their sugar quality grown in different soil types and inoculated with a diazotrophic bacteria consortium. **Plant Production Science**, v.1, p. 1-10, 2017.

SCUDELETTI, D.; LONGATTO, M. H. Efeito de diferentes adubações com npk em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, n. 27, pg.9, 2015.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; CABRAL FILHO, F. R.; TEIXEIRA, M. B.; SILVA, E. C. Fertirrigação em cana-de-açúcar. **Cultivar Grandes Culturas**, v. 9, p. 46-48, 2017.

SILVA, N. F.; MOURA, L. C.; CUNHA, F. N.; RIBEIRO, P. H.; CARVALHO, J. J.; TEIXEIRA, M. B. Qualidade industrial da cana-de-açúcar fertirrigada sob diferentes lâminas de água no sudoeste goiano. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, p. 280-295, 2014.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação.** (Eds). 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 2004. 416 p.

SOUZA, J. K. C.; MESQUITA, F. O.; DANTAS NETO, J.; SILVA, M. B. R.; FARIAS, C. H. A.; LIMA, Y. B. **Crescimento da cana-de-açúcar submetido a diferentes lâminas de irrigação e adubação com zinco.** UFCG - Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos – PB, V. 11, n. 1, p. 114-119, abr - jun, 2015.

SULTANUM, E. **Considerações sobre a sintomatologia de micronutrientes em cana-de-açúcar.** Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro v. 83, n.2, p.1-15, 1972.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; GARCIA, C. M. P.; BENETT, C. G. S.; RODRIGUES, M. A. C.; MAESTRELO, P. R.; CELESTRINO, T. S.; GAZOLA, R. N. Qualidade tecnológica e produtividade agroindustrial de cana-de-açúcar submetida a

adubação com zinco. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1603-1614, jul./ago. 2013.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M. **Doses, fontes e modos de aplicação de zinco na cultura da cana-de-açúcar**. 2011. 153 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia, Unesp – Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2011.

TESHOME Z.; FANTAYE A.; HAGOS H. Effect of nitrogen and phosphorus on yield components, yield and sugarcane juice quality parameters of soybean-sugarcane intercropping at tendaho sugar factory. **Biochem Physiol**, 4: 151, 2015.

UNICA. **União da Agroindústria Canavieira de São Paulo**. 2008. Disponível em:<<http://www.portalunica.com.br/portalunica/?Secao=UNICA%20em%20açã&SubSecao=cana-de-açúcar>> Acesso em 10/01/17.

VALE, D. W. **Manejo da palha, adubação nitrogenada potássica e uso de inoculante em soca de cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP,155 p., 2013.

VALE, F. R.do; GUEDES, G. A. de A.; GUILHERME, L. R. G.; FURTINI NETO, A. E. **Manejo da Fertilidade do Solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. p.173-179.

VIANA R.S.; MUTTON M.A.; BARBOSA V.; DURIGAN A.M.P.R. Maturadores químicos na cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) aplicados em final de safra. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 2, pg.1-10; 2007.

6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar é beneficiado pela aplicação de nitrogênio e zinco via fertirrigação, com influência direta na produtividade e nos atributos tecnológicos do colmo. A fertirrigação com nitrogênio e zinco é uma técnica bastante importante para se poder alcançar o máximo potencial produtivo da cana-de-açúcar.

O rendimento de açúcar e de álcool da cana-de-açúcar (variedade IACSP 95-5000) em relação às doses de zinco é potencializado com emprego da fertirrigação de 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio, em que os acréscimos são bastante expressivos (0,81 ton ha⁻¹ e 0,58 m³ ha⁻¹) para cada incremento de 1 kg ha⁻¹ de zinco, já nas demais doses (0, 60, 120 kg ha⁻¹ de N) esses aumentos praticamente não variam (0,37 ton ha⁻¹ e 0,27 m³ ha⁻¹).

A cana-de-açúcar tem o melhor desempenho vegetativo e produtivo, de qualidade tecnológica, bem como, rendimento de açúcar e de álcool quando fertirrigada com 10 kg ha⁻¹ de zinco e 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

A recomendação de zinco em cana-de-açúcar quando irrigada ou sob aplicação de elevadas doses de nitrogênio deve ser de 10 kg ha⁻¹.