

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

**USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NO  
DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CANA-DE-AÇÚCAR  
EM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO**

Autora: Ana Carolina Oliveira Horschutz  
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

**USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NO  
DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CANA-DE-AÇÚCAR  
EM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO**

Autora: Ana Carolina Oliveira Horschutz  
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

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

RIO VERDE - GO  
NOVEMBRO – 2017

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

H517u Horschutz, Ana Carolina Oliveira Horschutz  
USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NO DESEMPENHO  
AGRONÔMICO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM LATOSSOLO VERMELHO DE  
CERRADO / Ana Carolina Oliveira Horschutz  
Horschutz; orientadora Marconi Batista Teixeira  
Teixeira; co-orientadora Frederico Antônio Loureiro  
Soares Soares . -- Rio Verde, 2017.  
72 p.

Tese (Doutorado em Pós Graduação em Ciências  
Agrária) -- Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio  
Verde, 2017.

1. Saccharum ssp., . 2. Ureia, . 3. Nitrato de  
amônia, . 4. Produtividade de colmo.. I. Teixeira,  
Marconi Batista Teixeira, orient. II. Soares ,  
Frederico Antônio Loureiro Soares , 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**

**USO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS NO  
DESEMPENHO AGRONÔMICO DA CANA-DE-AÇÚCAR  
EM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO**

Autora: Ana Carolina Oliveira Horschutz  
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira  
Coorientador: Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares  
Dr. Edson Cabral da Silva

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

APROVADA em 22 de novembro de 2017.

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira  
Avaliador Interno  
IFGoiano-RV

Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares  
Avaliador Interno  
IFGoiano-RV

Prof. Dr. Edson Cabral da Silva  
Avaliador Interno  
IFGoiano-RV

Prof. Dr. Antônio Evami Cavalcante Sousa  
Avaliador Externo  
IFGoiano-Ceres

Prof. Dr. Cícero Teixeira Silva Costa  
Avaliador Externo  
IFMS - Campus Naviraí

Ao meu tio Wilson Antônio Horschutz,  
Aos meus irmãos Antônio Wilson Horschutz e  
Nereu Sebastião Horschutz Filho  
Ao meu esposo Romeu Conceição Gonzaga,  
Ao meu orientador Marconi Batista Teixeira.

**OFEREÇO**

Aos meus pais Nereu Sebastião Horschutz e  
Rita de Cassia Gomes de Oliveira Horschutz (in memoriam).

**DEDICO**

“A cana só dá açúcar depois de passar por grandes apertos”  
(Autor desconhecido)

Alonguei minha história ao máximo, porque terminá-la, colocar um ponto definitivo, é duro demais. A gente vira dor para não virar fim.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pai misericordioso, que, eternamente, é o ápice de tudo. Agradeço por ser essencial em minha caminhada, autor de meu destino, meu guia, socorro na hora da angústia, pela sua presença constante sem que eu precisasse pedir e ser o motivo das vitórias que tive.

Aos meus amáveis e sábios pais, Nereu Sebastiao Horschutz e Rita de Cássia Gomes de Oliveira Horschutz, a quem agradeço todos os dias pela minha existência.

Ao meu tio Wilson Antônio Horschutz, que sempre ofereceu apoio incondicional nas minhas decisões.

Ao meu companheiro Romeu Conceição Gonzaga, que esteve a meu lado, incentivando, apostando nos meus estudos.

Ao meu orientador, Marconi Batista Teixeira, que foi o principal responsável pelas minhas conquistas, conhecimento e realização desta pesquisa. É sem dúvida a pessoa que mais me motivou a crescer, que me inspira e retribui gratuitamente caráter e simpatia no ambiente de trabalho.

Aos doutores Frederico Antônio Loureiro Soares e Edson Cabral, que, além de mentores, foram indispensáveis na condução do trabalho. Não mediram esforços em executar os ensaios, participaram ativamente de todas as etapas do experimento e esbanjaram sabedoria nas dúvidas que surgiam.

Aos meus colegas do Laboratório de Irrigação e Drenagem, que auxiliaram em toda a parte prática da pesquisa, trabalho bastante árduo e demorado, Dr. Cícero Teixeira Silva Costa, Antônio Evami Cavalcante Sousa, Nelmício Furtado da Silva, Luciana, Wilker Alves Moraes, Vitor Marques Vidal, Flávio Henrique Ferreira Gomes, Fernando Nobre Cunha, 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 e Lays Borges dos Santos Cabral.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, a todo o pessoal envolvido (diretoria, coordenação, secretaria etc.). À Vanilda Maria Campos e à Angélica Ferreira Melo, pela paciência e apoio desde a matrícula até 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.

A todos vocês eu agradeço com carinho a contribuição direta e indireta na concretização deste trabalho tão importante em minha vida!

## BIOGRAFIA DA AUTORA

Ana Carolina Oliveira Horschutz, nascida em Rio Verde-Goiás, em 22 de julho, filha de Nereu Sebastião Horschutz e Rita de Cássia Gomes de Oliveira Horschutz.

Formada em dezembro de 2008 no curso Tecnologia em Produção de Grãos, pelo antigo IFET Goiano, atual IFGoiano-campus Rio Verde –GO. Em julho de 2009, ingressou no mestrado no programa de pós-graduação em ciências agrárias, na mesma instituição, orientada pelo Dr. Marconi Batista Teixeira. A conclusão do mestrado ocorreu em julho de 2011, com a dissertação Efeito do espaçamento entre sulcos e irrigação no desenvolvimento inicial do pinhão manso.

Em 2013, foi aprovada no curso superior em Agronomia pelo Instituto Federal Goiano na cidade de Rio Verde-Goiás.

No ano seguinte ingressou, pela mesma faculdade de ensino, no programa de pós-graduação *stricto sensu*, Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia, com linha de pesquisa Tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água.

No ano de 2017, defendeu sua tese de doutorado, parte indispensável para a obtenção do diploma de Doutora em Ciências Agrárias – Agronomia.



## ÍNDICE

	Páginas
ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
1.0 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	13
2.0 OBJETIVOS.....	19
2.1 Geral.....	19
2.2 Específicos.....	19
3.0 CAPÍTULO I.....	20
Fontes e doses de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cana planta no Cerrado	21
RESUMO.....	21
ABSTRACT.....	22
3.1 Introdução.....	23
3.2 Material e Métodos.....	23
3.3 Resultados e Discussão.....	26
3.4 Conclusões .....	34
3.5 Referências .....	35
4. CAPÍTULO II.....	38
Efeito residual de fontes e doses de nitrogênio no desempenho e produtividade da primeira soqueira de cana-de-açúcar	39
RESUMO.....	39
ABSTRACT.....	40
4.1 Introdução.....	41
4.2 Material e Métodos.....	42
4.3 Resultados e Discussão.....	44
4.5 Conclusões.....	59
4.6 Referências .....	59
5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61

## ÍNDICE DE TABELAS

Páginas

### CAPÍTULO I

<b>Tabela 1.</b> Características químicas, físico-hídricas, granulométricas e classificação textural do solo da área experimental, nas camadas de 0–0,10, 0,10-0,20 e 0,20–0,40 m de profundidade.....	25
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), área foliar (AF) e matéria seca do ponteiro (MSP) da cana-de-açúcar (cana-planta) em função de doses e fontes de nitrogênio e de épocas de avaliação, Jataí, GO, safra 2014/15.....	27
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância para a produtividade de colmos (PC) da cana-de-açúcar (cana planta) em função de doses e fontes de nitrogênio Jataí, GO, safra 2014/15.....	34

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1.</b> Características químicas, físico-hídricas, granulométricas e classificação textural do solo da área experimental, nas camadas de 0–0,10, 0,10-0,20 e 0,20–0,40 m de profundidade.....	57
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), área foliar (AF) e matéria seca do ponteiro (MSP), em função de doses e fontes de N aplicadas no ciclo precedente.....	59
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância para a produtividade de colmos (PC) da cana-de-açúcar (cana planta) em função de doses e fontes de nitrogênio Jataí, GO, safra 2015/16.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Páginas

### CAPÍTULO I

<b>Figura 1.</b> Dados climáticos do município de Jataí, no período de janeiro a dezembro de 2015.....	24
<b>Figura 2.</b> Altura da planta e diâmetro do colmo da cana-de-açúcar (CTC-4) (cana planta), 1(A) altura da planta em função das doses de nitrogênio, 1(B) altura de planta dias após o plantio, 1(C) diâmetro de colmo em função das doses de nitrogênio e 1(D) diâmetro de colmo dias após o plantio. Município de Jataí-GO, safra 2014/2015.....	28
<b>Figura 3.</b> Área foliar da cana-de-açúcar (CTC-4) (cana planta), 3(A) e 3(B) interação fontes x dose; 3(C) e 3(D) interação doses x dias após o plantio, município de Jataí-GO, safra 2014/2015.....	30
<b>Figura 4.</b> Massa seca do ponteiro da cana-de-açúcar (CTC-4) (cana planta), 4(A) e 4(B) interação fontes x doses; 4(C) e 4(D) interação fonte x dias após o plantio. Município de Jataí-GO, safra 2014/2015.....	33
<b>Figura 5.</b> Produtividade do colmo da cana-de-açúcar (CTC-4) (cana planta), 5(A) e 5(B) interação fontes x doses. Município de Jataí-GO, safra 2014/2015....	35

### CAPÍTULO II

<b>Figura 1.</b> Dados climáticos do município de Jataí, no período de janeiro a dezembro de 2016.....	56
<b>Figura 2.</b> Altura de plantas da cana-de-açúcar (CTC-4) (cana de primeira soqueira) 2 (A) e 2 (B) interação fontes x doses residual; 2 (C) e 2 (D) interação doses residual x dias após o corte. Município de Jataí – GO, safra 2015/2016.....	61
<b>Figura 3.</b> Diâmetro do colmo da cana-de-açúcar primeira soqueira (CTC-4); 3 (A) doses de nitrogênio residual; 3 (B) e (C) interação fontes x dias após o corte. Município de Jataí – GO, safra 2015/2016.....	51
<b>Figura 4.</b> Massa seca do ponteiro da cana-de-açúcar (var. CTC-4) (primeira soqueira); 4 (A) e 4 (B) interação fontes nitrogênio residual x dias após o corte; 4 (C) e (D) interação doses x dias após o corte. Município de Jataí – GO, safra	

2015/2016.....	65
<b>Figura 5.</b> Área foliar da cana-de-açúcar (CTC – 4), primeiro soqueira 4 (A) 4 (B) e 4 (C) doses residual x dias após o plantio. Município de Jataí – GO, safra 2015/2016.....	67
<b>Figura 6.</b> Produtividade do colmo da cana-de-açúcar (var. CTC – 4), 6(A) e 6 (B) interação fontes x doses de nitrogênio, em função de doses e fontes de N aplicadas no ciclo precedente. Município de Jataí – GO, safra 2015/2016.....	69

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

<b>Símbolo / Sigla</b>	<b>Significado</b>
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
N	Nitrogênio
kg	Quilograma
ha	Hectare
°C	Graus Celsius
CTC	Centro de Tecnologia Canaveira
mg	Miligramma
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrito
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amônio
K	Potássio
P	Fósforo
Ca	Cálcio
S	Enxofre
Mg	Magnésio
t	Toneladas
CO <sub>2</sub>	Gás carbônico
mm	Milímetro
pH	Potencial hidrogeniônico
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de Cálcio
M.O.	Matéria Orgânica
Al	Alumínio
H	Hidrogênio
V%	Saturação por bases
g	Gramas
FN	Fontes de Nitrogênio
DN	Doses de Nitrogênio
DAP	Dias após o plantio
m	Metros
AP	Altura de plantas
DC	Diâmetro do colmo
AF	Área foliar
MSP	Matéria seca do ponteiro

---

PC	Produtividade do colmo
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de fósforo
K <sub>2</sub> O	Óxido de potássio
cmol	Centimol
CV (%)	Coefficiente de variação
®	Marca registrada
GL	Grau de Liberdade
ns	Não significativo
GO	Goiás
mmol	milimol
pKa	Constante de acidez
K <sub>ow</sub>	Coefficiente de Partição-água
CmCa	Centímetro Cálcio
dmcml	Decímetro Centimol

---

## RESUMO

HORSCHUTZ, ANA CAROLINA OLIVEIRA. **Uso de fertilizantes nitrogenados no desempenho agrônômico da cana-de-açúcar em Latossolo vermelho de Cerrado.** 2017. 79p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia) Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio, na forma de nitrato de amônio e ureia, no desenvolvimento e na produtividade de colmos da cana-de-açúcar (cana planta e primeira soqueira), variedade CTC-4, em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado. O experimento foi conduzido em condições de campo nas safras 2014/2015 e 2015/2016, na Fazenda Rio Paraíso II, pertencente à Usina Raízen, município de Jataí, GO, para ambos os ciclos. O delineamento experimental utilizado para as avaliações biométricas (altura de planta, diâmetro do colmo e área foliar) e biomassa (peso da massa seca do ponteiro) foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema de parcelas subdivididas 4 x 2 x 4. Os fatores avaliados nas parcelas foram quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), nas subparcelas, duas fontes de nitrogênio (ureia e nitrato de amônio), e as subsubparcelas foram representadas por quatro épocas de avaliação (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio – DAP/DAC). Para a avaliação de produtividade de colmos e ponteiros, o delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 4 x 2. Os tratamentos foram quatro doses de nitrogênio e duas fontes nitrogenadas. Na primeira soqueira (2015/2016), foi aplicada a dose de 120 kg de N, para ambas as fontes (nitrato de amônio e ureia) em todos os tratamentos, com o intuito de permitir distinguir o efeito residual das distintas doses e fontes de N aplicadas no

ciclo precedente (cana planta) na primeira soqueira de cana-de-açúcar. A aplicação de diferentes doses de nitrogênio influencia no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, promovendo incrementos na produtividade de colmos.

**Palavras-chaves:** *Saccharum* ssp., Ureia, Nitrato de amônia, Produtividade de colmo.



## ABSTRACT

HORSCHUTZ, ANA CAROLINA OLIVEIRA. **Use of nitrogen fertilizers in the agronomic performance of sugarcane in Red Latosol of Cerrado (Brazilian savannah)**. 2017. 79p. Thesis (PhD in Agrarian Sciences - Agronomy) Goiano Federal Institute - Rio Verde Campus – Goiás State (GO), Brazil.

This study aimed to evaluate the effect of different nitrogen doses, under the form of ammonium nitrate and urea, on the sugarcane stalks development and yield (sugarcane plant and first ratoon), CTC-4 cv, in Dystrophic Red Latosol of Cerrado (Brazilian savannah). The experiment was carried out under field conditions in the 2014/2015 and 2015/2016 harvests, at Rio Paraíso II Farm, belonging to the Raizen sugar mill, in the city of Jataí, state of Goiás (GO), Brazil. The experimental design for biometric evaluations (plant height, stalk diameter, and leaf area) and biomass (dry weight of the pointer) was in randomized block with three replicates in a 4x2x4 split-split-plots scheme. The factors evaluated in the plots consisted of four nitrogen doses (0, 60, 120, and 180 kg ha<sup>-1</sup>), two nitrogen sources (urea and ammonium nitrate) in the split-plots, and the split-split-plots were represented by four evaluation periods [(210, 250, 290, and 330 days after planting (DAP)]. For the stalks and pointer yield evaluation, the experimental design was in randomized complete block with three replicates in a 4x2 factorial scheme. The treatments were composed by four nitrogen doses and two nitrogen sources. In the first sugarcane ratoon (2015/2016), 120 kg N dose was applied to both sources (urea and ammonium nitrate) in all treatments to distinguish the residual effect of the different doses and sources of N applied in the previous cycle (sugarcane plant). Nitrogen application under different doses influences the sugarcane growth and development, favoring increases in stalk yield.

**Keywords:** *Saccharum* ssp. Urea. Ammonium nitrate. Stalk yield.

## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

O setor sucroalcooleiro encontra-se em plena expansão no Brasil, abrangendo áreas consideradas marginais, em especial no que se refere à fertilidade natural do solo e à disponibilidade hídrica. A expansão da cana-de-açúcar para novas áreas exige o uso de variedades adaptadas e tecnologias que permitam obter alta produtividade de maneira sustentável.

O Brasil é o maior produtor e exportador de açúcar no mundo e o segundo maior produtor e consumidor de etanol, logo atrás dos Estados Unidos (CONAB, 2016). Essa posição no mercado produtor, exportador e consumidor é devida ao aumento de 5,3% da área cultivada com cana no país, que, para a safra 2016/17, é estimada em 9,1 milhões de hectares, e ao acréscimo da produtividade de 4,4% em relação à safra 2015/16 (CONAB, 2016). De acordo com Kohlhepp (2010), estima-se que, em menos de dez anos, o Brasil terá que dobrar a quantidade de cana-de-açúcar colhida para atender o mercado, impulsionado pela crescente demanda interna por etanol, dependendo do sucesso de sua exportação. Entre os desafios atuais para o aumento de produtividade, está o manejo da fertilidade dos solos.

Embora presente no Estado há bastante tempo, a área cultivada com cana-de-açúcar em Goiás aumentou de forma significativa nos últimos anos, sendo as áreas de expansão provenientes principalmente de pastagens, e a previsão é que, graças ao aumento do consumo de etanol e à necessidade de aumento da produção para atender ao crescimento do mercado interno e suprir as exportações, o processo de incorporação de novas áreas seja mantido.

De acordo com a CONAB (2017), no estado de Goiás, a safra 2016/2017 teve um aumento na área plantada de cana-de-açúcar de cerca de 76,8 mil hectares, 8,7% a mais que na última safra. A produtividade ao longo do ano foi prejudicada pela falta de chuvas, cuja estimativa indica que a média de produtividade de colmo será de aproximadamente  $70.25 \text{ t ha}^{-1}$ , 15% inferior à safra passada.

O nitrogênio (N) é requerido em grandes quantidades para a produção de biomassa, em média 1,4 kg de N por tonelada de colmo produzido (Cantarella et al., 2007). É entre os nutrientes minerais aplicados para a produção de cana-de-açúcar no Brasil o mais caro, e as quantidades de nitrogênio aplicadas geralmente são iguais ou menores do que as exportadas pelos colmos ou perdidas com a queima dos resíduos culturais (Cantarella et al., 2007; Vitti et al., 2011).

De maneira geral, nos diferentes ambientes agrícolas, a produtividade dos canaviais brasileiros tem sido limitada, principalmente, pela disponibilidade de nutrientes nos solos, em especial o N. Os cultivares de cana-de-açúcar atualmente plantados no país mostram-se potencialmente mais produtivos do que os de algumas décadas passadas, apresentando necessidades nutricionais alteradas em relação às avaliações feitas há mais de 30 anos, que são, ainda hoje, a base para a elaboração de recomendações de adubações da cultura.

Para a expansão da cultura canavieira no Brasil, geralmente para solos de baixa fertilidade natural, é de fundamental importância manter um nível adequado de nutrientes no solo para sustentar produções econômicas. Estes fatos apontam para a necessidade de reavaliações das exigências nutricionais da cana-de-açúcar plantada na atualidade, assim como de doses de nutrientes nas adubações de cana planta e de soqueiras da cultura. De acordo com a União da Indústria de Cana-de-Açúcar, o Brasil precisa produzir aproximadamente 1,37 bilhões de toneladas de cana-de-açúcar nos anos 2020/2021 para não ocorrer déficit de abastecimento de etanol no mercado interno e cumprir suas exportações (UNICA 2016).

O maior reservatório de nitrogênio para a biosfera encontra-se na forma de  $\text{N}_2$  gasoso, que constitui cerca de 78% dos gases da atmosfera, e sua escassez na forma disponível para as plantas pode ser explicado pela sua estabilidade (Fernandes et al., 2006). Sua utilização depende da sua conversão para estados mais oxidados, como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), ou reduzido, na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Camargo et al., 1989).

No solo, a maior parte do nitrogênio, cerca de 95%, está na forma orgânica, que não é diretamente aproveitada pelos vegetais, e apenas 5%, aproximadamente, está na forma mineral ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  ou  $\text{NH}_4^+$ ) (Cantarella & Rosseto, 2010).

O nitrogênio é o nutriente com mais interações com o ambiente em decorrência das inúmeras reações que ocorrem no solo através de microrganismos, que podem ser afetados pela temperatura e umidade, além das várias rotas de perdas (Cantarella & Rosseto, 2010).

Trivellin et al. (2013) relatam que no solo o nitrogênio disponível para as plantas é obtido pela mineralização da matéria orgânica, fixação biológica e adição de fertilizantes nitrogenados. Outras fontes nitrogenadas podem ser absorvidas pelas plantas, como a água da chuva e a amônia gasosa, que pode ser absorvida pela folhagem do vegetal.

A forma predominante absorvida pela planta, em condições naturais ou fontes de adubos orgânicos ou minerais adicionais, é a de nitrato, tendo em vista o processo de nitrificação do solo (Malavolta, 2006). O nitrato absorvido pode ser reduzido a amônio para ser incorporado aos esqueletos de carbono da planta. O  $\text{NH}_4^+$  absorvido pelas plantas é assimilado em compostos orgânicos pelo sistema radicular, formando glutamina e, conseqüentemente, os outros aminoácidos, que são transportados via xilema para a parte aérea. Os aminoácidos e as proteínas formam as reservas de nitrogênio nas partes perenes das plantas (Marschner et al., 1995; Fernandes et al., 2006; Bush et al., 2000).

Nas regiões tropicais, em especial, o N é considerado um dos nutrientes que mais limitam o crescimento das plantas (Perin et al., 2004). A aplicação de fertilizantes nitrogenados se torna essencial para assegurar o suprimento adequado de N, permitindo a obtenção de produtividades elevadas dos canaviais (Franco et al., 2011; Thorburn et al., 2011).

O nitrogênio contribui com 1%, em média, da matéria seca da cana-de-açúcar, porém seu papel é tão importante quanto o do carbono, hidrogênio e oxigênio, que constituem, juntos, mais de 90% da fitomassa seca da planta (Gava et al., 2011).

A produtividade está associada ao aumento na produção de colmos, melhor brotação, perfilhamento e aumento do diâmetro do colmo e à longevidade da soqueira (Casagrande, 1991). Portanto, um manejo inadequado dos fertilizantes nitrogenados pode diminuir a produtividade e a longevidade das soqueiras (Rhein, 2013).

O N é um nutriente mineral extraído em grandes quantidades pela cana-de-açúcar, menor apenas que o potássio. A ordem de extração de nutrientes pela cana-de-açúcar é  $K > N > Ca > S > Mg > P$  (Tasso Junior et al., 2007; Franco et al., 2008).

O nitrogênio é importante no período de formação da cultura, ou seja, estado inicial após a germinação, e termina no fechamento do canavial, o que geralmente ocorre em torno 3 a 5 meses após o plantio (Orlando Filho et al., 1994). Após o fechamento do canavial, a cultura entra na fase de crescimento acelerado, e sem uma quantidade mínima de nitrogênio no solo, o desenvolvimento da cana-de-açúcar é afetado.

No solo, o nitrogênio disponível às plantas é suprido pela mineralização do N da palhada remanescente e da matéria orgânica do solo (Trivellin et al., 2013), pela reserva de N do colmo da cana-de-açúcar no plantio, pela fixação biológica de N por microrganismos associados à cultura (Boddey et al., 2003) e pelo N fornecido por diversas fontes minerais (Franco et al., 2011). Para que seja mantida uma produção elevada, é essencial a adição de adubos nitrogenados para complementar a exigência nutricional da cultura e manter o nível adequado de N no solo (Franco et al., 2011; Trivellin et al., 2013).

Para uma produtividade elevada, são necessárias a adição de adubos nitrogenados para a complementação das exigências nutricionais da cultura e a manutenção do estoque de nitrogênio no solo (Franco et al., 2011; Trivellin, 2013). A adubação da cana-de-açúcar basicamente é feita por fontes de fertilizantes nitrogenadas tradicionais (amônia sintética) (Vitti et al., 2011).

De formado granular, cor branca, a ureia comercializada como adubo é um composto nitrogenado sólido, com 46% na forma amídica. Produzida a partir de amônia e gás carbônico, em uma mesma unidade, o processo é menos oneroso em relação aos demais adubos nitrogenados, além de ter maior teor de nitrogênio quando comparado aos demais produtos, devido a esse fato, seu preço é mais atrativo quando calculado por toneladas de nitrogênio (Witte, 2011).

A ureia apresenta uma série de limitações no seu uso quando aplicada sobre a superfície o solo, pela ocorrência de perdas de nitrogênio por volatilização, o que reduz a eficiência do fertilizante (Mariano et al., 2012). A volatilização envolve, no início, a hidrólise da fonte nitrogenada via urease, enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou de restos vegetais. O resultado

dessa hidrólise é a formação de carbonato de amônio ( $\text{N-NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ), que não é estável (Volk, 1959). Parte do  $\text{NH}_3$  formado sofre reação de protonação com os íons  $\text{H}^+$  da solução do solo e com os  $\text{H}^+$  dissociáveis do complexo coloidal, resultando no cátion  $\text{NH}_4^+$ .

O nitrato de amônio, em média, com 34% de nitrogênio, sendo 50% N-nítrico e 50% N-amoniacal, é um produto sólido, branco cristalino, perolado. Com forte ação oxidante, por ser muito higroscópico, necessita do recobrimento de seus grânulos para reduzir o empedramento e o conseqüente esfarelamento. O nitrato de amônio é obtido pela neutralização do ácido nítrico pela amônia, sendo produzido em duas etapas - a primeira consiste na produção de ácido nítrico e a segunda é a neutralização do ácido nítrico com amônia.

As principais características agronômicas do nitrato de amônio são: nitrogênio nítrico prontamente disponível; prolongamento maior da disponibilidade do nitrogênio amoniacal; baixo índice de salinidade; compatível com as matérias-primas das misturas NPK, exceto a ureia. O produto sofre menor perda por volatilização e acidifica menos o solo, quando comparado aos demais fertilizantes nitrogenados, isso ocorre pelo fato de o nitrato de amônio conter um radical nítrico e outro amoniacal (Meesquita 2007). Como  $\text{NH}_4^+$  é menos sujeito a perdas por lixiviação ou por desnitrificação do que o  $\text{NO}_3^-$ , isso pode ter implicações no manejo do nitrogênio.

## 1.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boddey, R.M., Uriaga, S.; Alves, B.J.R.; REIS, V.M. Endophytic nitrogen fixation in sugarcane: present knowledge and future applications. *Plant and Soil*, v.252, p.139-149, 2003.
- Cantarella, H.; Rosseto, R.; Fertilizers for sugarcane In: Cortez, L.B.A(ed.). *Sugarcane bioethanol*. São Paulo: Blucher, p. 45-422, 2010.
- Cantarella, H.; Trivelin, P.C.O.; Vitti, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: *Simpósio sobre nitrogênio e enxofre na agricultura Brasileira, 2007*. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p.355-392.
- Casagrande, A. A. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 157p.
- CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2016: Disponível: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/boletim\\_cana-3o\\_lev\\_-\\_16-17.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/boletim_cana-3o_lev_-_16-17.pdf) > Acesso em : 22 fev. 2017.
- CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, abril/2017: Disponível: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/boletim\\_cana-4o\\_lev\\_-\\_16-17.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/boletim_cana-4o_lev_-_16-17.pdf) > Acesso em : 30 ago. 2017
- Fernandes, M.S. (ED.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2006, cap. 9, p. 215-252.
- Franco, H.C.J.; Otto, R.; Faroni, C.E.; Vitti, A.C.; Oliveira, E. C.A.; Trivelin, P.C.O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. *Field Crops Research*, v.121, n.1, p.29-41, 2011.

- 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.
- Gava, G.J.C.; Silva, M.A.; Silva, R.C.; Jeronimo, E.M.; Cruz, J.C.S.; Kölln, O.T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, n.3, p.250–255, 2011.
- Kohlhepp, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. *Estud. av. São Paulo*, v.24, n.68, 2010.
- Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Livro Ceres, 2006. 638p.
- Mariano, E.; Trivelin, P.C.O.; Vieira, M.X.; Leite, J.M.; Otto, R.; Franco, H.C.J. Ammonia losses estimated by an open collector from urea applied to sugarcane straw. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.411-419, 2012.
- Marschner, H. Mineral nutritional of higher plants. New York: Academic Press, 1995. 889p.
- Orlando Filho, J.; Carmello, Q.A.C.; Pexe, C.A.; Glória, A.M. Adubação de soqueiras de cana-de-açúcar sob dois tipos de despalha: cana crua x cana queimada. *STAB: Açúcar e Álcool e Subprodutos*, v.12, n.4, p.7-11, 1994
- Perin, A.; Santos R.H.S.; Urquiaga. S.; Gerra, J.G.M.; Cecon, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, p. 35-40, 2004.
- Rhein, A.F. de L. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento. 2013. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Área de Concentração em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.
- 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. 38-42, 2007.



Thorburn, P.J.; Biggs, J.S.; Webster, A.J.; Biggs, I.M. An improved way to determine nitrogen fertilizer requirements of sugarcane crops to meet global environmental challenges. *Plant and Soil*, v. 339, p. 51–67, 2011.

Trivelin, P.C.O.; Franco, H.C.J.; Otto, R.; Ferreira, D.A.; Vitti, A.C.; Fortes, C.; Faroni, C.E.; Oliveira, E.C.A.; Cantarella, H. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. *Sciencia Agricola*, v. 70, n. 5, p. 345–352, 2013.

ÚNICA. União da Industria de Cana de açúcar. <http://www.unica.com.br>, acessado em 20/07/2016.

Vitti, A.C.; Franco, H.C.J.; Trivelin, P.C.O.; Ferreira, D.A.; Otto, R.; Fortes, C.; Faroni, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.46, n.3, p.287-293, 2011.

Vitti, A.C.; Trivelin, P.C.O. Adubação nitrogenada melhora vigor das soqueiras de cana-de-açúcar refletindo em produtividade e nos ciclos agrícolas subsequentes. *Pesquisa & Tecnologia*, v. 8, n. 95, p. 1–8, 2011.

Volk, M.G. Volatilization loss of ammonia following surface application of urea to turf of bare soils. *Agronomy Journal*, Madison, v. 51, p. 746- 749, 1959.

Witte, C.P. Urea metabolism in plants. *Plant Science*, Amsterdam, v. 180, p. 431 – 438, 2011.

## **2. OBJETIVOS**

### 2.1 Geral

Avaliar o desempenho agronômico da cana-de-açúcar, em ciclo cana planta e cana primeira soca, submetida a fontes e doses de nitrogênio, em Latossolo Vermelho distroférico de Cerrado.

### 2.2 Específicos

- Avaliar as variáveis biométricas altura de planta, diâmetro de colmos e área foliar e a massa seca do ponteiro da cana-de-açúcar em cana planta e cana de primeira soqueira, em função do emprego de diferentes doses e fontes de nitrogênio;

- Identificar a melhor fonte e dose de nitrogênio (nitrato de amônio e ureia), que propicie a maior produtividade em cana planta;

- Identificar o efeito residual de fontes e doses de nitrogênio em cana-de-açúcar de primeira soca.

### 3. CAPÍTULO I

## **Fontes e doses de nitrogênio no desenvolvimento e produtividade da cana planta no Cerrado**

(Normas de acordo com a revista Pesquisa Agropecuária Tropical – PAT).

**RESUMO** – Nos diferentes ambientes agrícolas, a produtividade dos canaviais brasileiros tem sido limitada, principalmente, pela disponibilidade de nutrientes nos solos, em especial o N. Partindo da hipótese de que a fonte e a disponibilidade de nitrogênio influenciam o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar na região do cerrado, objetivou-se avaliar o desempenho agrônômico da cana-de-açúcar, para definir a melhor fonte e dose de adubação nitrogenada, em ciclo cana planta (variedade CTC-4), em Latossolo Vermelho distroférrico de Cerrado. O experimento foi conduzido em condições de campo, na Fazenda Rio Paraíso II, pertencente à Usina Raízen, município de Jataí, GO. O delineamento experimental utilizado para as avaliações biométricas e biomassa foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema de parcelas subdivididas 4 x 2 x 4. Os tratamentos foram quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), duas fontes de nitrogênio (ureia e nitrato de amônio) e quatro épocas de avaliação (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio - DAP). Para a avaliação da produtividade de colmos, o delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 4 x 2. Os tratamentos foram quatro doses de nitrogênio e duas fontes nitrogenadas. O aumento da dose de adubação nitrogenada proporciona aumento da altura de planta, diâmetro do colmo, área foliar, massa seca do ponteiro e produtividade. Aos 330 dias após o plantio, ocorreu a maior altura de planta, diâmetro do caule, massa seca do ponteiro. A maior área foliar ocorreu aos 250 dias após o plantio.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum*, Ureia, Nitrato de amônia, Produtividade de colmo, Latossolo.

**Nitrogen sources and doses in the development and sugarcane plant yield in  
Cerrado (Brazilian savannah)**

**ABSTRACT** - In different agricultural environments, the yield of Brazilian sugarcane plantations has been limited, mainly by the availability of nutrients in soils, especially nitrogen. Considering that nitrogen source and availability influencing the growth, development, and yield of sugarcane in the Cerrado region, this study aimed to evaluate the sugarcane agronomic performance to define the best source and dose of nitrogen fertilization in sugarcane plant cycle (CTC-4 cv) in a Dystroferic Red Latosol of Cerrado. The experiment was carried out under field conditions at the Rio Paraíso II Farm, belonging to the Raízen sugar mill in the municipality of Jataí, Goiás State (GO), Brazil. The experimental design for the biometric and biomass evaluations was in randomized complete block, with three replicates in a 4x2x4 split-plot parcel scheme. The treatments were composed by four doses of nitrogen (0, 60, 120, and 180 kg ha<sup>-1</sup>), two nitrogen sources (urea and ammonium nitrate), and four evaluation periods [210, 250, 290, and 330 days after planting (DAP)]. For evaluating the stalk yield, the experimental design was in randomized complete block, with three replicates in a 4x2 factorial scheme. The increase of the nitrogen fertilization dose provides the increase of plant height, stalk diameter, leaf area, dry mass of the pointer, and yield. After 330 days of planting, the highest plant height, stalk diameter, dry mass of the pointer occurred. The largest leaf area occurred after 250 days of planting.

**Keywords:** *Saccharum officinarum*. Urea. Ammonium nitrate. Stalk yield. Latosol.

### 3.1 Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Na safra 2016/17, a área colhida com cana-de-açúcar no Brasil foi de, aproximadamente, 9.073,7 mil hectares. Entre os Estados produtores de cana-de-açúcar, Goiás é o segundo maior produtor, com 10,3% (Conab, 2016).

Além de produzir etanol e açúcar, a cana-de-açúcar pode ser fonte de biomassa para a cogeração de energia elétrica em complemento à eletricidade produzida convencionalmente (Novacana, 2015). Do colmo da cana-de-açúcar, é extraída a sacarose, que pode ser utilizada como adoçante, matéria-prima para sínteses bioquímicas, para fermentação de bebidas alcoólicas ou de biocombustíveis (Amorim et al., 2011).

Entre os fatores ambientais que mais influenciam na conversão de energia em açúcar na cana podem-se citar: a energia solar (intensidade, duração e qualidade); a concentração de CO<sub>2</sub>; a temperatura; e a disponibilidade de água e de nutrientes entre os quais o nitrogênio (N), que tem grande importância por ser constituinte de proteínas e da molécula de clorofila, entre outras biomoléculas (Gava et al., 2010).

De maneira geral, nos diferentes ambientes agrícolas, a produtividade dos canaviais brasileiros tem sido limitada, principalmente, pela disponibilidade de nutrientes nos solos, em especial o N.

Os cultivares de cana-de-açúcar atualmente plantados no país mostram-se potencialmente mais produtivos do que os de algumas décadas passadas, apresentando necessidades nutricionais alteradas em relação às avaliações feitas há mais de 30 anos e que constituem, ainda hoje, a base para a elaboração de recomendações de adubações da cultura.

Goiás vem ao longo dos anos aumentando sua importância no cenário nacional da cultura da cana-de-açúcar. Entre os fatores que favoreceram o incremento dos números em Goiás, estão o grande volume de áreas com potencial para o cultivo da cultura e o clima tropical mais adequado para a produção da cana-de-açúcar, necessitando de duas estações distintas, a estação quente e úmida, que favorece a germinação, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo, e a outra estação, a fria e seca, que favorece a maturação e elevação da sacarose na planta.

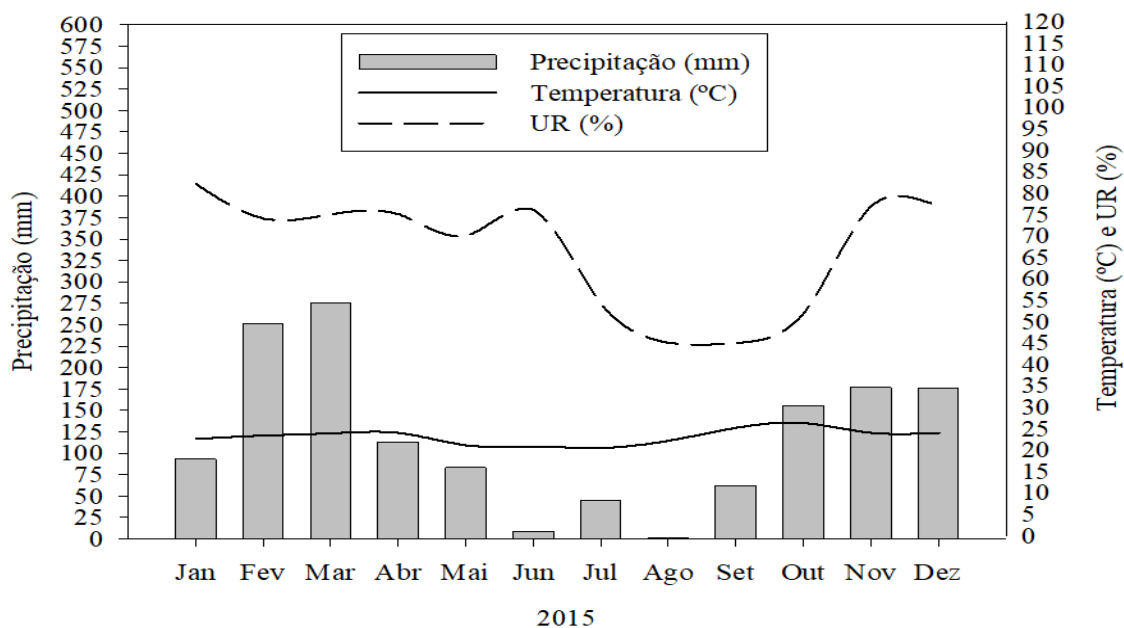
Partindo da hipótese de que a aplicação de diferentes fontes e doses de nitrogênio influencia no crescimento, desenvolvimento e na produtividade da cana-de-

açúcar, e a época de crescimento e de desenvolvimento da cana-de-açúcar é afetada pela fonte e dose de nitrogênio na região do cerrado, objetivou-se avaliar o desempenho agrônômico da cana-de-açúcar, para definir a melhor fonte e dose de adubação nitrogenada, em ciclo canaplanta, em Latossolo Vermelho distroférico de Cerrado.

### 3.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em condições de campo, em área da Fazenda Rio Paraíso II, pertencente à Usina Raízen, município de Jataí, GO. As coordenadas geográficas do local são 17°43'15.23"S e 51°38'12.62"W, e 912 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen (1982), 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 precipitação anual é de aproximadamente 1.800 mm, porém mal distribuída ao longo do ano.

Os dados de precipitação pluvial e de temperaturas médias ocorridos durante o período do experimento foram obtidos numa estação meteorológica pertencente ao INMET, instalada no município de Jataí – GO (Figura 1) As médias das temperaturas máximas e mínimas foram, respectivamente, de 34,5 °C em outubro e de 13,01 °C em agosto e a precipitação pluvial no período totalizou 1.942 mm, sendo que a precipitação máxima ocorreu no mês de março, com 275,2 mm, e a menor em agosto, com 1,5 mm.



Fonte: Estação Normal INMET – Jataí - GO.

**Figura 1.** Dados climáticos do município de Jataí, no período de janeiro a dezembro de 2015.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, muito argiloso (Santos et al., 2013) (Tabela 1). As amostras de solo foram analisadas conforme Raej et al. (2001).

**Tabela 1.** Características químicas, físico-hídricas, granulométricas e classificação textural do solo da área experimental, nas camadas de 0–0,10, 0,10-0,20 e 0,20–0,40 m de profundidade.

Camada (m)	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC
						----- (mmol dm <sup>-3</sup> ) -----			
0–0,10	6,6	75	1,1	37	18	<1	18	56,1	74,1
0,10-0,20	6,3	167	0,8	29	14	<1	20	43,5	63,80,
0,20-0,40	6,0	86	0,9	23	13	<1	20	36,9	56,9
Camada (m)	V (%)	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
						----- (mmol dm <sup>-3</sup> ) -----			
0-0,10	76	16	10	0,18	1,7	68	3,4	1,4	
0,10-0,20	69	13	7	0,15	1,4	59	2,8	1,2	
0,20-0,40	65	11	8	<0,2	1,3	52	2,2	1,0	
Camada (m)	Granulometria (g kg <sup>-1</sup> )			CC	PMP	Classificação textural			
	Areia	Silte	Argila	----- % -----					
0–0,10	96	82	822						Muito argiloso
0,10–0,20	97	82	822	46,3	22,6				Muito argiloso
0,20-0,40	85	71	845	45,8	22,6				Muito argiloso

O delineamento experimental utilizado para as avaliações biométricas e avaliação de biomassa foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 4 x 2 x 4. Os tratamentos foram quatro doses de nitrogênio (DN) (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), duas fontes de nitrogênio (FN) (ureia e nitrato de amônio) e quatro épocas de avaliação (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio – DAP).

Para a avaliação de produtividade de colmo, o delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 4 x 2. Os tratamentos foram quatro DN (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e duas FN (ureia e nitrato de amônio).

As parcelas foram constituídas por seis linhas de cana-de-açúcar, com 5 m de comprimento, espaçadas de 1,50 m entre si. A área útil da parcela foi representada por



nove metros lineares nas três linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 1,0 m em cada extremidade.

O preparo do solo foi feito pelo sistema convencional, aração e gradagem, seguidas pelas aberturas dos sulcos de plantio. O plantio mecanizado ocorreu em 20/09/2014 e foi feito conforme metodologia utilizada pela usina Raízen, distribuindo entre 12 a 15 gemas por metro linear, conforme recomendações para a variedade CTC-4.

A adubação foi feita no sulco de plantio com a aplicação de  $P_2O_5$ , na forma de superfosfato triplo, e de  $K_2O$ , na forma de cloreto de potássio, conforme a análise de solo e as recomendações de Souza e Lobato (2004), considerando uma expectativa de  $120 \text{ t ha}^{-1}$  de colmos.

O nitrogênio (N) foi aplicado de acordo com os tratamentos, aos 60 DAP. Os tratamentos culturais relacionados ao uso de agroquímicos foram feitos conforme a necessidade e a avaliação de infestação, de acordo com a metodologia da Usina Raízen.

Para avaliação das variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), área foliar (AF) e peso da matéria seca do ponteiro (MSP), foram utilizadas duas plantas nas linhas centrais de cada parcela.

A AP foi medida com o auxílio de uma fita métrica, a partir do solo até o colarinho da folha +1 (folha +1 é aquela em que pode ser visualizado completamente o colarinho), e expressa em metros. O DC foi determinado com o auxílio de um paquímetro digital na base da planta e expresso em milímetros. A AF foi determinada pela contagem do número de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1) e pelas medições nas folhas +3, sendo obtidos o comprimento e a largura da folha na porção mediana, de acordo com Hermann e Câmara (1999).

A MSP corresponde ao pseudocolmo, também conhecido por 'palmito', que corresponde à parte do colmo acima do ponto de quebra, onde se inicia a parte ainda em maturação, conhecida como 'cartucho', correspondendo às folhas em expansão, existentes acima do pseudocolmo. A soma destes dois componentes da parte aérea é chamada de 'ponteiro', que foi submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , até massa constante.

A colheita foi feita em 20/10/2015, e a produtividade de colmo (PC) foi determinada pela pesagem total dos colmos presentes em 2 m lineares nas duas linhas

centrais das parcelas. Os colmos foram cortados e despalhados e tiveram o ponteiro destacado. Em seguida, foram pesados em balança digital tipo gancho, com capacidade de 50 kg, e os valores, transformados em toneladas de colmos por hectare.

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ), e em casos de significância, foi feito o teste de média Tukey ( $p < 0,05$ ) para o fator fonte de nitrogênio e análise de regressão para os níveis de adubação nitrogenada e épocas de avaliação, utilizando o software estatístico SISVAR<sup>®</sup> (Ferreira, 2011).

### 3.3 Resultados e Discussão

A análise de variância mostra que as variáveis altura de planta (AP) e diâmetro do colmo (DC) foram significativas para o fator DN e fator DAP isoladamente. A variável área foliar (AF) foi significativa para as interações FN x DN e DN x DAP e a variável massa seca do ponteiro (MSP) foi significativa para a interação FN x DN e FN x DAP (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), área foliar (AF) e matéria seca do ponteiro (MSP), da cana-de-açúcar (cana planta) em função de doses e fontes de nitrogênio e de épocas de avaliação. Município de Jataí, GO, safra 2014/15.

FV	QM				
	GL	AP	DC	AF	MSP
FN	1	0,004 <sup>ns</sup>	4,646 <sup>ns</sup>	88685,923 <sup>ns</sup>	468,696 <sup>**</sup>
DN	3	0,557 <sup>**</sup>	90,105 <sup>**</sup>	43227500,713 <sup>**</sup>	2607,468 <sup>**</sup>
DAP	3	1,034 <sup>*</sup>	153,174 <sup>**</sup>	452324568,995 <sup>**</sup>	4635,707 <sup>**</sup>
FN x DN	3	0,016 <sup>ns</sup>	0,381 <sup>ns</sup>	452324568,995 <sup>**</sup>	188,563 <sup>**</sup>
FN x DAP	3	0,004 <sup>ns</sup>	1,720 <sup>ns</sup>	219845,043 <sup>ns</sup>	225,090 <sup>**</sup>
DN x DAP	9	0,013 <sup>ns</sup>	1,127 <sup>ns</sup>	2237505,806 <sup>**</sup>	50,314 <sup>ns</sup>
FN x DN x DAP	9	0,003 <sup>ns</sup>	0,400 <sup>ns</sup>	892078,679 <sup>ns</sup>	87,218 <sup>ns</sup>
Bloco	2	0,286	6,571	2959564,231	389,624
Resíduo	62	0,018	1,279	397146,384	54,559
CV (%)		7,05	3,68	8,80	12,249

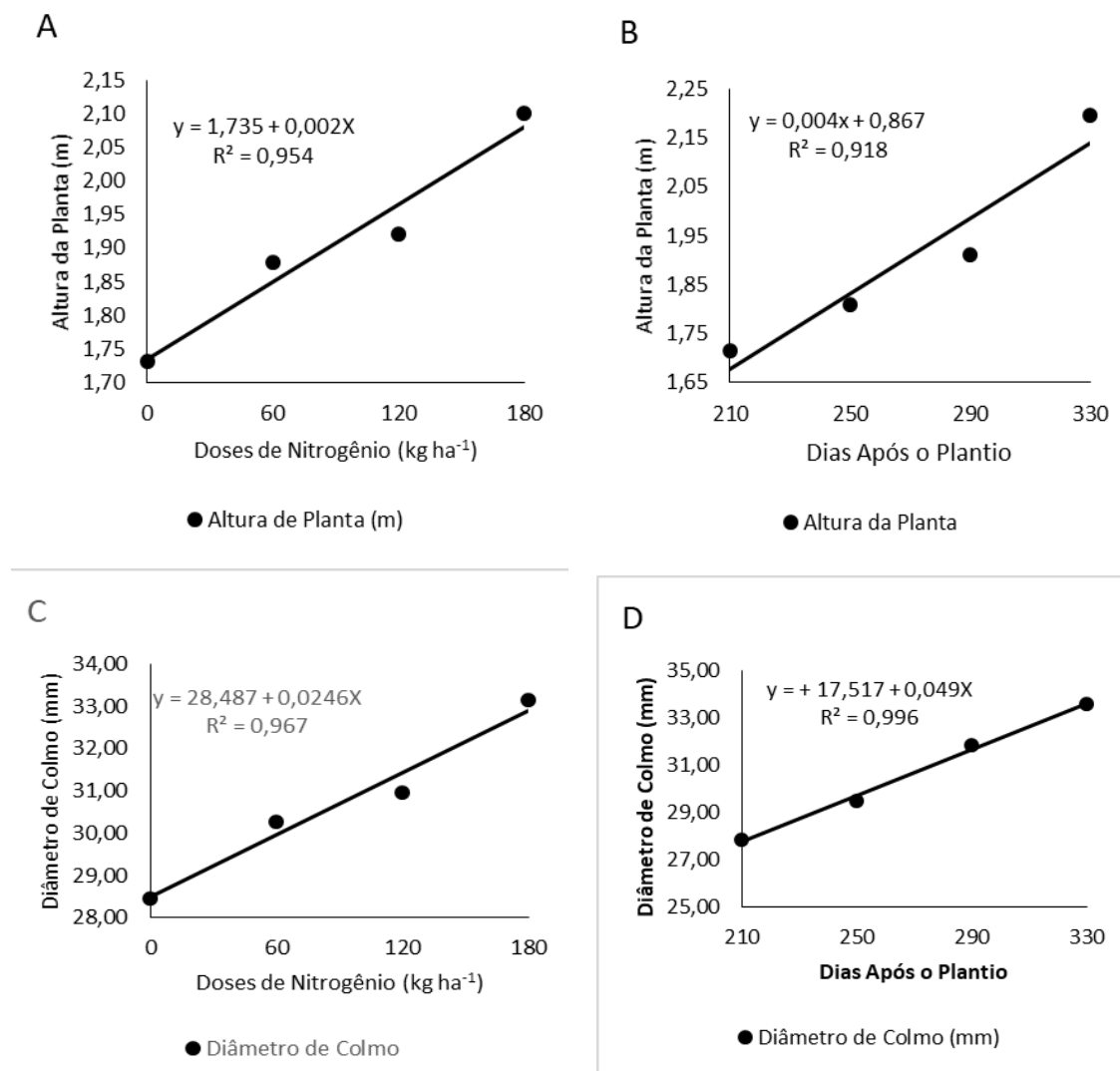
<sup>1</sup> Fontes de Nitrogênio (FN) e Doses (DN); Dias após o plantio (DAP). Fonte de variação (FV), Grau de liberdade (GL), Quadrado médio (QM) e Coeficiente de variação (CV). \*\* e \* significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Efeitos da aplicação de nitrogênio em relação às épocas de avaliação no crescimento de cana-de-açúcar têm sido observados por vários autores (Alves, 2014; Oliveira et al., 2014b; Souza et al., 2015).

A Figura 2A mostra que as maiores doses de N proporcionaram as maiores AP. Nos tratamentos sem aplicação de N, a estimativa de AP foi de 1,73 m, enquanto com a aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N a estimativa foi de 1,85 m. Já com as maiores doses

de N (120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), as AP estimadas foram de 1,96 e 2,08 m, respectivamente, o que representa um acréscimo na AP de 16,82 % em relação à testemunha.

A AP em função DAP encontra-se na Figura 2B. As estimativas para AP foram de 1,71; 1,81; 1,91 e de 2,19 m, respectivamente, aos 210, 250, 290 e 330 DAP. Pode-se observar um acréscimo de 21,91% da dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> em relação à dose 0.



**Figura 2.** Altura da planta e diâmetro do colmo da cana-de-açúcar (CTC-4) (cana planta), 1(A) altura da planta em função das doses de nitrogênio, 1(B) altura de planta dias após o plantio, 1(C) diâmetro de colmo em função das doses de nitrogênio e 1(D) diâmetro de colmo dias após o plantio. Município de Jataí-GO, safra 2014/2015.

Altura de planta de 2,05 m e diâmetro de colmo de 27,6 mm de cana-de-açúcar adubada com 92 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio foram observados por Sime (2013). A adubação com nitrogênio, 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).

Para a variável DC, a aplicação de N proporcionou acréscimo de 13,55%, da menor para a maior DN. Para o tratamento sem aplicação de N, a estimativa DC foi de 28,02 mm, enquanto com a aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, a estimativa foi de 29,67 mm. Já com as maiores doses de N (120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), os DCs estimados foram de 31,35 e 33,00 mm, respectivamente (Figura 2C).

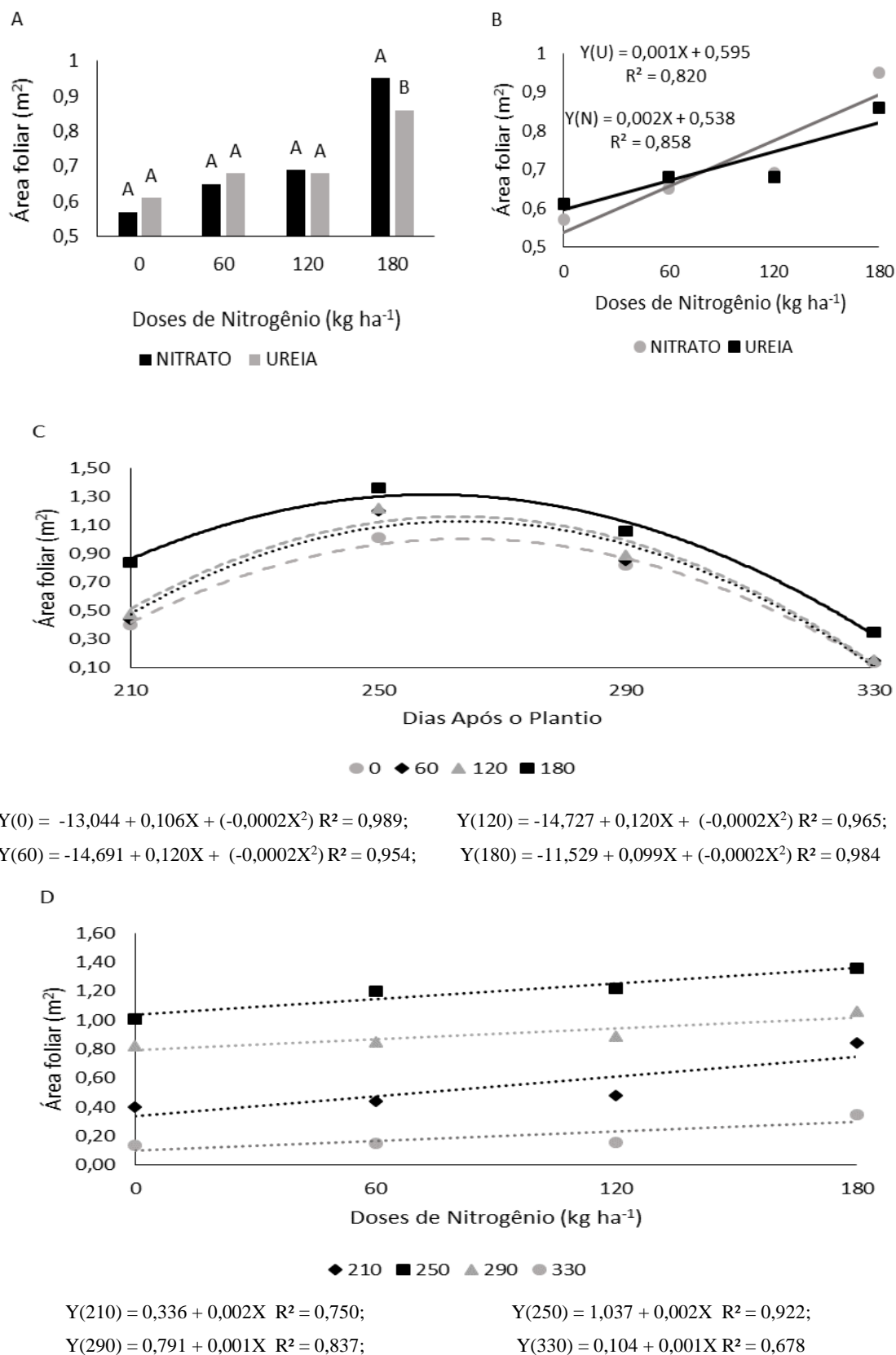
O DC em função DAP é apresentado na Figura 2D. As estimativas para DC foram de 27,77; 29,72; 31,67 e de 33,62 m, respectivamente, aos 210, 250, 290 e 330 DAP.

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

Soomro et al. (2014) observaram que doses mais elevadas de nitrogênio têm maior efeito sobre a altura de planta (>244,1 cm) e diâmetro de colmo (>25 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).

Maule et al. (2001) relataram que o diâmetro do colmo seria mais uma característica genética inerente às variedades, que pode ser influenciado pelo ambiente de produção.

O desdobramento da FN x DN da variável AF encontra-se nas Figuras 3A e 3B. As médias para as doses da FN-ureia foram de 0,61, 0,66, 0,71 e de 0,85 m<sup>2</sup>, para a FN-nitrato, elas foram de 0,58; 0,65; 0,67 e de 0,93 m<sup>2</sup>, com as DN 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de nitrato de amônio proporcionou a maior média de AF quando comparada aos demais tratamentos, significando um acréscimo de 8,60% da AF quando comparado com a mesma dose de ureia (Figura 3A.)



**Figura 3.** Área foliar da cana-de-açúcar (CTC-4) (cana planta), 3(A) e 3(B) interação fontes x doses; 3(C) e 3(D) interação dose x dias após o plantio. Município de Jataí-GO, safra 2014/2015.

O desdobramento DN x DAP está representado nas Figuras 3C e 3D. Aos 250 DAP, a maior AF foi atingida com a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup>, com média estimada de 1,32 m<sup>2</sup>. Para esse mesmo período, as médias foram de 0,97; 1,07 e de 1,09 para as doses de 0, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As menores estimativas foram observadas aos 330 DAP, com médias de 0,11; 0,14; 0,24 e de 0,27 m<sup>2</sup>, com a aplicação de 0, 60, 120 e 180 kg de N ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 3C).

Resultados encontrados por Silva et al. (2014) mostram maior aumento da AF entre os 240 e 300 DAP e crescimento exponencial em função dos DAP para a cana-de-açúcar irrigada.

Par as doses de 0, 60, 120 e 180 kg N ha<sup>-1</sup> aos 210 DAP, as AFs foram de 0,42; 0,48; 0,84 e de 1,16 m<sup>2</sup>, respectivamente. No período de 290 DAP, as AFs foram de 0,88, 0,94; 1,05 e de 1,13 m<sup>2</sup>, respectivamente (Figura 3D).

Para Oliveira et al. (2007), o estudo da área foliar em cultivares na cana-de-açúcar permite correlacioná-la com o seu potencial produtivo, seja em massa seca, quantidade de açúcar ou taxas de crescimento. O desenvolvimento da área foliar é crítico para o estabelecimento da cultura, fechamento do dossel e maximização da interceptação da radiação em busca de maior produtividade da cultura (Sinclair et al., 2004). Estudos mostraram que a área foliar da cana-de-açúcar aumenta no período de grande crescimento da cultura (Teixeira et al., 2012).

Para todas as doses de N, aos 250 DAP, foram observados os maiores valores estimados de AF, e independentemente das DN, as menores estimativas de AF foram observadas aos 330 DAP (Figura 3D).

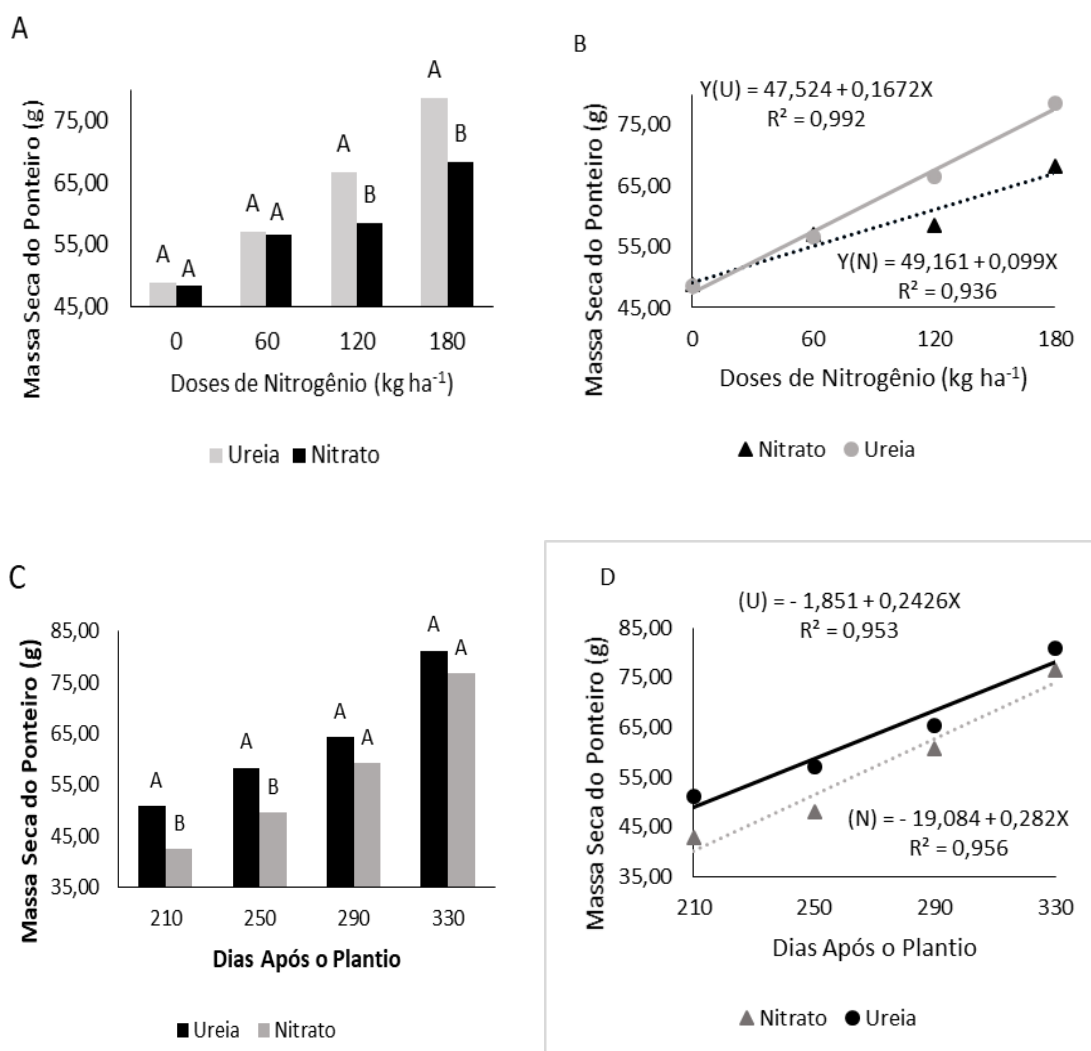
A manutenção da AF por um longo período de tempo é uma capacidade que compõe um importante indicativo de materiais mais produtivos e significa que o aparato fotossintético tem um melhor desempenho (Hermann e Câmara, 1999).

O crescimento da AF pode ser influenciado por características intrínsecas de cada variedade, como largura, comprimento das folhas e senescência foliar, assim, cada variedade apresenta comportamento diferente ao longo do ciclo vegetativo (Oliveira et al., 2007).

Para a variável MSP, o desdobramento FN x DN encontra-se nas Figuras 4A e 4B. As médias para as doses de ureia foram de 48,76; 57,11; 66,55 e de 78,62 g, para o nitrato, elas foram de 48,48; 56,64; 58,49 e 68,26, g, com DN de 0, 60, 120 e 180 kg

ha<sup>-1</sup> respectivamente, tendo as DN's de 120 e de 180 kg ha<sup>-1</sup> de ureia sido superiores estatisticamente, quando comparadas às doses de nitrato (Figura 4A).

Otto et al. (2009), avaliando a fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio, constataram que as parcelas que não receberam o fertilizante nitrogenado resultaram em maior gasto energético para o crescimento das raízes, fato que criou competição por fotoassimilados para o crescimento da parte aérea e também pode explicar os menores valores para MST nos tratamentos sem aplicação de N-fertilizante no presente estudo.



**Figura 4.** Massa seca do ponteiro da cana-de-açúcar (CTC-4) (cana planta), 4(A) e 4(B) interação fontes x doses; 4(C) e 4(D) interação fonte x dias após o plantio. Município de Jataí—GO, safra 2014/2015.

A dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de ureia apresentou a maior média da MSP quando comparada aos demais tratamentos, significando acréscimo de 13,17% da MSP quando comparado à mesma dose de nitrato (Figura 4A).

O maior incremento da MSP ocorreu com a aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup>, independentemente da fonte. A aplicação 120 kg ha<sup>-1</sup> de ureia proporcionou uma MSP estimada de 66,61 g, valor 15,24% menor quando comparado à dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de ureia. A aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de nitrato de amônio proporcionou aumento MSP de 9,94% quando comparado à dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 4B).

O desdobramento FN x DAP encontra-se nas Figuras 4C e 4D. O teste de média mostrou variação aos 210 e 250 DAP. A fonte ureia apresentou os maiores valores, 50,82 e 58,36. Para o tratamento com o nitrato de amônio, os valores estimados foram de 42,55 e 49,52 para os dois períodos, respectivamente (Figura 4C).

Os menores valores estimados foram observados aos 210 DAP, com médias estimadas de 43,03 e 51,23 g, com as fontes nitrato amônio e ureia, respectivamente. A aplicação de nitrato de amônio, aos 250, 290 e 330 DAP, apresentou valores estimados de 48,11; 60,69 e 80,78 g, respectivamente. A aplicação de ureia para os períodos de 250, 290 e 330 DAP apresentou valores estimados de 57,11; 65,51 e 76,43, respectivamente (Figura 4D).

O maior incremento de MSP foi observado dos 290 DAP aos 330 DAP. Para a FN ureia, esse aumento foi de 14,28%, com a FN nitrato de amônio, a porcentagem foi de 24,87% (Figura 4D).

A análise de variância mostra que a variável produtividade do colmo (PC) foi significativa para a interação FN x DN (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para a produtividade de colmos (PC) da cana-de-açúcar (cana planta) em função de doses e fontes de nitrogênio. Jataí, GO, safra 2014/15.

Fonte de variação	QM	
	GL	PC
FN	1	424,032 <sup>**</sup>
DN	3	9100,114 <sup>**</sup>
FN x DN	3	258,875 <sup>**</sup>
Bloco	2	25,471
Resíduo	14	22,863
CV (%)		3,61

<sup>1</sup> Fontes de Nitrogênio (FN) e Doses (DN), Dias após o plantio (DAP). Fonte de variação (FV), Grau de liberdade (GL), Quadrado médio (QM) e Coeficiente de variação (CV). <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.



O desdobramento FN x DN para a variável PC encontra-se nas Figuras 4A e 4B. Os valores para as doses 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> da FN-ureia foram, respectivamente, de 91,38; 102,75; 132,07 e de 187,20 t ha<sup>-1</sup>, enquanto para a FN-nitrato, com as respectivas doses, esses valores foram de 94,96; 128,41; 142,00 e de 181,66 t ha<sup>-1</sup>, tendo sido as doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de nitrato de amônio, superiores estatisticamente, quando comparadas às doses de ureia, o que representa um incremento de 23,36 e 25,01%, respectivamente (Figura 4A).

Roy et al. (2006) e Franco et al. (2010), avaliando a produtividade da cana planta em relação à adubação nitrogenada, verificaram incremento de produtividade, ainda acrescentando que as altas produtividades estão frequentemente associadas às altas doses de N.

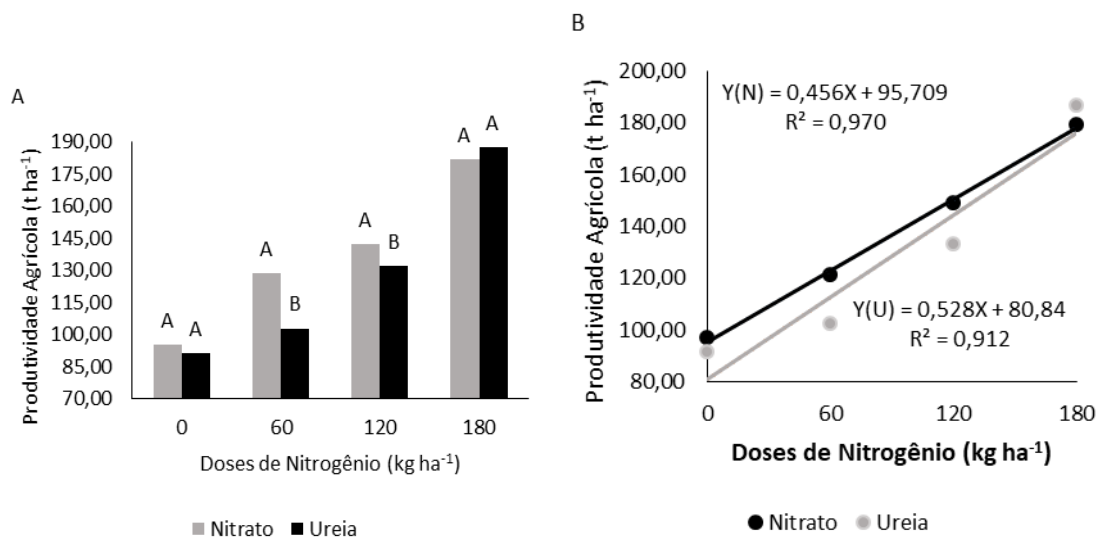
Para as ambas as fontes, com o aumento das doses, ocorreu maior PC, Figura 4B, tendo as doses da fonte nitrato de amônio proporcionado as maiores médias estimadas, exceto para a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup>.

Com aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de FN-ureia, a média estimada da PC foi de 186,80 t ha<sup>-1</sup>, incremento de 28,66% quando comparado à dose 120 kg ha<sup>-1</sup>, cuja produtividade média estimada foi de 133,25 t ha<sup>-1</sup>. A dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> FN-ureia teve um acréscimo na PC de 23,77%, quando comparada à dose de 60 kg ha<sup>-1</sup>, que teve sua média estimada em 101,57 t ha<sup>-1</sup>. Já a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> da FN-ureia proporcionou um acréscimo na PC de 9,64%, quando comparado à dose de 0 kg ha<sup>-1</sup>. A PC estimada para a dose de 0 kg ha<sup>-1</sup> foi de 91,77 t ha<sup>-1</sup>.

Para a DN de 60 kg ha<sup>-1</sup>, usando FN-nitrato, a média estimada da PC foi de 121,52 t ha<sup>-1</sup>, tendo o incremento sido de 19,96% quando comparado à dose 0 kg ha<sup>-1</sup>, cuja média estimada de PC foi de 97,26 t ha<sup>-1</sup>. Já a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou um acréscimo na PC de 18,38%, quando comparada à dose de 60 kg ha<sup>-1</sup>, tendo a média estimada da PC para a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> sido de 148,89 t ha<sup>-1</sup>. A média estimada da dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> foi de 179,36 t ha<sup>-1</sup>, tendo proporcionado um acréscimo na PC de 16,98%, observado com a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>.

O maior incremento de PC ocorreu com a aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, independentemente da fonte utilizada. A FN-ureia, com aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, proporcionou um acréscimo de 3,04% maior quando comparado à dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de FN-nitrato (Figura 4D).

Em trabalho desenvolvido por Vitti et al. (2007), com diferentes fontes nitrogenadas, as maiores produtividades de colmos foram obtidas com sulfato de amônio e nitrato de amônia, visto que as duas fontes apresentaram reduzida volatilização. A menor produtividade foi obtida com o uran e, principalmente, com ureia, que se deveu, também, às perdas de N por volatilização de amônia.



**Figura 4.** Produtividade do colmo da cana-de-açúcar (CTC-4) (cana planta), (A) e (B) interação fontes x doses,. Município de Jataí-GO, safra 2014/2015.

No Brasil, muitos trabalhos mostraram acréscimos na tonelada por hectare de cana planta em função da adubação nitrogenada (Trivelin et al., 2002; Vitti et al., 2007; Franco et al., 2010; Vieira et al., 2010; Fortes et al., 2011; Fortes et al., 2012; Fortes et al., 2013), porém existem divergências em relação à dose de N que proporciona a máxima produtividade econômica (Otto et al., 2016).

Korndörfer et al. (2002) obtiveram acréscimos médios de dez toneladas por hectare com a aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N e Castro et al. (2014) obtiveram ganhos de até 21% na produtividade da cana planta quando aplicaram 130 kg ha<sup>-1</sup> de N.

A adubação nitrogenada promove o aumento da produtividade em canaplanta, sendo assim importantes a adição e o aumento das doses de N mineral para garantir vigor e alta produtividade da cana soca (Vitti, 2011; Fortes et al., 2013; Penatti, 2013).

Com base em análises conjuntas de avaliações de resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, Cantarella et al. (2007) reuniram resultados de 74 ensaios e concluíram que, apesar de, em muitos casos, os incrementos serem pequenos, os ganhos de produtividade obtidos em cana planta em função da adubação nitrogenada são significativos. Segundo Vitti et al. (2008), fatores como valores elevados de erros

experimentais, associados a ensaios de adubação em condições de campo, e a avaliação de resultados de ensaios isolados com pequenos incrementos na produtividade em razão da adubação nitrogenada conduzem muitos técnicos a considerar que a cana planta pode dispensar a aplicação de fertilizante nitrogenado. Nesse contexto, considerando seus altos custos e a inconsistência de respostas obtidas na cana-de-açúcar com a adubação nitrogenada, são fundamentais o desenvolvimento de práticas agrícolas e a busca por fontes alternativas que visam ao melhor aproveitamento do N pela cultura da cana-de-açúcar (Franco et al., 2008).

### 3.4 Conclusões

O aumento da dose de adubação nitrogenada proporciona aumento da altura da planta, do diâmetro do colmo, da área foliar, da massa seca do ponteiro e da produtividade.

Aos 330 dias após o plantio, ocorreu a maior altura de planta, diâmetro do caule, massa seca do ponteiro. A maior área foliar ocorreu aos 250 dias após o plantio.

### 3.5 Referências

- Amorim, H.V.; Lopes, M.L; Oliveira, J.V.; Buckeridge, M.S.; Goldman, G.H. Scientific challenges of bioethanol production in Brasil. *Applied Microbiology and Biotechnology*, New York, v. 91, p. 1267-1275, 2011.
- 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
- Barnes, A.C. *The sugar cane*. 2nd ed. Leonard Hill, Ltd., London, 1974.
- 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.
- Bologna-Campbell, I. Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta. 2007. 112 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
- Cantarella, H.; Trivelin, P. C. O.; Vitti, A. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; Vitti, G. C. (Eds.). Nitrogênio e

- Enxofre na Agricultura Brasileira. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 349–412.
- 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.
- CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2016: Disponível: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/boletim\\_cana\\_-3o\\_lev\\_-\\_16-17.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/boletim_cana_-3o_lev_-_16-17.pdf) > Acesso em : 22 ago. 2017.
- Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- 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 Agricola*, v. 67, n. 5, p. 579–590, 2010.
- Franco, H.C.J.; Otto, R.; Faroni, C.E.; Vitti, A.C.; Oliveira, E.C.A.; Trivelin, P.C.O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.121, p.29-41, 2011.
- Fortes, C.; Faroni, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.46, n.3, p.287-293, 2011.
- Fortes, C.; Trivelin, P. C.; vitti, A. C.; otto, R.; Junqueira Franco, H. C.; Faroni, C.E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v. 48, n. 1, p. 88–96, 2013.
- Gava, G. J. C.; Kölln, O. T.; Uribe, R. A. M.; Trivelin, P. C. O.; Cantarella, H. Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). In: Crusciol, C. A. (Org.). *Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar*. 1. ed. Botucatu: FEPAF, 2010. v.1, p.49-66.
- 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.
- Hermann, E.R.; Câmara, G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. *Revista da STAB*, v.17, p.32-34, 1999.

- Maule, R.; Mazza, J. A.; Martha Júnior, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.58, n. 2, p. 295-301, 2001.
- MccraY, J.M.; Morgan, K.T.; Baucum, L.; Ji, S. Sugarcane yield response to nitrogen on sand soils. *Agronomy Journal*, Madison, v. 106, p. 1461-1469, 2014.
- NOVACANA. Disponível em: <http://www.novacana.com/estudos/a-cana-de-açucar-como-fonte-de-energia-eletrica-241013/>. Acesso em: 10 set. 2015.
- Köppen, W. Köppen climate classification. Geography about. Available in: <<http://geography.about.com/library/weekly/aa011700b.htm> >. Access in: 10 Maio. 2016.
- Oliveira, R. A.; Daros, E.; Zambon, J. L. C.; Weber, H.; Ido, O. T.; BessalhoFilhos, J. C. Zuffellato-Ribas, K. C.; Silva, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. *Pesq. Agropec. Trop.* 37(2): 71-76, jun. 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. Castro, S.A.Q.; Mariano, E.; Castro, S.G.Q.; Franco H.C.J.; Trivelin P. C. O. Nitrogen use efficiency for sugarcane-biofuel production: What is next? *Bioenergy Research*, New York, p. 1-8, 2016.
- 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.
- Resende, A.S.; Santos, A.; Xavier, R.P.; Coelho, C.H.; Gondim, A.; Oliveira, O.C.; Alves, B.J.R.; Boddey, R.M. & Urquiaga, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado nas características tecnológicas da cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.937-941, 2006.
- 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.

- Roy, R.N.; Finck, A.; Blair, G.J.; Tandon, H.L.S. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006. 249 p. (FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, 16).
- Trivelin, P.C.O.; Vitti, A.C.; Oliveira, M.W.; Gava, G.J.C.; Sarriés, G.A. Utilização do nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.636-646, 2002.
- Vieira-Megda, M.X.; Mariano, E.; Leite, J.M.; Franco, H.C.J.; Vitti, A.C.; Megda, M.M.; Khan, S.A.; Mulvaney, R.L.; Trivelin, P.C.O. Contribution of fertilizer nitrogen to the total nitrogen extracted by sugarcane under Brazilian field conditions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, v. 101, p. 241-257, 2015.
- Vitti, A. C.; Trivelin, P. C. O.; Gava, G. J. C.; Franco, H. C. J.; Bologna, I. R. & Faroni, C. E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima<sup>(1)</sup>. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 31:491-498, 2007.
- Vitti, A. C.; Cantarella, H.; Trivelin, P. C. O.; Rosseto, R. Nitrogênio. In: Dinardo-Miranda, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; Landell, M. G. A. *Cana-de-açúcar*. Campinas: IAC, 2008. 882p.
- Vitti, A.C.; Franco, H.C.J.; Trivelin, P.C.O.; Ferreira, D.A.; Otto, R.; Fortes, C.; Faroni, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.46, n.3, p.287-293, 2011.
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; oliveira, J.B.; Coelho, M.R.; Lumberras, J.F.; Cunha, T.J.F. (Ed.). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.
- Silva, N. F. Cultivo da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial. 2014. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, 2014.
- 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, nº.2, p. 79 - 90, 2015.

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.

Sinclair, T. R.; Gilbert, R. A. ; Perdomo, R. E. ; Shine, J. R. ; POWELL, G.; Montes, G. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. Field Crops Research, Amsterdam, v. 88, n. 2-3, p. 171-178, 2004.

Scudelletti, 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.

Sousa, D. M. G.; Lobato, E. (Eds). Cerrado: correção do solo e adubação. 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 submetida a diferentes lâminas de irrigação e adubação com zinco. UFCEG - Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Patos – PB, V. 11, n. 1, p. 114-119, abr - jun, 2015.

## 4.0 CAPÍTULO II



## **Efeito residual de fontes e doses de nitrogênio no desempenho e produtividade da primeira soqueira de cana-de-açúcar**

**Resumo** - O presente estudo teve por objetivo avaliar as variáveis biométricas, biomassa e a produtividade de cana-de-açúcar (variedade CTC - 4), no ciclo de primeira soqueira, em função de diferentes doses e fontes de nitrogênio. O experimento foi conduzido em condições de campo, na Fazenda Rio Paraíso II, pertencente à Usina Raízen, município de Jataí, GO. O delineamento experimental utilizado para as avaliações biométricas e biomassa foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema de parcelas subdivididas 4 x 2 x 4. Os tratamentos foram quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), duas fontes de nitrogênio (ureia e nitrato de amônio). A adubação nitrogenada (doses e fontes) foi feita na safra anterior, na renovação do canavial e em quatro épocas de avaliação (210, 250, 290 e 330 dias após o plantio). Na primeira soqueira, foi aplicada a dose de 120 kg de N, para ambas as fontes (nitrato de amônio e ureia) em todos os tratamentos, com o intuito de permitir distinguir o efeito residual das distintas doses e fontes de N aplicadas no ciclo precedente (cana planta), na primeira soqueira de cana-de-açúcar. Para a avaliação de produtividade, o delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 4 x 2. Os tratamentos foram quatro doses de nitrogênio e duas fontes nitrogenadas. O aumento da dose de adubação nitrogenada no ciclo precedente proporcionou aumento da altura de planta, diâmetro do colmo, área foliar, massa seca do ponteiro e produtividade. Aos 330 dias após o corte, ocorreram maior altura de planta, diâmetro do caule e massa seca do ponteiro. A maior área foliar ocorreu aos 250 dias após o corte. O nitrato na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup>, aplicado no ciclo precedente, proporcionou maior altura de planta, diâmetro do colmo, massa seca do ponteiro e produtividade.

**Palavra-chave:** Ureia, Nitrato de amônia, *Saccharum officinarum*, Produtividade de colmo

## **Residual effect from nitrogen sources and doses on the performance and yield of first sugarcane ratoon**

**ABSTRACT** - This study aimed to evaluate the biometric variables, biomass, and sugarcane yield (CTC-4 cv) in the first sugarcane ratoon cycle, considering the different nitrogen doses and sources. The experiment was carried out under field conditions at Fazenda Rio Paraíso II, belonging to the Raízen sugar mill, in the municipality of Jataí, state of Goiás (GO), Brazil. The experimental design for the biometric and biomass evaluations was in randomized complete block with three replicates in a 4x2x4 split-plot parcel scheme. The treatments were composed by four nitrogen doses (0, 60, 120, and 180 kg ha<sup>-1</sup>) and two sources of nitrogen (urea and ammonium nitrate). Nitrogen fertilization (doses and sources) was carried out in the previous harvest, in the renewal of sugarcane field and in four evaluation periods (210, 250, 290 and 330 days after planting). At the first sugarcane ratoon, 120 kg N dose was applied to both sources (urea and ammonium nitrate) in all treatments, to distinguish the residual effect of the different N doses and sources applied in the previous cycle (sugarcane plant). For yield evaluating, the experimental design was in randomized blocks, with three replicates in a 4x2 factorial scheme. The treatments were composed by four nitrogen doses and two nitrogen sources. The increase of nitrogen fertilization dose in the previous cycle provided the increase of plant height, stalk diameter, leaf area, dry mass of the pointer, and yield. After 330 days of cutting, the highest plant height, stalk diameter, dry mass of the pointer occurred. The largest leaf area occurred after 250 days of cutting. Nitrate at 180 kg ha<sup>-1</sup> dose applied in the previous cycle provides higher plant height, stalk diameter, dry mass of the pointer, and yield.

**Keywords:** Urea. Ammonium nitrate. *Saccharum officinarum*. Stem yield.

#### **4.1 Introdução**

O Brasil produziu aproximadamente 657,18 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2016/17, em uma área de aproximadamente 9,05 milhões de hectares, um aumento de 4,06 % da área em relação à safra anterior, que está em constante expansão, principalmente na Região Centro-Oeste do País, onde o Cerrado é o bioma predominante. Na safra 2016/17, Goiás foi responsável por 20% da área colhida no país, sendo o segundo maior estado com área colhida, equivalente a 10,6% da área total do país (Conab, 2017).

De grande importância socioeconômica para o país, a cultura da cana-de-açúcar tem como seus principais derivados o álcool, que pode ser anidro ou hidratado, e o açúcar, ambos de grande importância no mercado mundial. Outros produtos também originados dessa cultura que devem ser destacados são a aguardente, o plástico, o papel, o bagaço, que pode ser utilizado como fonte de energia, e a vinhaça, que serve de fertilizante.

De acordo com Vitti et al. (2007), há relatos de técnicos que trabalham em usinas produtoras de cana que se não for feita a adubação dos canaviais com N em determinado ano, a produtividade naquela safra não será afetada de forma marcante, mas o efeito ocorrerá nos anos seguintes, com reflexo na longevidade da soqueira. Trabalhos desenvolvidos constataram esse efeito e afirmaram que a resposta da cana planta ao N se refletiu no maior vigor das soqueiras, aumentando a produção nos cortes subsequentes, entre a cana-de-açúcar com adubação e sem adubação nitrogenada (Orlando Filho et al., 1999).

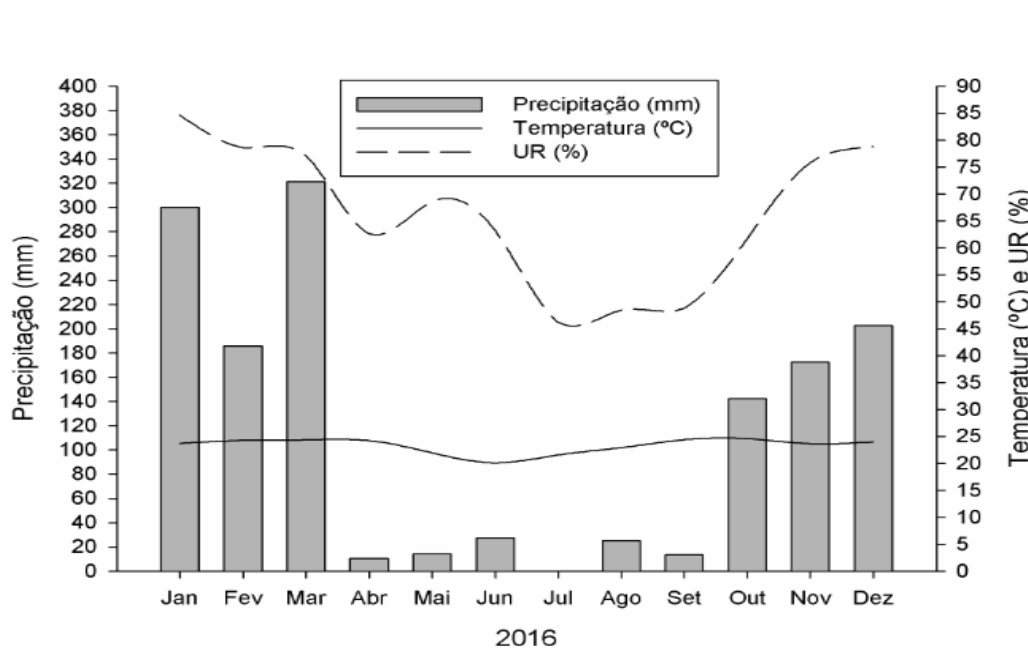
O manejo inadequado de um canavial, especialmente em relação à adubação nitrogenada, pode resultar tanto na redução da produtividade da cultura quanto na sua longevidade, reduzindo, por conseguinte, o número de colheitas ou cortes entre as reformas (Vitti et al., 2007).

Partindo da hipótese de que a aplicação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na implantação do canavial influencia no crescimento, desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar no ciclo subsequente (cana de primeira soqueira), a época de crescimento e de desenvolvimento da cana-de-açúcar é afetada pela fonte e dose de nitrogênio na implantação do canavial, na região do cerrado. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o desempenho agrônômico da cana-de-açúcar para definir a melhor fonte e a melhor dose de adubação nitrogenada em cana-planta, em Latossolo Vermelho distroférico 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, município de Jataí, GO. As coordenadas geográficas do local são 17°43'15.23"S e 51°38'12.62"W, e 912 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen (1982), 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 precipitação anual é de aproximadamente 1.800 mm, porém mal distribuída ao longo do ano.

Os dados de precipitação pluvial e temperaturas médias ocorridos durante o período do experimento foram obtidos de uma estação meteorológica pertencente ao INMET, instalada no município de Jataí – GO (Figura 1). As médias das temperaturas máximas e mínimas foram, de 34,6 °C em outubro e de 21,1 °C em julho, e a precipitação pluvial no período totalizou 1.541 mm, tendo a precipitação máxima ocorrido no mês de março, 330 mm, e a menor em julho, 17 mm.



Fonte: Estação Normal INMET – Jataí - GO.

**Figura 1.** Dados climáticos do município de Jataí, no período de janeiro a dezembro de 2016.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, muito argiloso (Santos et al., 2013) (Tabela 1). As amostras de solo foram analisadas conforme Raej et al. (2011).

O delineamento experimental utilizado para as avaliações biométricas e avaliação de biomassa foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 4 x 2 x 4. Os tratamentos foram quatro doses de nitrogênio residual (DNR) (0,

60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) aplicadas na safra anterior (2014/2015), duas fontes de nitrogênio (FN) (ureia e nitrato de amônio) e quatro épocas de avaliação após o corte (210, 250, 290 e 330 dias após o corte - DAC).

**Tabela 1.** Características químicas, físico-hídricas, granulométricas e classificação textural do solo da área experimental, nas camadas de 0–0,10, 0,10-0,20 e 0,20–0,40 m de profundidade.

Camada (m)	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. (g dm <sup>-3</sup> )	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	
			----- (mmol dm <sup>-3</sup> ) -----							
0–0,10	6,6	75	1,1	37	18	<1	18	56,1	74,1	
0,10-0,20	6,3	167	0,8	29	14	<1	20	43,5	63,80,	
0,20-0,40	6,0	86	0,9	23	13	<1	20	36,9	56,9	
Camada (m)	V (%)	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn		
			----- (mmol dm <sup>-3</sup> ) -----							
0-0,10	76	16	10	0,18	1,7	68	3,4	1,4		
0,10-0,20	69	13	7	0,15	1,4	59	2,8	1,2		
0,20-0,40	65	11	8	<0,2	1,3	52	2,2	1,0		
Camada (m)	Granulometria (g kg <sup>-1</sup> )			CC	PMP	Classificação textural				
	Areia	Silte	Argila	----- % -----						
0–0,10	96	82	822	46,3	22,6	Muito argiloso				
0,10–0,20	97	82	822			Muito argiloso				
0,20-0,40	85	71	845	45,8	22,6	Muito argiloso				

Para a avaliação de produtividade de colmo, o delineamento experimental foi em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 4 x 2. Os tratamentos foram quatro DNR (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) aplicadas na safra anterior (2014/2015) e duas FN (ureia e nitrato de amônio).

A adubação de cobertura foi feita com a aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de superfosfato triplo, e K<sub>2</sub>O, na forma de cloreto de potássio, conforme a análise de solo e as recomendações (Sousa e Lobato, 2004).

No ano correspondente à safra 2015/2016, o nitrogênio (N) foi aplicado na dose de 120 kg de N, para ambas as fontes (nitrato de amônio e ureia) em todos os tratamentos, com o intuito de permitir distinguir o efeito residual das distintas doses e fontes de N aplicadas no ciclo precedente (cana planta) na primeira soqueira de cana-de-açúcar, aos 60 dias após o plantio. Os tratamentos culturais relacionados ao uso de

agroquímicos foram utilizados conforme a necessidade e avaliação de infestação, de acordo com a metodologia da Usina Raízen.

As parcelas foram constituídas por seis linhas de cana com 5 m de comprimento, espaçadas 1,50 m entre si. A área útil da parcela foi representada por nove metros lineares nas três linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 1,0 m em cada extremidade.

Para avaliação das variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), área foliar (AF) e peso da matéria seca do ponteiro (MSP), foram utilizadas duas plantas nas linhas centrais de cada parcela.

A AP foi medida com o auxílio de uma fita métrica, a partir do solo até o colarinho da folha +1 (folha +1 é aquela que se pode visualizar completamente o colarinho) e expressa em metros. O DC foi determinado com o auxílio de um paquímetro digital na base da planta e expresso em milímetros. A AF foi determinada pela contagem do número de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1) e pelas medições nas folhas +3, sendo obtidos o comprimento e a largura da folha na porção mediana de acordo com Hermann e Câmara (1999).

A MSP corresponde ao pseudocolmo, também conhecido por ‘palmito’, que corresponde à parte do colmo acima do ponto de quebra, onde se inicia a parte ainda em maturação, ou seja, onde há internódios em formação, e a parte emergente, conhecida como ‘cartucho’, corresponde às folhas em expansão existente acima do pseudocolmo. A soma destes dois componentes da parte aérea é o que chamamos de ‘ponteiro’, que foi submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar 65 °C até massa constante.

A colheita foi feita em 04/10/2016 e a produtividade de colmos (PC) foi determinada pela pesagem total dos colmos presentes em 2 m lineares nas duas linhas centrais das parcelas. Os colmos foram cortados e despalhados e tiveram o ponteiro destacado. Em seguida, foram pesados em balança digital tipo gancho, com capacidade de 50 kg, e os valores, transformados em toneladas de colmos por hectare.

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e, em casos de significância, foram feitos o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para o fator fonte de nitrogênio e análise de regressão para os níveis de adubação nitrogenada e épocas de avaliação, utilizando o software estatístico SISVAR® (Ferreira, 2011).

### 4.3 Resultados e Discussão

A análise de variância mostrou que a variável altura de planta (AP) foi significativa para as interações FN x DNR e DNR x DAC. A variável diâmetro do colmo (DC) foi significativa para o fator DN isoladamente, e a interação FN x DAC e área foliar (AF) foi significativa para a interação DN x DAC. A variável massa seca do ponteiro (MSP) foi significativa para as interações FN x DAC e DN x DAC (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), área foliar (AF) e matéria seca do ponteiro (MSP), em função de doses e fontes de N aplicadas no ciclo precedente.

Fonte de variação	Quadrado médio				
	GL	AP	DC	AF	MSP
Bloco	2	286,50	0,85	135562.292	3,10
FN	1	91,55**	12,24**	31920.367 <sup>ns</sup>	6,48 <sup>ns</sup>
DNR	3	3311,59**	11,24**	2633074.926**	170,80**
DAC	3	4161,86**	62,95**	5896551.528**	14658,70**
FN x DNR	3	38,88**	0,33 <sup>ns</sup>	83298.501 <sup>ns</sup>	5,74 <sup>ns</sup>
FN x DAC	3	29,51 <sup>ns</sup>	1,22**	8318.818 <sup>ns</sup>	51,69*
DNR x DAC	9	122,14**	0,64 <sup>ns</sup>	169602.215**	141,11**
FN x DNR x DAC	9	26,12 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	49895.082 <sup>ns</sup>	27,91 <sup>ns</sup>
Resíduo	62	16,03	0,36	27651.47	15,40
CV a (%)		2,12	2,18	10,48	8,53

<sup>1</sup> Fontes de Nitrogênio (FN) e Doses de nitrogênio residual (DNR), 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, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

A adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais de maior demanda de pesquisas para a cana-de-açúcar, uma vez que os estudos sobre N apresentam resultados muito variáveis e muitas vezes até contraditórios (Korndörfer et al., 2002). Porém existem muitos trabalhos que mostram a importância do N na cultura da cana-de-açúcar (Silva et al., 2009; Franco et al., 2011).

O desdobramento da FN x DNR, da variável AP, encontra-se na Figuras 2 A e 2 B. As médias para a FN-ureia foram de 1,62; 1,73; 1,18 e de 1,88 m e para a FN-nitrato as médias foram de 1,61; 1,75; 1,80 e de 1,93 m com as doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> da FN-nitrato foi estatisticamente

superior à FN-ureia, Figura 2A, representando um acréscimo na AP de 2,65% com a aplicação da FN-nitrato.

Independentemente da fonte nitrogenada utilizada, as menores médias estimadas para a variável AP foram obtidas com a DNR 0 kg ha<sup>-1</sup> e as maiores médias estimadas foram obtidas com a DNR de 180 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2 B). As médias estimadas para a FN-ureia foram de 1,63; 1,72; 1,80 e de 1,87 m para as doses 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, e para a FN-nitrato, as médias estimadas com as respectivas dosagens foram de 1,62; 1,72; 1,82 e de 1,92 m (Figura 2 B).

A eficiência do aproveitamento do nitrogênio pela cana-de-açúcar favorece o crescimento radicular, elevando a absorção de água e nutrientes, tornando-a mais bem nutrida, promovendo, assim, incrementos na altura de planta e na produtividade de colmos (Otto et al., 2009; Cunha et al., 2016)

O incremento da AP com a FN-ureia da menor DNR (0 Kg ha<sup>-1</sup>) para a maior DNR (180 kg ha<sup>-1</sup>) foi de 14,72%, com a FN-nitrato, esse incremento foi de 18,51%.

O nitrogênio é um dos nutrientes que mais limitam o crescimento da cana-de-açúcar. 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).

As Figuras 2 C e 2 D mostram o desdobramento DNR x DAC da variável AP. Para todas as DNR avaliadas (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), houve crescimento linear com os DAC (210, 250, 290 e 330 DAC) (Figura 2 C).

As médias estimadas da variável AP com a DNR de 0 kg ha<sup>-1</sup>, para os períodos avaliados (210, 250, 290 e 330 DAC), foram de 1,44; 1,57; 1,71 e de 1,79 m, respectivamente. Para a DNR de 60 kg ha<sup>-1</sup>, para os períodos avaliados, as médias estimadas, respectivamente, foram de 1,53, 1,68, 1,75 e 1,92 m kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2 C).

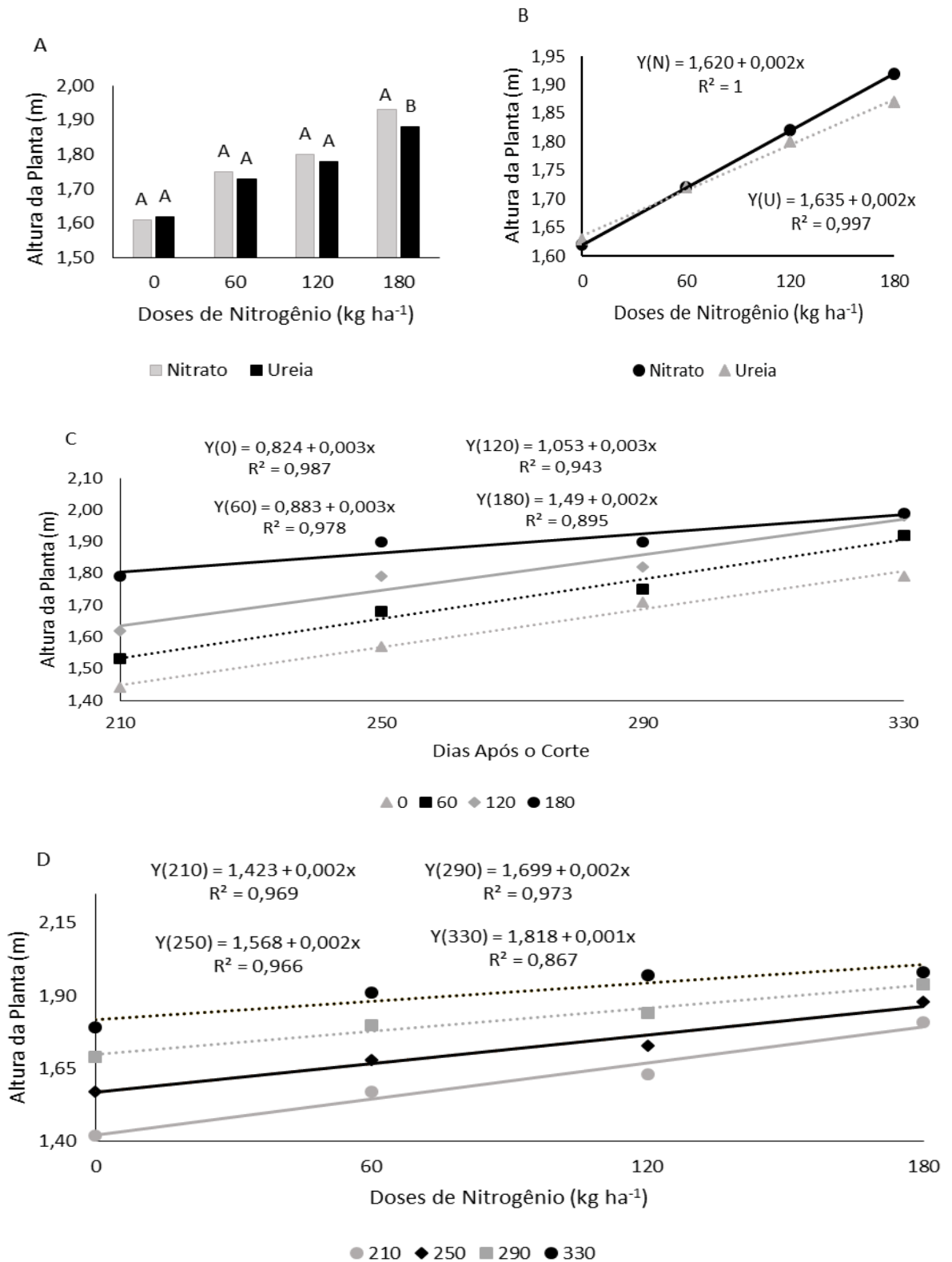
As médias estimadas para a variável AP com a DNR de 120 kg ha<sup>-1</sup> foram de 1,62; 1,79; 1,82 e de 1,98 m para os períodos de 210, 250, 290 e 330 DAC, respectivamente, para os mesmos períodos, para a dose de 180 kg ha<sup>-1</sup>, as médias estimadas foram de 1,79; 1,90; 1,90 e de 1,99 m (Figura 2 C).

Conforme Brar et al. (2011) e Ghaffar et al. (2012), o nitrogênio potencializa de maneira bastante significativa o crescimento da cana-de-açúcar.

As menores médias estimadas para a variável AP ocorreram aos 210 DAC com 1,42; 1,57; 1,63 e 1,81 m para as DNR de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.



Para as mesmas doses, aos 250 DAC, as médias estimadas foram de 1,57; 1,68; 1,73 e de 1,88 m (Figura 2 D).



**Figura 2.** Altura de plantas da cana-de-açúcar (CTC-4) (cana de primeira soqueira) 2 (A) e 2 (B) interação fontes x doses residual; 2 (C) e 2 (D) interação doses residual x dias após o corte. Município de Jataí – GO, safra 2015/2016.

As maiores médias estimadas para a variável AP ocorreram aos 330 DAC com 1,79; 1,91; 1,97 e 1,98 m para as DNR de 0, 60, 120 e de 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para as mesmas doses, aos 290 DAC, as médias estimadas foram de 1,69; 1,80; 1,97 e de 1,98 m (Figura 2 D). Estes resultados são inferiores aos encontrados por Oliveira et al. (2010), que, nesta mesma fase de crescimento, trabalhando com as variedades de maturação precoce RB872552 e RB863129, obtiveram, respectivamente, as maiores AP com valores de 3,10 e 2,91 m.

Soomro et al. (2014) observaram que as doses mais elevadas de nitrogênio têm maior efeito sobre a altura de planta (>244,1 m). 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 aumento expressivo em termos de altura de planta (Barnes, 1974; Bikila et al., 2014).

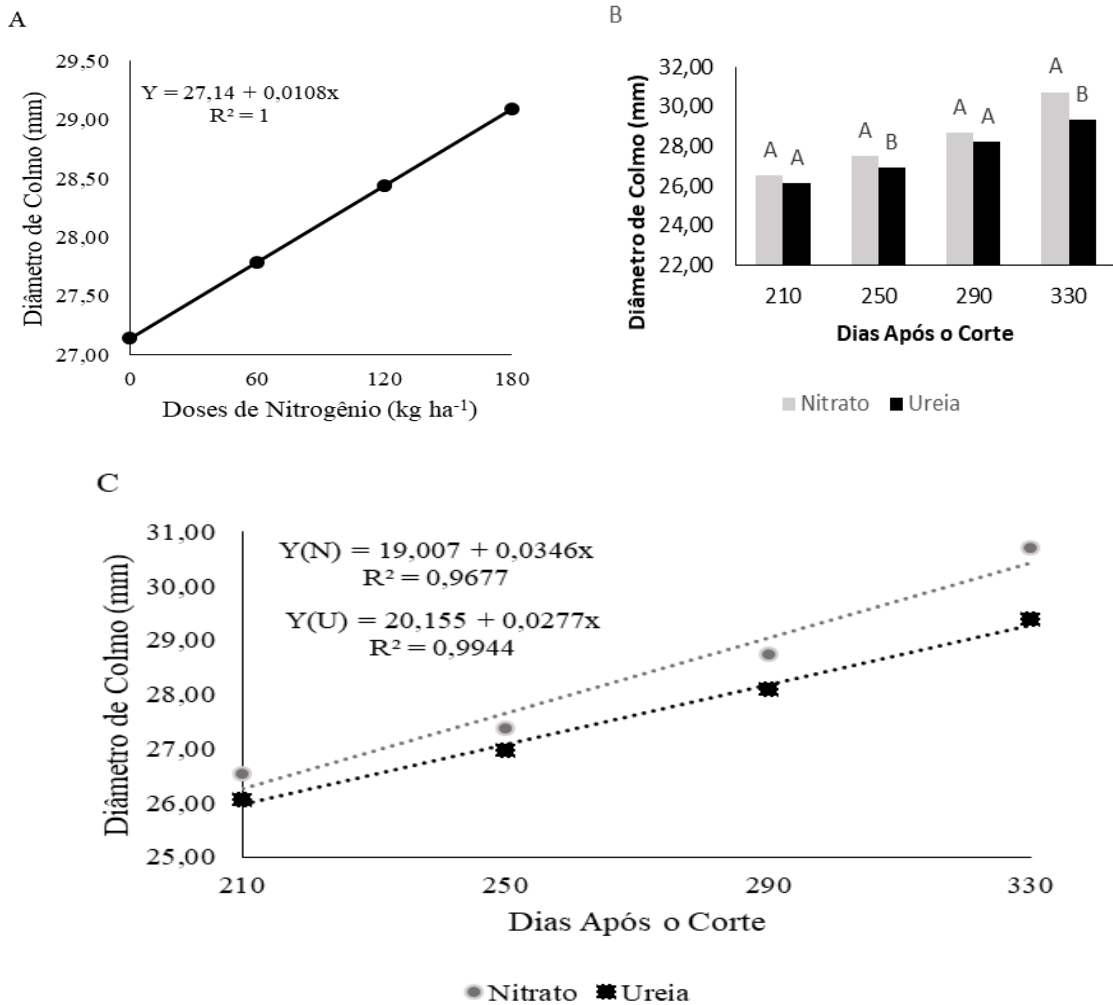
A variável DC obteve crescimento linear com aumento das doses de nitrogênio aplicadas no ciclo precedente (Figura 3A). Os valores estimados foram de 27,14; 27,79; 28,44 e de 29,09 mm para as doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 3A).

Resultados encontrados por Silva et al. (2014) em Rio Verde, GO, sob Latossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa, para diâmetro de colmo (DC), mostraram crescimento inicial elevado, prolongando-se até os 210 DAP, mas a máxima resposta de DC foi atingida aos 330 DAP, com média de 37,9 mm.

O desdobramento FN x DAC é representado nas Figuras 3 B e C. Os valores para a FN-ureia foram de 26,10; 26,89, 28,19 e de 29,35 mm para os períodos 210,20, 290 e 330 DAC, respectivamente. Para os mesmos períodos observados para as médias para a FN-nitrato, as médias foram de 26,52; 27,47; 28,66 e 30,73 mm (Figura 3A).

Aos 250 e 330 DAC, a FN-nitrato foi superior à ureia estatisticamente, o que representa um incremento no DC de 8,99% aos 250 DAC e de 4,49% aos 330 DAC (Figura 3 B). Aos 330 DAC, a FN-nitrato apresentou diferença estatística, tendo sido a FN-ureia inferior. Os valores estimados foram de 29,35 e 30,73 mm, aos 250 DAC e aos 330 DAC, respectivamente, o que equivale a 4,49% no incremento do DC quando se comparam as fontes nitrogenadas (Figura 3B).

Soomro et al. (2014) observaram que doses mais elevadas de nitrogênio têm efeito maior sobre o diâmetro do colmo (>25 mm).



**Figura 3.** Diamêtro do colmo da cana-de-açúcar, primeira soqueira (CTC-4), 3 (A) doses de nitrogênio residual, 3 (B) e (C) interação fontes x dias após o corte. Município de Jataí – GO, safra 2015/2016.

A variável DC aos 330 DAC, para ambas as FNs, apresentou as maiores médias estimadas. Para a FN-ureia, as médias estimadas foram de 26,06; 26,98; 28,09 e de 29,38 mm para os períodos de 210, 250, 290 e 330 DAC, respectivamente. Para os mesmos períodos avaliados para a FN-nitrato, os valores estimados foram de 26,55; 27,37; 28,75 e de 30,70 mm (Figura 3C).

Os resultados obtidos estão de acordo com Moura et al. (2005), que consideram adequados valores de DC acima de 22 mm para a cana-de-açúcar. O aumento do diâmetro dos colmos em conformidade com as épocas de avaliação foi constatado também por outros autores, mas seguido da redução desse parâmetro morfológico a

partir dos 291 dias após o corte (Oliveira et al., 2010; Arantes, 2012; Rhein, 2012), fato que destoou dos resultados encontrados, pois não se observaram decréscimos no diâmetro do colmo ao longo do tempo.

O desdobramento da FN x DAC da variável MSP está representado nas Figuras 4 A e 4 B. As médias para a FN-ureia foram de 12,23; 43,32; 60,33 e de 67,03 g. Para a FN-nitrato, as médias foram de 12,89; 43,13; 57,58 e de 71,38 g com as doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. A dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> da FN-nitrato foi estatisticamente superior à FN-ureia, o que representa um acréscimo de 5,63% (Figura 4 A).

Para ambas das FN, a variável MSP apresentou as maiores médias estimadas aos 330 DAC. Para a FN-ureia, os valores médios obtidos foram de 12,42; 42,75; 60,89 e de 66,84 g para os períodos de 210, 250, 290 e 330 DAP, respectivamente. Para os mesmos períodos avaliados, a FN-nitrato apresentou valores estimados de 13,64; 40,85; 59,85 e de 70,62 g (Figura 4B).

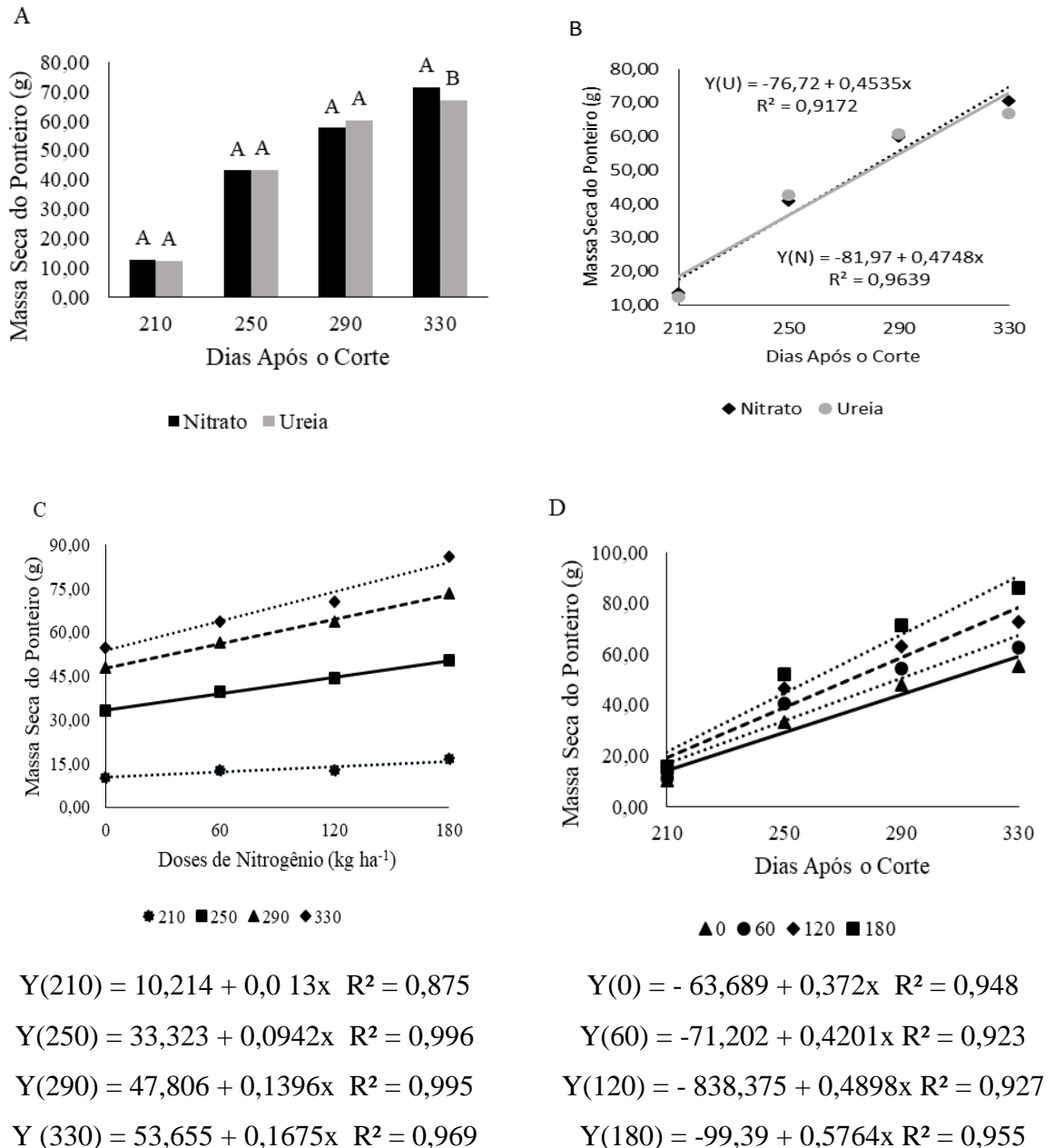
Cantarella (2012) avaliou em seu estudo a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio num período de três anos e verificou que as produções de matéria seca do colmo foram significativamente maiores nas plantas adubadas com ureia (100 kg ha<sup>-1</sup> de N), sendo que o efeito residual dessa adubação também apareceu no ano subsequente. Esses resultados mostram que aplicações de N em cana-de-açúcar aumentam a produção de matéria seca do colmo e a produtividade final.

O desdobramento DNR x DAC para a variável MSP é apresentado na Figura 4C e D. A dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou as maiores médias, 16,52; 50,31; 73,44 e 85,91 g, nos períodos 210, 250, 290 e 330 DAC, respectivamente (Figura 4 C).

A dose 0 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou as menores médias estimadas para todos os períodos avaliados, tendo sido os valores estimados de 10,25; 33,02; 47,83; 54,67 g para os períodos de 210, 250, 290 e 330 DAC, respectivamente. Para os mesmos períodos observados, a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou as médias estimadas de 12,69; 39,61; 56,64 e de 63,78 g, respectivamente. Para a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup>, as médias estimadas foram de 12,67; 44,27; 63,57 e de 70,56g, respectivamente (Figura 4 C).

As menores médias estimadas (10,47; 11,21; 12,93 e 15,62 g) para MSP foram com a DNR de 0 kg ha<sup>-1</sup> em todos os períodos avaliados (210, 250, 290 e 330 DAC), respectivamente; com a DNR de 60 kg ha<sup>-1</sup>, para os mesmos períodos, as médias estimadas foram de 33,48; 40,68; 46,81 e de 51,89 g, respectivamente (Figura 4 D).

A DNR de 120 kg ha<sup>-1</sup> nos períodos de 210, 250, 290 e 330 DAC proporcionou as médias estimadas para a MSP de 47,77; 54,34; 62,89 e de 71,44 g, respectivamente. As maiores médias estimadas (55,31; 62,67; 72,88 e 85,95 g) para MSP foram com a DNR de 180 kg ha<sup>-1</sup> nos períodos de 210, 250, 290 e 330 DAC, respectivamente (Figura 4 D).



**Figura 4.** Massa seca do ponteiro da cana-de-açúcar (var. CTC-4) (primeira soqueira), 4 (A) e 4 (B) interação fontes nitrogênio residual x dias após o corte; 4 (C) e (D) interação doses x dias após o corte. Município de Jataí – GO, safra 2015/2016.

No período de 330 DAC, são observados os maiores valores estimados para MSP, com a dose 60 kg ha<sup>-1</sup>, cujo incremento foi de 13,30% quando comparado com a

dose de 0 kg ha<sup>-1</sup>. O incremento de 16,29% foi observado na dose de 120 quando comparado à dose de 60 kg ha<sup>-1</sup>, e o maior incremento, de 17,93%, foi conseguido com a aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> quando comparado à dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 4D).

Otto et al. (2009), avaliando a fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-deaçúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio, constataram que as parcelas que não receberam o fertilizante nitrogenado resultaram em maior gasto energético para o crescimento das raízes, fato que criou competição por fotoassimilados para o crescimento da parte aérea e também pode explicar os menores valores para MST nos tratamentos sem aplicação de N-fertilizante no presente estudo.

Bologna-Campbell (2007) e Vitti et al. (2007) também obtiveram resposta linear na produção de matéria seca de cana planta à adição de N no plantio (doses de 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N). Franco (2008) observou resposta quadrática altamente significativa ( $p < 0,05$ ) para massa seca de colmos, da parte aérea (colmos, folhas secas e ponteiro) e total (parte aérea e raízes) com destaque para o tratamento com aplicação de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Segundo Oliveira et al. (2011), diversas variáveis influenciam a área foliar, entre elas, o número de perfilhos, o número de folhas verdes, o tamanho e a largura destas folhas, sua eficiência fotossintética, além da influência dos genótipos e dos fatores edafoclimáticos.

Para a variável AF, a interação DNR x DAC é apresentado nas Figuras 5A e 5B. As menores médias estimadas de AF aos 330 DAC foram 0,07; 0,08; 0,09 e 0,10 m<sup>2</sup> para as DNRs 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para as mesmas DNRs, as médias estimadas aos 290 DAC foram 0,15; 0,16; 0,19 e 0,22 m<sup>2</sup> (Figura 5 A).

As maiores médias estimadas para AF foram de 0,14; 0,16; 0,19 e de 0,14 m<sup>2</sup> aos 210 DAC, com DNR de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para as mesmas DNRs, com 250 DAC, as médias estimadas foram de 0,14; 0,17; 0,20 e de 0,25 m<sup>2</sup>, sendo as maiores médias observadas para AP (Figura 5 A).

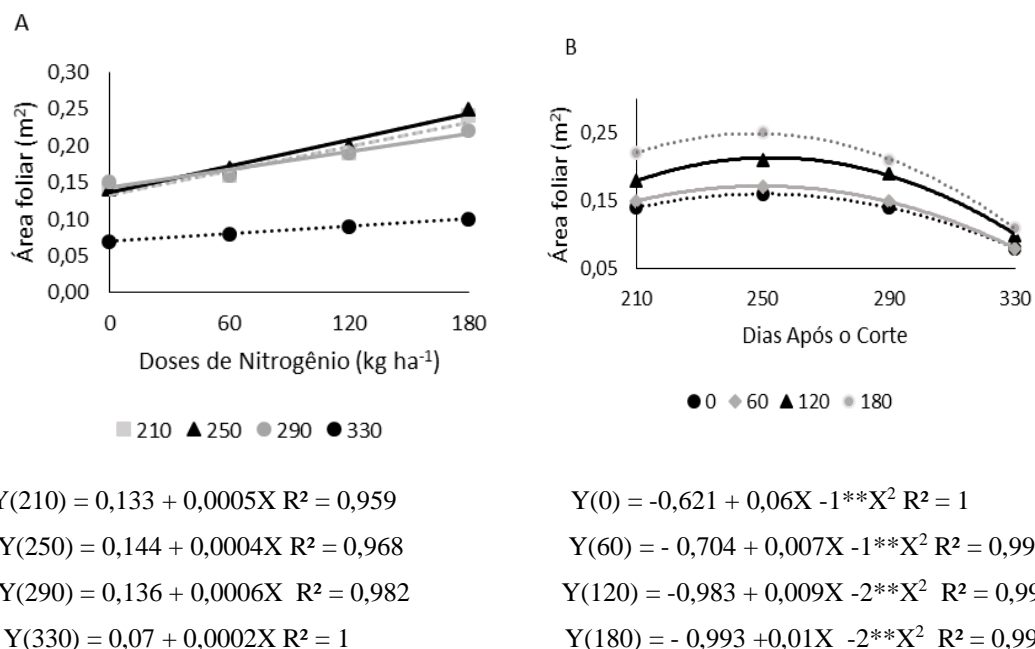
A morte de folhas é um processo natural de senescência das plantas (Marafon, 2012). Ao atingir o tamanho definitivo, a planta entra para a fase de senescência foliar e maturação dos colmos, com menor interceptação da energia luminosa, decréscimo no acúmulo de matéria seca e translocação de açúcares para os órgãos de armazenamento.

Outro fator que pode contribuir para a diminuição da área é a deficiência de nitrogênio, que pode reduzir a capacidade fotossintética (Meinzer & Zhu, 1998).

Saleem et al. (2012) observaram melhores respostas da cana-de-açúcar à aplicação de elevadas doses de N, tendo sido 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, proporcionada pela alta dose de nitrogênio.

Em todos os períodos avaliados, as maiores médias estimadas para AF foram aos 250 DAC e as menores, aos 330 DAC (Figura 5 B).

Para Oliveira et al. (2007), o estudo da área foliar em cultivares na cana-de-açúcar permite correlacioná-la com seu potencial produtivo, seja em massa seca, quantidade de açúcar ou taxas de crescimento. O desenvolvimento da área foliar é crítico para o estabelecimento da cultura, fechamento do dossel e maximização da interceptação da radiação em busca da produtividade da cultura (Sinclair et al., 2004).



**Figura 5.** Área foliar da cana-de-açúcar (CTC – 4), primeiro soqueira 4 (A) 4 (B) e 4 (C) doses residual x dias após o plantio. Município de Jataí – GO, safra 2015/2016.

A DNR de 0 kg ha<sup>-1</sup>, em todos os períodos avaliados (210, 250, 290, 330 DAC), apresentou as menores médias (0,14; 0,16; 0,14 e 0,08 m<sup>2</sup>), respectivamente. A DNR de 60 kg ha<sup>-1</sup> para os mesmos períodos avaliados apresentou médias estimadas de 0,15; 0,17; 0,15 e de 0,08 (Figura 5 B).

As médias estimadas para a DNR de 120 kg ha<sup>-1</sup>, aos 210, 250, 290, 330 DAC, foram de 0,18; 0,21; 0,19 e de 0,10 m<sup>2</sup>, respectivamente. As maiores médias estimadas

foram de 0,22, 0,25; 0,21 e de 0,11 aos 210, 250, 290 e 330 DAC, respectivamente, para a DNR de 180 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 5 B).

De acordo com Rhein (2013), fatores ambientais, como, por exemplo, ocorrência de temperaturas elevadas aliada a períodos de estresse hídrico pode acelerar o processo de senescência das folhas verdes, com implicações diretas na diminuição da área foliar.

A análise de variância mostra que a variável produtividade do colmo (PC) foi significativa para as interação FN x DN (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para produtividade de colmos (PC) da cana-de-açúcar (cana planta) em função de doses e fontes de nitrogênio. Município de Jataí, GO, safra 2015/16.

Fonte de variação	QM	
	GL	PC
FN	1	200.66**
DN	3	2767.03**
FN x DNR	3	216.56**
Bloco	2	5,71
Resíduo	14	21.99
CV (%)		4,64

<sup>1</sup> Fontes de Nitrogênio (FN) e Doses (DN), 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, <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

O potencial produtivo da cultura da cana-de-açúcar foi estimado por Waclawowsky et al. (2010) em 380 Mg ha<sup>-1</sup>, porém, na safra de 2016, a produtividade foi de 76,3 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2016), o que mostra uma amplitude de crescimento de aproximadamente 500%. Mesmo para valores menos significativos e que poderiam levar a produtividade a ser considerada alta, como 120 Mg ha<sup>-1</sup>, é necessário que fatores influentes de manejo sejam aperfeiçoados. Uma adubação nitrogenada adequada pode representar 17% de ganho na produtividade (Otto et al., 2016).

Roy et al. (2006) e Franco et al. (2010), avaliando a produtividade da cana planta em relação à adubação nitrogenada, verificaram incremento de produtividade e ainda acrescentam que altas produtividades estão frequentemente associadas a altas doses de N.

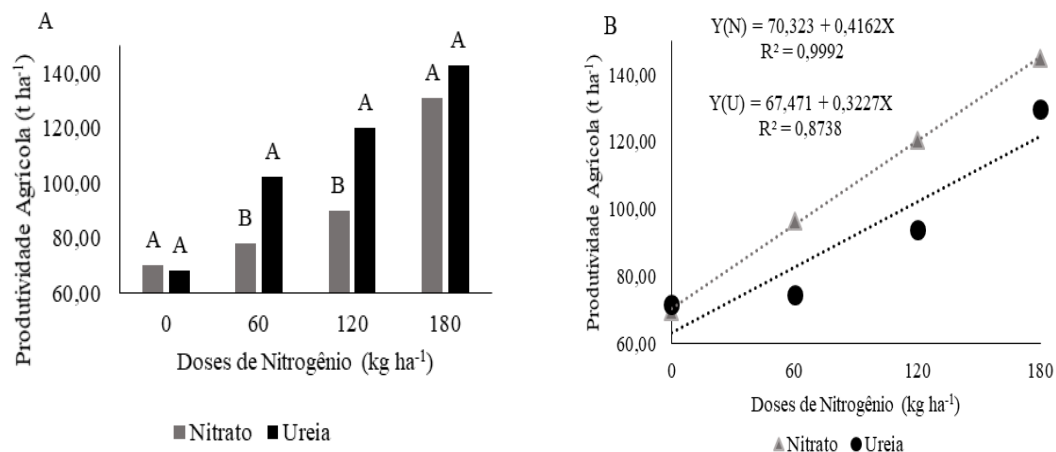
O desdobramento FN x DNR da variável PC é apresentado nas Figuras 6 A e 6 B. As médias para as DNR de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> da FN-nitrato foram de 70,43;



78,42; 90,16 e de 131,06 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As médias para as DNR de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> da FN-ureia foram de 68,45; 102,33; 120,25 e de 142,92 t ha<sup>-1</sup> respectivamente. As doses de 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de nitrato, aplicadas no ciclo precedente, foram superiores estatisticamente, quando comparadas às doses de ureia, o que representa um incremento de 30,48 e 33,36%, respectivamente (Figura 6 A).

Para ambas as fontes, com o aumento das doses aplicadas no ciclo precedente, ocorreu maior desenvolvimento da PC, tendo as DNR da FN-nitrato proporcionado as maiores médias estimadas (Figura 6 B).

A FN-nitrato obteve médias estimadas de 69,48; 96,22; 123,35 e de 144,88 t ha<sup>-1</sup> para as DNR de 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A FN-ureia obteve médias estimadas para as respectivas DNR de de 71,70; 74,60; 93,97 e de 129,78 t ha<sup>-1</sup> (Figura 6 B).



**Figura 6.** Produtividade do colmo da cana-de-açúcar (var. CTC – 4), 6(A) e 6(B) interação fontes x doses de nitrogênio, em função de doses e fontes de N aplicadas no ciclo precedente. Município de Jataí – GO, safra 2015/2016.

A aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia proporcionou incremento na PC de 38,10% quando comparado à dose 120 kg ha<sup>-1</sup>. A dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou acréscimo na PC de 4,0%, quando comparado à dose de 0 kg ha<sup>-1</sup>. A dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> teve um acréscimo na PC de 25,96%, quando comparado à dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 6 B).

A adubação nitrogenada promove aumento da produtividade em cana planta (Fortes et al., 2013; Franco et al., 2010). Com o fim da queima antes da colheita, grandes quantidades de palha, com alta relação C:N, ficam sobre o solo e imobilizam boa parte do N orgânico (Megda et al., 2012), sendo importantes a adição e o aumento

das doses de N mineral para garantir vigor e produtividade da cana soca (Vitti et al., 2011; Fortes et al., 2013, Penatti, 2013).

A FN-nitrato com a DN de 60 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou incremento de 38,77% quando comparado à dose 0 kg ha<sup>-1</sup>. A DN de 120 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou acréscimo na PC de 25,02%, quando comparado à dose de 60 kg ha<sup>-1</sup>. A DN de 180 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou acréscimo na PC de 38,10%, quando comparado à dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 6 B).

Vários trabalhos mostram tendência de aumento nas doses de N para cana soca, e parte das respostas positivas têm sido atribuídas ao uso de variedades mais produtivas e responsivas (Rosseto et al., 2010; Fortes et al., 2013; Penatti, 2013).

Em uma revisão de publicações relacionadas à adubação nitrogenada em cana soca (45 publicações), Otto et al. (2016) constataram que, em 76% dos estudos analisados, houve incrementos na produtividade proporcionados pela adubação nitrogenada, em certos casos com acréscimo superior a 25% na tonelada de colmo por hectare (TCH), comportamento esse atrelado a muitos fatores, como, por exemplo, clima, textura do solo, manejo da adubação e época de corte.

Fortes et al. (2011) obtiveram produtividade máxima com a aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, enquanto na produtividade média de três soqueiras, a dose de N que promoveu maior incremento na tonelada por hectare foi de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N (Fortes et al., 2013).

A cana-de-açúcar cultivada no Brasil apresenta doses relativamente baixas de N de 40-60 kg ha<sup>-1</sup> no plantio e entre 60 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de N após cada corte de cana-de-açúcar (Cantarella & Rosseto, 2010).

Em outros países produtores de cana-de-açúcar, as quantidades de N aplicadas na cultura podem ser até 100% superiores às doses empregadas no Brasil. Na Índia e China, são recomendados 300 kg ha<sup>-1</sup> de N (Roy et al., 2006). Na África do Sul, Austrália, EUA, Guatemala e México, a dose recomendada é de 150 a 200 kg ha<sup>-1</sup> de N (Wood, 1994; Schroeder et al., 2008; Wiedenfeld & Enciso, 2008; Pérez et al., 2008), com obtenção de produtividades similares (Cantarella et al., 2007; Vitti et al., 2007).

No Estado de Goiás, Sousa & Lobato (2004) recomendam, para expectativa de produtividade superior a 120 t ha<sup>-1</sup>, 30 kg ha<sup>-1</sup> no sulco de plantio e de 20 a 60 kg de N em cobertura. Contudo, para cultivos irrigados ainda não se tem uma recomendação

precisa de dose de N no Brasil. Isto demanda que os fatores que interferem na produção e na qualidade da cana-de-açúcar sejam estudados sob diferentes aspectos.

A adubação nitrogenada pode promover aumento da produtividade em ciclo de cana planta, em algumas situações a resposta ao nitrogênio é pequena, e os melhores resultados ocorrem em doses baixas do nitrogênio (Franco et al., 2010; Fortes et al., 2013; Penatti, 2013). Segundo Cantarella et al. (2007), apenas 30% de mais de 70 experimentos com cana planta mostram resposta à aplicação de nitrogênio.

Em cona soca, as respostas à adubação nitrogenadas são mais evidentes, determinando maior vigor das soqueiras e aumento do potencial produtivo da cultura (Vitti & Trivelin, 2011; Penatti, 2013).

Fortes et al. (2013) encontraram em um Latossolo Vermelho distrófico respostas lineares de produtividade de colmos para doses de  $\text{NNH}_4\text{NO}_3$  (0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N). Em outros estudos, com diferentes condições, em solo arenoso (Flórida, EUA), McCray et al. (2014) encontraram respostas quadráticas para doses de ureia superiores à recomendação atual N (202 kg N ha<sup>-1</sup>). Esses autores acrescentam que o efeito da resposta de N na produtividade de colmos pode ser explicado fisiologicamente pelas mudanças no crescimento da planta, no número de perfilhos, na produção de biomassa, conseqüentemente, afetando a quantidade do açúcar armazenado. Bologna-Campbell (2007) e Franco et al. (2010) remetem a resposta da cana planta à adubação nitrogenada a diversos fatores, como tipo de preparo do solo, estoque de N na MO, textura do solo, e também ao histórico de rotação com adubos verdes.

Os resultados obtidos nessas pesquisas contrastam com as curvas de resposta a N obtidas em estudos recentes com cana-de-açúcar em condições de sequeiro, em que as produções máximas foram atingidas com doses de 100 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de N (Vitti et al., 2007; Rossetto et al., 2010).

Vitti et al. (2007), em experimento com soqueira de cana-de-açúcar, avaliando o efeito da aplicação de cinco doses de N (35 até 175 kg ha<sup>-1</sup>), contendo na superfície 14 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de palha (62 kg de N), constataram diferença de 100% na produção de colmos na segunda soca entre a maior dose e a testemunha. Na safra seguinte, esse diferencial na produção foi de 50%, mantendo resposta linear na produção de cana-de-açúcar às doses de N. Esses autores levantam a hipótese de questionamento se não seria necessário aplicar maior dose de N na implantação, para garantir o vigor das socas, com reduzida dose de N nos ciclos agrícolas futuros.

Vitti et al. (2003) avaliaram a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio com doses variando de 0 a 175 kg ha<sup>-1</sup> e observaram resposta linear às doses de N na produção de colmos e que a produção na maior dose foi o dobro em relação à testemunha.

A nutrição inadequada da cultura também pode resultar em reduções na produtividade entre soqueiras, havendo necessidade de reforma do canavial. Normalmente, quando a soqueira atinge produtividade abaixo de 70 t ha<sup>-1</sup>, é indicativo de necessidade de reforma do canavial. Portanto, a nutrição equilibrada com nitrogênio pode auxiliar no aumento da longevidade das soqueiras, diminuindo custos financeiros e impactos ambientais relacionados à operação de preparo do solo e plantio.

#### **4.4 Conclusões**

Aumento da dose de adubação nitrogenada no ciclo precedente proporciona aumento da altura de planta, diâmetro do colmo, área foliar, massa seca do ponteiro e produtividade.

Aos 330 dias após o corte, ocorreram maior altura de planta, maior diâmetro do caule e maior massa seca do ponteiro. A maior área foliar ocorreu aos 250 dias após o plantio.

O nitrato de amônio na dose de 180 kg ha<sup>-1</sup>, aplicado no ciclo precedente, proporciona maior altura de planta, diâmetro do colmo, massa seca do ponteiro e produtividade.

#### **4.5 Referências**

- Arantes, M. T. Potencial produtivo de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro. 65f. 2012. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu, 2012.
- Barnes, A.C. The sugarcane. 2nd ed. Leonard Hill, Ltd., London, 1974.
- 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.
- 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.

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.

Cantarella, H. Avaliação de resposta a N em cana-de-açúcar não adubada por três anos. (Relatório) – Instituto agrônomo centro de solos e recursos ambientais – AGRISUS - Pesquisa Agronômica 719/10, 2012.

Cantarella, H.; Rosseto, R.; Fertilizers for sugarcane In: Cortez, L.B.A(ed.). Sugarcane bioethanol. São Paulo: Blucher, p. 45-422, 2010.

Cantarella, H.; Trivelin, P.C.O.; Vitti, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p.355412.

CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, abril/2017: Disponível: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/boletim\\_cana-4o\\_lev\\_-\\_16-17.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/boletim_cana-4o_lev_-_16-17.pdf) > Acesso em : 30 ago. 2017.

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

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.

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.

Franco, H.C.J.; Otto, R.; Faroni, C.E.; Vitti, A.C.; Oliveira, E. C.A.; Trivelin, P.C.O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. Field Crops Research, v.121, n.1, p.29-41, 2011.

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

Fortes, C.; Faroni, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana planta. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.46, n.3, p.287-293, 2011.

Fortes, C.; Ocheuze Trivelin, P. C.; Vitti, A. C.; Otto, R.; Junqueira Franco, H. C.; Faroni, C.E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, n. 1, p. 88–96, 2013.

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.

Hermann, E.R.; Câmara, G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. *Revista da STAB*, v.17, p.32-34, 1999.

Köppen, W. Köppen climate classification. *Geography about*. Available in: <<http://geography.about.com/library/weekly/aa011700b.htm> >. Access in: 10 Maio. 2016.

Marafon, A. C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma Introdução ao Procedimento Prático Embrapa Tabuleiros Costeiros Aracaju, SE, 2012. 31p.

Meinzer, F.C. & J. Zhu. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C4 CO2 concentrating system, and therefore quantum yield, in *Saccharum* (sugarcane) species. *Journal of Experimental Botany*, 49: 1227-1234, 1998.

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.

Oliveira, S. L. de; Coelho, E. F.; Borges, A. L. Irrigação e fertirrigação. *Frutas do Brasil- Banana Produção*, v.1, 2007.

Oliveira, E.C.A.; Freire, F.J.F.; Oliveira, R.I.; Freire, M.B.G.S.; Simões Neto, D.E.; Silva, S.A.M. Nutrient extraction and export by fully irrigated sugarcane varieties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1343-1342, 2010.

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. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n.3, p.579-588, 2011.

Orlando Filho, J.; Rodella, A.A.; Beltrame, J.A.; Lavorenti, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. *STAB*, v.17, p.39-41, 1999.

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.

Otto, R. Castro, S.A.Q.; Mariano, E.; Castro, S.G.Q.; Franco H.C.J.; Trivelin P. C. O. Nitrogen use efficiency for sugarcane-biofuel production: What is next? *Bioenergy Research*, New York, p. 1-8, 2016.

Penatti, C.P. Adubação da cana-de-açúcar - 30 anos de experiência. 1. ed. Itu, SP, Brazil: Editora Ottoni, 347p. 2013.

Pérez, O.; Hernández, F.; López, A.; Balanà, P.I.; Solares, E.; Maldonado, A. The use of green manures as an alternative to improve productivity and sustainability of the sugarcane crop. *Sugar Journal*, New Orleans, v. 70, p. 14-21, 2008.

Rhein, A. F. L. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de nitrogênio via fertirrigação subsuperficial por gotejamento. (Tese) Universidade estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP. Botucatu–SP. Dezembro, 2012, 117p.

Rossetto, R.; Dias, F.L.F.; Landell, M.G.A.; Cantarella, H.; Tavares, S.; Vitti, A.C.; Perecin, D. N and K fertilization of sugarcane ratoons harvested without burning. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists*, v. 27, p. 1–8, 2010.

Roy, R.N; Finck, A.; Blair, G.J.; Tandon, H.L.S. Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006. 249 p. (FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, 16).

Saleem, M. F.; Ghaffar, 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.

Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; oliveira, J.B.; Coelho, M.R.; Lumberras, J.F.; Cunha, T.J.F. (Ed.). Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

Schroeder, B.L.; Hubert, J.W.; Hubert, C.; Hubert, F.G.; Panitz, J.H.; Wood, A.W.; Woody, P.W. Recognising differences in soil type to guide nutrient inputs on-farm – a case study from Bundaberg. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologist*, Brisbane, v. 29, p. 138-148, 2007.

Silva, N. F. Cultivo da cana-de-açúcar submetida a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial. 2014. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, 2014.

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.

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. (Eds). *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA, 2004. 416 p.

Vitti, A.C.; Trivelin, P.C.O.; Gava, G.J. C.; Penatti, C.P.; Bologna, I.R.; Faroni, C.E.; Franco, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v. 42, n. 2, p. 249–256, 2007.

Vitti, A.C.; Franco, H.C.J.; Trivelin, P.C.O.; Ferreira, D.A.; OttO, R.; Fortes, C.; Faroni, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.46, n.3, p.287-293, 2011.

Wiedenfeld, R.P. Previous crop effects on sugarcane responses to nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*, v.90, p.161-165, 2008.

Wood, C.W.; Reeves, D.W.; Himelrick, D.G. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status and crop yield: a review. *Proceedings of the Agronomy Society New Zealand*, Couterbury, v. 23, p. 1-9, 1994.



## 5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura da cana-de-açúcar foi beneficiada com altas doses de nitrogênio, no ciclo cana planta e cana soca. Maiores doses (120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) do fertilizante nitrogenado, independentemente da fonte, proporcionaram maior crescimento e produtividade.

A recomendação no estado de Goiás para expectativa de produtividade superior a 120 t ha<sup>-1</sup> é de 30 kg ha<sup>-1</sup> no sulco de plantio e de 20 a 60 kg de N em cobertura. Com as doses de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, as médias produtivas foram de 132,07 e 187,20 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, para a fonte ureia, e de 142,00 e 181,66 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para a fonte nitrato de amônio. Houve incremento 31,43% na produtividade quando se compararam as doses de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de ureia; e para a fonte nitrato de amônio, o incremento foi de 27,92% para as respectivas doses.

A cana-de-açúcar cultivada no Brasil apresenta doses relativamente baixas de N, de 40-60 kg ha<sup>-1</sup> no plantio e entre 60 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de N após cada corte de cana-de-açúcar. A cana de primeira soqueira mostrou efeito residual da adubação do ciclo precedente. Com as doses de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de ureia, as médias estimadas foram de 90,16 e 131,50 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, o que representa um incremento de 31,43%. A fonte de nitrato de amônio proporcionou um incremento de 15,86% entre as doses de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>, tendo as médias estimadas sido de 120,24 e 142,91 t ha<sup>-1</sup>. Neste ciclo, o nitrato de amônio proporcionou as maiores produtividades.

Sendo que a produtividade do estado em 2016 foi de 76,3 t ha<sup>-1</sup>, fica evidente que as doses de N influenciam na produtividade da cana planta e cana soca em Latossolo Vermelho distroférrico de Cerrado.