

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

ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELA CULTURA DA CANA-
DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM VINHAÇA EM UM
LATOSSOLO VERMELHO

Autor: Flávio Henrique Ferreira Gomes
Orientador: Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares
Coorientador: Dr. Edson Cabral da Silva
Coorientador: Dr. Antonio Evami Cavalcante Sousa

RIO VERDE - GO
Outubro – 2021

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

ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELA CULTURA DA CANA-
DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM VINHAÇA EM UM
LATOSSOLO VERMELHO

Autor: Flávio Henrique Ferreira Gomes
Orientador: Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares

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

Rio Verde - GO
Outubro – 2021

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

GF589a Gomes, Flávio Henrique Ferreira
ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELA CULTURA DA CANA-DE-
AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM VINHAÇA EM UM LATOSSOLO
VERMELHO / Flávio Henrique Ferreira Gomes;
orientador Frederico Antonio Loureiro Soares; co-
orientador Edson Cabral da Silva. -- Rio Verde, 2021.
63 p.

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

1. Saccharum officinarum L. 2. curva de absorção.
3. extração de nutrientes. 4. exportação de nutriente.
5. potássio. I. Soares, Frederico Antonio Loureiro,
orient. II. Silva, Edson Cabral da, co-orient. III.
Título.

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

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

<input checked="" type="checkbox"/> Tese (doutorado)	<input type="checkbox"/> Artigo científico
<input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado)	<input type="checkbox"/> Capítulo de livro
<input type="checkbox"/> Monografia (especialização)	<input type="checkbox"/> Livro
<input type="checkbox"/> TCC (graduação)	<input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento
<input type="checkbox"/> Produto técnico e educacional - Tipo:	<input type="text"/>
Nome completo do autor: Flávio Henrique Ferreira Gomes	Matrícula: 2017202320140021
Título do trabalho: ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR FERTIRRIGADA COM VINHAÇA EM LIMLATOSSOLO VERMELHO	

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIF Goiano: 10 / 01 / 2022

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

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

Rio Verde 06 / 01 / 2022
Local Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



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

Documentos 103/2021 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

**DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR
FERTIRRIGADA COM VINHAÇA EM UM LATOSSOLO VERMELHO**

Autor: Flávio Henrique Ferreira Gomes
Orientador: Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares

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

APROVADO em, 29 de outubro de 2021.

Prof. Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares (Presidente)
Prof. Dr. Edson Cabral da Silva (Avaliador interno)
Prof. Dr. Nelmício Furtado da Silva (Avaliador externo)
Prof. Dr. Antônio Evami Cavalcante Sousa (Avaliador externo)
Prof. Dr. Vito Marques Vidal (Avaliador interno)

Documento assinado eletronicamente por:

- Edson Cabral da Silva, Edson Cabral da Silva - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 29/10/2021 14:10:28.
- Nelmício Furtado da Silva, Nelmício Furtado da Silva - 2345 - PROFESSORES NA ÁREA DE FORMAÇÃO PEDAGÓGICA DO ENSINO SUPERIOR - Universidade de Rio Verde (01815216000178), em 29/10/2021 13:18:45.
- Vitor Marques Vidal, Vitor Marques Vidal - Professor Colaborador - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 29/10/2021 13:16:56.
- Antonio Evami Cavalcante Sousa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 29/10/2021 13:15:45.
- Frederico Antonio Loureiro Soares, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 29/10/2021 13:13:50.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/10/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 324228
Código de Autenticação: 488fd1948c



DEDICO

A Deus,

Pela vida, saúde e força nos momentos de dificuldades.

OFEREÇO

À minha família,

Aos meus queridos pais, Nerione e Vildamar, por todo amor e confiança que depositaram em mim, e por apesar dos sacrifícios não desistiram de apoiar à minha educação. À minha irmã, Marianne, e em especial, ofereço para a minha esposa Martina e ao meu filho Manuel, por estar ao meu lado, por todo carinho, atenção e compreensão.

"Até mesmo a menor das criaturas pode mudar o rumo do mundo."

Galadriel - O Senhor dos Anéis. Obra de J.R.R.Tolkien

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos, de maneira especial, aos amigos e companheiros de trabalho Alefe Viana Souza Bastos, Vitor Marquez Vidal, Fernando Rodrigues Cabral Filho e Leonardo Rodrigues Dantas e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, pelos incentivos constantes, apoio nos trabalhos em campo, e amizade dispensados ao longo de todo curso de pós-graduação, cuja contribuição através de discussões e troca de experiência foi de grande importância e relevância.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, todo pessoal envolvido (Diretoria, coordenação, secretaria e etc.), pela paciência e apoio desde a matrícula a defesa da tese, ao IFGoiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade e suporte concedido para a realização desse curso de pós-graduação e pelo desenvolvimento deste trabalho.

Aos Drs. Frederico Antônio Loureiro Soares, Marconi Batista Teixeira, Edson Cabral Silva e Antonio Evami Cavalcante Sousa, por todo o apoio, orientação e ensinamentos ao longo da execução deste trabalho e sobretudo pela valiosa demonstração de amizade no decorrer desta caminhada.

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

À Usina CRV Industrial localizada em Carmo do Rio Verde, pela disponibilização de áreas para pesquisa e colaboração na realização das análises tecnológicas da cana-de-açúcar.

BIOGRAFIA DO AUTOR

FLÁVIO HENRIQUE FERREIRA GOMES, filho de Nerione Gomes Rosa e Vildamar Alves Ferreira Gomes, nasceu no dia 06 de outubro de 1988, na cidade de Santa Helena de Goiás, Goiás. No mês de fevereiro de 2007, iniciou no curso de Engenharia Agrícola na Universidade Estadual de Goiás – Campus Santa Helena de Goiás – GO, finalizando em dezembro de 2011. Em agosto de 2015, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus de Rio Verde - GO, sob a orientação do Professor Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares, concluindo em agosto de 2017. Em setembro de 2017 iniciou no curso de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, sob orientação do Professor Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares, concluindo em outubro de 2021.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	x
RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	14
1. INTRODUÇÃO	16
REFERÊNCIAS.....	18
2. OBJETIVOS	22
2.1 Objetivo Geral.....	22
2.2 Objetivos Específicos.....	22
3. CAPÍTULO I	23
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.3.1 Acúmulo, Retorno e Exportação.....	31
3.3.2 Ordem de acúmulo de nutrientes	34
3.3.3 Participação dos nutrientes.....	35
3.4 CONCLUSÃO	38
3.5 AGRADECIMENTOS.....	38
3.6 REFERÊNCIAS	38
4.0 CAPÍTULO II.....	43
4.1 INTRODUÇÃO	44
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	46
4.3 RESULTADO E DISCUSSÃO	50
4.3.1 Ciclo de cana-planta.....	50
4.3.2 Ciclo de cana-soca	53
4.4 CONCLUSÃO	57
4.5 AGRADECIMENTOS.....	58
4.6 REFERÊNCIAS	58
5.0 CONCLUSÃO GERAL.....	63

ÍNDICE DE TABELAS

Página

CAPÍTULO I		
Tabela 1.	Resultado da análise química e física do solo, na profundidade de 0-0,25 m, da Fazenda Boa Sorte. Usina CRV Industrial, município de Carmo do Rio Verde, GO, 2017.....	26
Tabela 2.	Caracterização química da vinhaça aplicada na cana-de-açúcar e quantidade de nutrientes fornecidos por manejo. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.....	27
Tabela 3.	Resumo da análise de variância para as variáveis acúmulo, retorno e exportação de nutrientes da parte aérea e raiz da cultura da cana-de-açúcar (var. RB86-7515) submetida a diferentes manejos de fertirrigação, no ciclo de cana-planta e no ciclo de cana-soca. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.....	29
Tabela 4.	Acúmulo, retorno e exportação de nutrientes da parte aérea e raiz da cultura da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-planta e no ciclo de cana-soca, submetida a diferentes manejos de fertirrigação com vinhaça. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.....	33
CAPÍTULO II		
Tabela 1.	Resultado da análise química e física do solo, na profundidade de 0-0,25 m, da Fazenda Boa Sorte. Usina CRV Industrial, município de Carmo do Rio Verde, GO, 2017.....	45
Tabela 2.	Caracterização química da vinhaça aplicada na cana-de-açúcar e quantidade de nutrientes fornecidos por manejo. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.....	47
Tabela 3.	Resumo da análise de variância para as variáveis de acúmulo (N e K) e produtividade de colmos da planta de cana-de-açúcar (var. RB86-7515) submetida a diferentes manejos de fertirrigação e	49

	épocas de avaliação, no ciclo de cana-planta. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2017/2018.....	
Tabela 4.	Resumo da análise de variância para as variáveis de acúmulo (N e K) e produtividade de colmos da planta de cana-de-açúcar (var. RB86-7515) submetida a diferentes manejos de fertirrigação e épocas de avaliação, no ciclo de cana de cana-soca. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2018/2019.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO I		
Figura 1.	Precipitação pluvial acumulada registrada durante o período de condução do experimento e indicação da aplicação dos manejos e colheitas. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.....	26
Figura 2.	Participação dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) no acúmulo de nutrientes da parte aérea e raiz da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no manejo de 1x40 mm e no manejo 2x20 mm de vinhaça, no ciclo de cana-planta (A), no manejo de 1x40 mm e no manejo de 1x20 mm de vinhaça no ciclo de cana-soca (B). Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.....	35
Figura 3.	Participação (%) no retorno e exportação de nutrientes no acúmulo de nutrientes na parte aérea e raiz da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no manejo de fertirrigação com vinhaça de 1x40 mm (A) e 2x20 mm (B), no ciclo planta-cana, no manejo da fertirrigação com vinhaça 1x40 mm (C) e 1x20 mm (D), no ciclo de cana-soca. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.....	37
CAPÍTULO II		
Figura 1.	Precipitação pluvial acumulada registrada durante o período de condução do experimento e indicação da aplicação dos manejos e colheitas. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.....	46
Figura 2.	Acúmulo de nitrogênio (A e B), acúmulo de potássio (C e D) da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-planta, em função das diferentes partes da planta (A e C) e épocas de avaliação (B e D). Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2017/2018.....	52

Figura 3.	Produtividade de colmos da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-planta, em função das épocas de avaliação. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2017/2018.....	53
Figura 4.	Acúmulo de nitrogênio em plantas de cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-soca, em função das partes da planta (A) e épocas de avaliação (B). Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2018/2019.....	54
Figura 5.	Acúmulo de potássio em plantas de cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-soca, em função dos manejos (A), das partes da planta (C) e épocas de avaliação (B e D). Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2018/2019.....	56
Figura 6.	Produtividade de colmos da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-soca, em função das épocas de avaliação. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2017/2018.....	57

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Al	Alumínio	mmol _c dm ⁻³
B	Boro	
Ca	Cálcio	mmol _c dm ⁻³
Cl ₂	Dicloro	
cm	Centímetros	
CO ₂	Dióxido de Carbono	
CTC	Capacidade de troca catiônica	
CV	Coefficiente de variação	%
DAC	Dias após a colheita	
DAP	Dias após o plantio	
DAC	Diâmetro de colmos	mm
Fe	Ferro	
FV	Fonte de variação	
GO	Goiás	
GL	Grau de liberdade	
ha	Hectare	
H ₂ O	Água	
H+Al	Acidez Potencial	mmol _c dm ⁻³
K	Potássio	mmol _c dm ⁻³
m	Metro	
Mg	Magnésio	mmol _c dm ⁻³
mm	Milímetro	
Mn	Manganês	
MO	Matéria Orgânica	g kg ⁻¹
MSC	Massa Seca do Colmo	kg
MSFV	Massa Seca das Folhas Verde	kg
MSPT	Massa Seca do Ponteiro	kg
MSTPA	Massa Seca Total da Parte Aérea	kg
N	Nitrogênio	
P	Fosforo	
pH	Potencial Hidrogeniônico	
PC	Produtividade de Colmos	t ha ⁻¹
QM	Quadrado Médio	
S	Enxofre	mmol _c dm ⁻³
t	Tonelada	

U	Ureia	
V	Saturação por Bases	%
var	Variedade	
Zn	Zinco	

RESUMO

GOMES, FLÁVIO HENRIQUE FERREIRA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, outubro de 2021. **Absorção de nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça em um Latossolo Vermelho.** Orientador: Frederico Antonio Loureiro Soares. Coorientador: Edson Cabral da Silva. Coorientador: Antonio Evami Cavalcante Sousa

A fertirrigação consiste na aplicação de fertilizantes solúveis através do sistema de irrigação, tornando-se uma prática comum na agricultura irrigada moderna. Objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos de diferentes manejos de fertirrigação com vinhaça na produtividade de colmos, no acúmulo, na exportação e no retorno dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-planta e no ciclo de cana-soca, em um Latossolo Vermelho eutrófico de Cerrado. O estudo foi conduzido em condições de campo, na Fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde - GO. O experimento foi conduzido, em condições de campo, durante dois ciclos de cultivo consecutivos, utilizando-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. Os fatores avaliados constituíram de dois manejos de fertirrigação com lâminas de vinhaça (1x40 mm e 2x20 mm, no ciclo de cana-planta e 1x40 mm e 1x20 mm, no ciclo cana-soca), seis nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) da parte aérea e raiz da cana-de-açúcar, duas partes da planta (folhas e colmos) e cinco épocas de avaliação no ciclo de cana-planta (75, 160, 180, 250 e 300 DAP – dias após o plantio) e quatro épocas de avaliação no ciclo de cana-soca (100, 170, 240 e 330 DAC – dias após o 1º corte). No ciclo de cana-planta,

o manejo de fertirrigação de 2x20 mm de vinhaça promoveu valores superiores de acúmulo, retorno e exportação de K em comparação ao manejo de fertirrigação de 1x40 mm de vinhaça. No ciclo de cana-soca, o manejo de fertirrigação de 1x40 mm de vinhaça promoveu maior acúmulo, retorno e exportação de K, em comparação com manejo de fertirrigação de 1x20 mm de vinhaça. As folhas de cana-de-açúcar (var. RB86-7515) tendem a acumular quantidade de N superior em comparação aos colmos no início do desenvolvimento da planta, em seguida, esse comportamento se inverte, tornando o colmo a parte da planta com maior acúmulo de N até o momento da colheita. Para a cana-de-açúcar (var. RB86-7515), verificou-se a produtividade de colmos de 93,4 e 114,0 t ha⁻¹, no ciclo de cana-planta e no ciclo de cana-soca, respectivamente.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* L., curva de absorção, extração de nutrientes, exportação de nutriente, potássio.

ABSTRACT

GOMES, FLÁVIO HENRIQUE FERREIRA. Federal Institute Goiano – Campus Rio Verde – GO, october of 2017. **Nutrient absorption by sugarcane fertigated with vinasse in the cerrado in a red Oxisol.** Advisor: Frederico Antonio Loureiro Soares. Co-advisor: Edson Cabral da Silva. Co-advisor: Antonio Evami Cavalcante Sousa.

Fertigation consists of soluble fertilizers application through the irrigation system, becoming a common practice in modern irrigated agriculture. This work aimed to evaluate the effects of different fertigation managements with vinasse on stalk yield, accumulation, export and return of macronutrients nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulfur (S) in sugarcane (var. RB86-7515), in the cane-plant cycle and in the 1st ratoon cycle, in a Cerrado Red Oxisol. The study was conducted under field conditions, in the farm Boa Sorte, municipality of Carmo do Rio Verde - GO, using the experimental design of randomized blocks with three replications. The evaluated factors consisted of two fertigation managements with vinasse (1x40 mm and 2x20 mm, in the cane-plant cycle and 1x40 mm and 1x20 mm, in the 1st ratoon cycle), six nutrients (N, P, K, Ca, Mg and S) of sugarcane aerial and root part, two plant parts (leaves and stalks) and five evaluation times in the plant-cane cycle (75, 160, 180, 250 and 300 DAP – days after planting) and four evaluation times in the 1st ratoon cane cycle (100, 170, 240 and 330 DAC – days after the 1st cut). In the cane-plant cycle, the fertigation management of 2x20 mm of vinasse promoted the accumulation of 769.42 kg ha⁻¹ of K, the return of 176.03 kg ha⁻¹ of K and the export of 593.39 kg ha⁻¹ of K, higher values compared to the fertigation management of 1x40 mm of vinasse. In the first

ratoon cycle, the fertigation management of 1x40 mm of vinasse promoted the accumulation of 650.73 kg ha⁻¹ of K, the return of 159.17 kg ha⁻¹ of K and the exportation of 491.57 kg ha⁻¹ of K, higher values compared to fertigation management of 1x20 mm vinasse. Sugarcane leaves (var. RB86-7515) tend to accumulate a higher amount of N compared to stalks up to 160 DAP for the cane plant cycle and up to 100 DAC for the 1st ratoon cycle. This behavior is reversed after this period, making the stalk the part of the plant with the greatest N accumulation until harvest time. For sugarcane (var. RB86-7515), there was a stalk productivity of 93.4 and 114.0 t ha⁻¹, in the plant cane cycle and in the 1st ratoon cane cycle, respectively.

Key words: *Saccharum officinarum* L., absorption curve, nutrient extraction, nutrient export, potassium.

1. INTRODUÇÃO

A partir do Brasil colônia até os tempos atuais a cultura da cana-de-açúcar se expandiu pelo território nacional, sendo utilizada na produção de açúcar para o consumo interno e exportação, adquiriu grande importância socioeconômica, pela grande demanda por bioenergia, produção de combustível limpo e renovável, substituindo os combustíveis derivados do petróleo e gerando empregos para a população e desenvolvimento para cidades. Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e seus derivados, açúcar e álcool.

A área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2017/18 será de aproximadamente 8.738,6 mil hectares, distribuídas em todos estados produtores. São Paulo permanece como o maior produtor com 52,1% (4.553,6 mil hectares) da área plantada, seguido por Goiás com 10,5% (919,3 mil hectares), Minas Gerais com 9,3% (818,1 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 7,6% (665,4 mil hectares), Paraná com 6,8% (597,3 mil hectares) e Alagoas com 3,5% (307,4 mil hectares). Estes seis estados são responsáveis por 89,9% da produção nacional. Os demais estados produtores possuem áreas menores, com representações abaixo de 3,0% (CONAB, 2017).

Os resultados do Zoneamento Agroecológico da cana-de-açúcar (MANZATTO et al. 2009) mostraram a disponibilidade de 64,7 milhões de hectares de áreas aptas à expansão do cultivo com cana-de-açúcar, sendo que 19,3 milhões de hectares foram considerados com alto potencial produtivo, 41,6 milhões de hectares como médio e 5 milhões de hectares como de baixo potencial para o cultivo. A região Centro-oeste apresenta o maior percentual de terras aptas à expansão do cultivo com cana-de-açúcar com 45% do total estimado, seguida das regiões Sudeste 34,5%, Sul 11,2%, Nordeste 7,6% e pelo Estado do Tocantins na Região Norte, com 1,7% (MARIN e NASSIF, 2013).

Além disso, compromissos internacionais para utilização de fontes renováveis de energia e redução das emissões de gases do efeito estufa deverão promover, nos próximos anos, aumento considerável na área plantada com cana-de-açúcar no Brasil visando a produção de etanol (OTTO et al. 2010). Com a crescente demanda, atualmente, por recursos energéticos substitutos do petróleo, a cultura canavieira está em plena expansão no Brasil, rumo a regiões, como Goiás, Triângulo Mineiro, Mato Grosso do Sul e oeste do estado de São Paulo (GUIMARÃES, 2011).

Para que exista a produção de etanol suficiente para suprir, primeiramente, necessidade nacional, e posteriormente exportação desse combustível, tecnologias de cultivo devem ser adotadas para melhorar a produtividade. A vinhaça, que é o resíduo final da destilação do vinho da fermentação para se obter o álcool (CHIEPPE JÚNIOR, 2011), vem sendo utilizada para o fornecimento de nutrientes a cana-de-açúcar, visando maior produtividade da cultura. Para verificar incrementos na produção da cana-de-açúcar, com a aplicação de vinhaça, vários trabalhos vêm sendo realizados (OLIVEIRA et al. 2009; BARBOSA et al. 2013; CARVALHO et al. 2013; SILVA et al. 2014). A aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar pode substituir a adubação mineral, no ciclo de cana-plana e cana-soca (FRANCO et al. 2008), desde que não seja aplicado em doses excessivas.

Dentre os meios para o uso eficiente da vinhaça, está a fertirrigação, que consiste na aplicação de fertilizantes solúveis através do sistema de irrigação, tornando-se uma prática comum na agricultura irrigada moderna (HASSANLI et al. 2010; MEDEIROS et al. 2012; PEREIRA et al. 2016). Em regiões como centro-oeste, em que a precipitação se concentra em cinco meses (novembro a abril), a capacidade produtiva da cultura torna-se comprometida, bem como a habilidade da planta em absorver de forma eficiente água e nutrientes.

A demanda por nutrientes é impulsionada pelas exigências metabólicas das plantas, ocasionando no controle sobre as quantidades de nutrientes a serem absorvidas pelas células radiculares (GREGORY, 2006). De modo geral, pode-se dizer que a captação de nutrientes pela planta é determinada pela assimilação de nutrientes existentes no solo, pelo suprimento desses nutrientes às superfícies radiculares dos vegetais e pela sua capacidade de absorção de substâncias, portanto, um fator quimicamente importante para a nutrição de plantas é a troca de cátions, pois é uma propriedade que permite aos solos

reter diversos elementos em forma facilmente disponível às plantas, podendo influenciar a função dos íons e o desenvolvimento fisiológico, alterando o valor nutritivo de uma planta (EPSTEIN e BLOOM, 2006).

A quantidade de nutrientes extraídos do solo pelas plantas varia entre variedades, ciclo de cultivo, manejo do solo e disponibilidade de nutrientes (CEOTTO e CASTELLI, 2002), tornando necessário novos estudos que identifiquem a interação desses fatores, para correta recomendação de variedades e métodos de cultivo nos diferentes ambientes de produção (OLIVEIRA et al. 2010).

Medidas de taxa de crescimento e alocação de nutrientes durante o desenvolvimento fenológico da cana-de-açúcar contribuem para o entendimento da capacidade produtiva das novas variedades nos diferentes ambientes das unidades sucroalcooleiras (OLIVEIRA et al. 2011).

Nesse contexto, é fundamental o desenvolvimento de manejos adequados da fertirrigação com vinhaça que visem ao melhor aproveitamento dos nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar. As seguintes hipóteses foram formuladas i) a cana-de-açúcar aproveitará melhor os nutrientes fornecidos pela vinhaça, com aumento no desenvolvimento e na produtividade, quando a fertirrigação for realizada em dois períodos ii) é possível estabelecer a melhor época para se realizar a fertirrigação com vinhaça, para cana-planta e cana-soca.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, R. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça via irrigação por gotejamento subsuperficial em três ciclos de cana-soca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 588–594, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000600003>>. Acesso em: 27 de setembro de 2021.

CARVALHO, J. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M. P. Produtividade de cana soca sem queima em função do uso de gesso e vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 1-9, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000100001>>. Acesso em: 27 de setembro de 2021.

- CEOTTO, E. & CASTELLI, F. Radiation-use efficiency in fluecured tobacco (*Nicotiana tabaccum* L.): Response to nitrogen supply, climatic variability and sink limitation. **Field Crops Research**, v. 74, n. 2-3, p. 117-130, 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00201-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00201-5)>. Acesso em: 27 de setembro de 2021.
- CHIEPPE JÚNIOR, J. B.; Gestão de Resíduos. João Baptista Chieppe Júnior. – Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 48 p. Disponível em: <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_prd_industr/tec_acucar_alcool/161012_gest_resid.pdf> Acesso em: 06 março. 2018.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar 2017/2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_08_09_08_38_cana_dezembro_novo.pdf> Acesso em: 06 março. 2018.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2006. 402 p.
- FRANCO, A.; MARQUES, M, O.; MELO, W. J. Sugarcane grown in an oxisol amended with sewage sludge and vinasse: Nitrogen contents in soil and plant. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 4, p. 408-414, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000400013>>. Acesso em: 25 de setembro de 2021.
- GREGORY, P. J. **Plant roots**: growth, activity and interaction with soils. Oxford: Blackwell. 2006. p. 318.
- GUIMARÃES, A. C. R. **Caracterização de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) submetidas a déficit hídrico**. 2011. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-12092011-155210/pt-br.php>>. Acesso em: 15 de setembro de 2021.
- HASSANLI, A. M.; AHMADIRAD, S.; BEECHAM, S. Evaluation of the influence methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 2, p. 357-362, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.10.010>>. Acesso em: 14 de setembro de 2021.
- MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos,

2009. 55p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/579169/zoneamento-agroecologico-da-cana-de-acucar-expandir-a-producao-preservar-a-vida-garantir-o-futuro>>. Acesso em: 28 de agosto de 2021.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 232–239, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200015>>. Acesso em: 02 de agosto de 2021.

MEDEIROS, P. R. F.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F. Eficiência do uso da água e de fertilizantes no manejo de fertirrigação no cultivo do tomateiro sob condições de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 2, p. 344-351, 2012. Disponível em: <<http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=v7i2a1563>>. Acesso em: 02 de agosto de 2021.

OLIVEIRA, E. L.; ANDRADE, L. A. B.; FARIA, M. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; MORAIS, A. R. Uso de vinhaça de alambique e nitrogênio em cana-de-acucar irrigada e não irrigada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1398-1403, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001100005>>. Acesso em: 26 de julho de 2021.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E. SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.34, p.1343-1352, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400031>>. Acesso em: 11 de agosto de 2021.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300002>>. Acesso em: 02 de agosto de 2021.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1137-1146, 2010.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400013>>. Acesso em: 24 de junho de 2021.

PEREIRA, K. T. O.; OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, A. L. G.; DANTAS, R. P.; OLIVEIRA, M. K. T.; COSTA, J. P. B. M. Qualidade de mudas de moringa sob diferentes níveis de nutrientes aplicados via fertirrigação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 497-504, 2016. Disponível em: <<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1038>>. Acesso em: 22 de junho de 2021.

SILVA, A. P. M.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, F. A. R. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 38-43, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100006>>. Acesso em: 02 de agosto de 2021.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos de diferentes manejos de fertirrigação com vinhaça na produtividade de colmos, no acúmulo, na exportação e no retorno dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-planta e no ciclo de cana-soca, em um Latossolo Vermelho eutrófico de Cerrado.

2.2 Objetivos Específicos

- Quantificar a extração, a exportação (colmos) e o retorno ao solo (folhas e raiz) dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) pela cana-de-açúcar, em função de diferentes manejos de fertirrigação com vinhaça, no ciclo de cana-planta e no ciclo de cana-soca, em um Latossolo Vermelho eutrófico de Cerrado;

- Avaliar a influência de diferentes manejos de fertirrigação com vinhaça na absorção de nutrientes em diferentes partes da planta (colmo e folhas) ao longo do desenvolvimento da cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta e no ciclo cana-soca, em um Latossolo Vermelho eutrófico de Cerrado;

3. CAPÍTULO I

(Normas de acordo com o periódico Ciência Rural)

ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES EM CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA À FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO

Resumo: A fertirrigação realizada nos meses de seca, visa mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico em cana-de-açúcar, fornecendo água e nutrientes. Objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos de diferentes manejos de fertirrigação com vinhaça e dos macronutrientes da parte aérea e raiz da cana-de-açúcar, no acúmulo, retorno e exportação de N, P, K, Ca, Mg e S, nos ciclos de cana-planta e de cana-soca, cultivada em um Latossolo Vermelho eutrófico de cerrado. O experimento foi conduzido, em condições de campo, utilizando o delineamento experimental de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Os fatores avaliados constituíram de dois manejos de fertirrigação com lâminas de vinhaça (1x40 mm e 2x20 mm, no ciclo de cana-planta e 1x40 mm e 1x20 mm, no ciclo de cana-soca) e seis nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) da parte aérea e raiz da cana-de-açúcar. No ciclo de cana-planta, o manejo de fertirrigação de 2x20 mm de vinhaça promoveu o acúmulo de 769,42 kg ha⁻¹ de K, o retorno de 176,03 kg ha⁻¹ de K e a exportação de 593,39 kg ha⁻¹ de K, valores superiores em comparação ao manejo de fertirrigação de 1x40 mm de vinhaça. No ciclo de cana-soca, o manejo de fertirrigação de 1x40 mm de vinhaça promoveu o acúmulo de 650,73 kg ha⁻¹ de K, o retorno de 159,17 kg ha⁻¹ de K e a exportação 491,57 kg ha⁻¹ de K, valores superiores em comparação com manejo de fertirrigação de 1x20 mm de vinhaça. O acúmulo de

macronutrientes na cana-de-açúcar seguiu a ordem decrescente: $K > N > Ca > Mg = S = P$. De 54,0 a 80,0 % do total de macronutrientes acumulados na cana-de-açúcar, foram exportados no colmo na colheita, sendo o K o nutriente mais exportado.

Palavras-chave: *Saccharum* spp, Adubação potássica, Reciclagem de nutrientes, Extração de nutrientes, Exportação de nutrientes.

ACCUMULATION OF MACRONUTRIENTS IN SUGARCANE SUBMITTED TO FERTIGATION WITH VINASSE IN AN OXISOL UNDER SAVANNAH CONDITIONS

Abstract: Fertigation carried out in the dry months aims to mitigate the negative effects of water deficit in sugarcane, providing water and nutrients. The objective of this study was to evaluate the effects of different fertigation management with vinasse and macronutrients in the aerial part and root of sugarcane, in the accumulation, return and export of N, P, K, Ca, Mg and S, in cycles of plant-cane and first ratoon, grown in an Oxisol under savannah conditions. The experiment was conducted under field conditions and the experimental design was a randomized block in split plot, with three replicates. The evaluated factors consisted of two fertigation management with vinasse levels (1x40 mm and 2x20 mm, in the cane-plant cycle and 1x40 mm and 1x20 mm, in the first ratoon cycle) and six nutrients (N, P, K, Ca, Mg and S) of the aerial part and root of sugarcane. In the plant-cane cycle, the fertigation management of 2x20 mm vinasse promoted the accumulation of 769.42 kg ha⁻¹ of K, the return of 176.03 kg ha⁻¹ of K and the export of 593.39 kg ha⁻¹ of K, higher values compared to fertigation management of 1x40 mm vinasse. In the first ratoon cycle, the management of fertigation of 1x40 mm of vinasse promoted the accumulation of 650.73 kg ha⁻¹ of K, the return of 159.17 kg ha⁻¹ of K and the export of 491.57 kg ha⁻¹ of K, higher values compared to fertigation management of 1x20 mm vinasse. The accumulation of macronutrients in sugarcane followed the decreasing order: $K > N > Ca > Mg = S = P$. From 54.0 to 80.0% of the total macronutrients accumulated in sugarcane were exported in the stalk at harvest, with K being the most exported nutrient.

Key words: *Saccharum* spp., Potassium fertilization, Nutrient recycling, Nutrient extraction, Nutrient export.

3.1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma planta muito versátil, podendo ser aproveitada de várias formas, *in natura* para alimentação animal ou com a extração do caldo do colmo para o consumo *in natura* (garapa), fabricação de doces (rapadura, melado), aguardente (cachaça), açúcar e álcool. Em 2018 o agronegócio brasileiro promoveu a exportação de 7,4 bilhões de dólares em produtos do complexo sucroalcooleiro, representando 7,3% do total de exportações (AGROSTAT, 2019).

No decorrer de seu processamento dentro da indústria, vários resíduos são gerados, a vinhaça, o bagaço e a torta de filtro. Esses resíduos podem ser aproveitados na geração de energia (queima do bagaço) ou servindo como adubo (vinhaça e torta de filtro) no cultivo de plantas.

Quando a vinhaça é aplicada no solo ocorre a melhoria em sua fertilidade, porém, as quantidades não devem ultrapassar sua capacidade de retenção de íons. Em abril de 2005, a CETESB publicou a portaria nº 01/05, reeditada em dezembro de 2006, através da Norma Técnica P4.231, definindo critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação de vinhaça no solo. Esta regulamentação determina que a dosagem para a aplicação de vinhaça para enriquecimento do solo agrícola deve ser calculada considerando a fertilidade do solo, a concentração de K_2O na vinhaça e a extração média desse elemento pela cultura, de acordo com a Cetesb (2015), a extração média da cultura da cana-de-açúcar é de 185 kg ha^{-1} de K_2O .

O estado de Goiás é o segundo maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, o estado se caracteriza pelo regime pluviométrico irregular, em que a precipitação se concentra em cinco meses do ano (novembro a abril), a capacidade produtiva da cultura se torna comprometida, bem como a habilidade da planta em absorver de forma eficiente água e nutrientes. De acordo com Oliveira et al. (2011), a absorção de nutrientes pelas plantas, como a cana-de-açúcar, é limitada por fatores de solo, temperatura, radiação e precipitação.

Atualmente, não existe a padronização no manejo da fertirrigação com vinhaça na cana-de-açúcar, algumas agroindústrias promovem a aplicação alguns dias após o corte da cana-de-açúcar, ou promovem a aplicação no momento de estiagem das chuvas, ou fazem visando maior eficiência logística, ou em função da produção do resíduo. A fertirrigação realizada no momento da seca, visa mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico em cana-de-açúcar, fornecendo água e nutrientes. Essa prática é chamada de irrigação de salvamento, que consiste

em aplicar lâminas de 30 a 80 mm, nos meses que não ocorrem precipitação pluvial (PEREIRA et al. 2015; FERNANDEZ et al. 2017).

Visando o desenvolvimento de manejos adequados da fertirrigação com vinhaça que visem ao melhor aproveitamento dos nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar. A seguinte hipótese foi formulada: i) a cultura da cana-de-açúcar aproveita melhor os nutrientes fornecidos pela vinhaça, quando a fertirrigação é realizada em dois períodos.

Este estudo objetivou avaliar os efeitos de diferentes manejos de fertirrigação com vinhaça e dos macronutrientes da parte aérea e raiz da cana-de-açúcar, no acúmulo, retorno e exportação de N, P, K, Ca, Mg e S), nos ciclos de cana-planta e de cana-soca, cultivada em um Latossolo Vermelho eutrófico de cerrado.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido por dois ciclos consecutivos de cultivo da cana-de-açúcar, ciclo de cana-planta e ciclo de cana-soca, ano safra 2017/2018 e 2018/2019, em área da Fazenda Boa Sorte, no município de Carmo do Rio Verde, região Centro-Norte do estado de Goiás - GO. As coordenadas geográficas do local são 15°20'26"S e 49°44'24"W, com altitude média de 630 metros. Segundo Alvares et al. (2013), o clima do local é do tipo Aw, tropical, com chuva nos meses de outubro a maio, e seca nos meses de junho a setembro. A precipitação pluvial ocorrida durante o período da realização do experimento foi de 1381 mm na safra 2017/2018 e de 1459 mm na safra 2018/2019, conforme Figura 1.

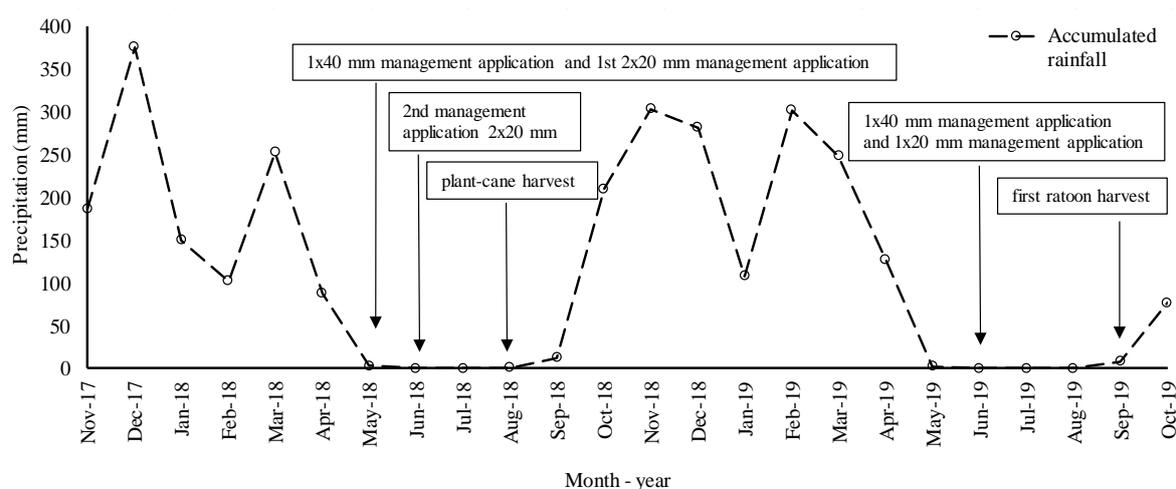


Figura 1. Precipitação pluvial acumulada registrada durante o período de condução do experimento e indicação da aplicação dos manejos e colheitas. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, fase Cerrado (SANTOS et al. 2018), com textura franco argiloso arenoso. Antes do plantio foi realizada uma amostragem de solo na profundidade de 0-0,25 m para determinação das características químicas e físicas, analisadas de acordo com Teixeira et al. (2017), cujos resultados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da análise química e física do solo, na profundidade de 0-0,25 m, da Fazenda Boa Sorte. Usina CRV Industrial, município de Carmo do Rio Verde, GO, 2017.

M.O g dm ⁻³	Ca -----	Mg -----	Al cmolc dm ⁻³ -----	H+Al -----	P -----	K mg dm ⁻³ -----	S -----	V %	CTC cmolc dm ⁻³
40,0	1,8	1,3	0,0	3,2	104,7	326,5	34,0	54,0	7,2
Ca+Mg cmolc dm ⁻³	Ca/Mg ----- % -----	m -----	SB cmolc dm ⁻³	pH CaCl ₂ -	Cu -----	Zn -----	B mg dm ⁻³ -----	Fe -----	Mn -----
3,75	1,4	0,0	3,9	5,0	0,99	0,87	0,2	20,0	6,51
Argila			Areia			Silte			
----- g kg ⁻¹ -----									
575,0			325,0			100,0			

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2 x 6, com três repetições. Os fatores avaliados constituíram de dois manejos de lâmina de fertirrigação com vinhaça (1x40 mm = uma aplicação com lâmina de 40 mm de vinhaça; 2x20 mm = duas aplicações com lâmina de 20 mm de vinhaça), no ciclo de cana-planta e (1x40 mm = uma aplicação com lâmina de 40 mm de vinhaça; 1x20 mm = uma aplicação com lâmina de 20 mm de vinhaça), no ciclo de cana-soca e seis nutrientes na planta de cana-de-açúcar (N, P, K, Ca, Mg e S).

Esse volume de vinhaça aplicada também é uma prática comum usada por agricultores que cultivam cana-de-açúcar na região do cerrado. A Usina CRV Industrial adota o manejo de uma aplicação única com lâmina de 40 mm de vinhaça, a partir disso, no primeiro ano foi proposto novo manejo com o parcelamento dessa lâmina em duas aplicações de vinhaça. No segundo ano, manteve-se o manejo de aplicação única com a lâmina de 40 mm de vinhaça, sendo proposto aplicação única de 20 mm de vinhaça.

O preparo do solo consistiu em uma subsolagem e gradagem, que de acordo com o resultado da análise do solo procedeu a correção do pH e a fertilidade, sendo aplicado 2,36 t ha⁻¹ de calcário, 2,05 t ha⁻¹ de gesso agrícola. No plantio, foi realizada a adubação no fundo do sulco com aplicação de 524 kg ha⁻¹ do formulado 05-25-25, seguindo os padrões de adubação da Usina CRV Industrial, posteriormente em cobertura foram aplicados 147 kg ha⁻¹ de ureia.

No ciclo cana-soca, aos 30 dias após a colheita da cana-planta (DAC), foi realizada a adubação com 600 kg ha⁻¹ do formulado 16-06-20 na linha de plantio.

Utilizou-se a variedade de cana-de-açúcar RB86-7515, desenvolvida pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), que tem como destaques a tolerância à seca e boa brotação de soqueira, mesmo colhida crua; alto teor de sacarose, crescimento rápido com alta produtividade.

O plantio foi realizado em 20 de novembro de 2017, com plantio convencional reduzido (semimecanizado) com distribuição mecanizada e em seguida com ajuda manual ocorreram à picotagem da cana, o plantio e posteriormente os sulcos foram tampados. As parcelas experimentais apresentavam 100 metros de comprimento com 72 metros de largura, compostas por 48 linhas de plantio, espaçadas 1,5 metros. Para as coletas da cana-de-açúcar, considerou-se apenas a área útil central de 2.520 m² de cada parcela.

Os tratos culturais referentes ao uso de herbicidas, inseticidas, fungicidas e demais produtos relacionados com o controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram utilizados conforme a necessidade e avaliação de infestação, e de acordo com a experiência da Usina CRV Industrial.

A área experimental foi fertirrigada com vinhaça conforme os tratamentos, cujas características químicas da vinhaça utilizada estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química da vinhaça aplicada na cana-de-açúcar e quantidade de nutrientes fornecidos por manejo. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.

Descrição	Época	N	P	K ₂ O	Ca	Mg	SO ₄	Cu	Fe	Mn	Zn
	dias	g L ⁻¹						mg L ⁻¹			
Aplicação única do manejo 1x40 mm e a 1ª aplicação do manejo 2x20 mm	169 DAP	0,28	0,11	1976,0	0,53	0,29	1,28	0,20	170,0	3,4	0,53
2ª aplicação do manejo 2x20 mm	203 DAP	0,46	0,06	1686,0	0,49	0,43	1,82	0,31	83,0	2,8	1,00
Aplicação única do manejo 1x40 mm e do manejo 1x20 mm	290 DAC	0,53	0,01	1301,0	0,69	0,42	7,38	6,88	43,0	2,4	1,21
Manejos (mm)	Macronutrientes fornecidos pela vinhaça										
	N	P	K		Ca	Mg	S				
kg ha ⁻¹											
1x40	0,11	0,04	655,24		0,21	0,12	0,17				
2x20	0,15	0,03	607,16		0,20	0,14	0,21				
1x40	0,21	0,00	431,41		0,28	0,17	0,98				
1x20	0,11	0,00	215,71		0,14	0,08	0,49				

No ciclo de cana-planta, os manejos de aplicação da vinhaça ocorreram da seguinte maneira: manejo 1 (M1), uma aplicação de 40 mm de vinhaça e o manejo 2 (M2) duas aplicações, separadamente, de 20 mm de vinhaça, em que a primeira etapa da aplicação do M1 e da metade do M2 ocorreu aos 169 dias após o plantio (DAP), enquanto a segunda aplicação do M2 ocorreu aos 203 DAP. No ciclo de cana-soca, os manejos foram: manejo 1 (M1), uma aplicação de 40 mm de vinhaça e o manejo 2 (M2) uma aplicação de 20 mm de vinhaça, ambas aplicadas aos 290 DAC. Para a realização da fertirrigação, adotou-se o método de irrigação por aspersão, em sistema de irrigação mecanizado autopropelido.

No ciclo de cana-planta, aos 300 DAP, e no ciclo de cana-soca aos 330 DAC, foram colhidas duas plantas, por parcela, separando seus respectivos componentes, de acordo com Marafon, (2012) e obtendo suas respectivas massas frescas. Após este procedimento, subamostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C até massa constante, e determinada a massa de matéria seca de cada parte da planta, MSR (massa seca da raiz), MSC (massa seca do colmo), MSF (massa seca das folhas verdes + massa seca do pseudocolmo + massa seca das bainhas das folhas verdes), MSPA (massa seca da parte aérea = MSF + MSC) e MST (massa seca total = MSF + MSC + MSR).

As amostras secas da parte aérea e raiz das plantas foram então moídas, em moinho de facas tipo Willey, e analisadas quanto aos teores de N, P, K, S, Ca e Mg conforme metodologias descritas em Malavolta et al. (1997).

O acúmulo de cada macronutriente foi calculado pelo produto entre a matéria seca do respectivo componente da planta e o teor do nutriente encontrado no componente. O retorno de cada nutriente foi obtido pelo somatório do acúmulo dos nutrientes do pseudocolmo, folhas verdes, bainhas das folhas verdes e raiz. Para a exportação, adotou-se o acúmulo do nutriente encontrado no colmo da planta, considerando o respectivo estande, assim como a respectiva produtividade de matéria seca. Considerou-se a população de 65833 plantas de cana-de-açúcar por hectare.

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F ao nível de 5% de probabilidade e em caso de significância as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2019).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na interação entre os fatores manejos de fertirrigação com vinhaça e nutrientes da parte aérea e raiz da cultura da cana-de-açúcar, observou-se efeito significativo em todas as variáveis analisadas (Tabela 3). Isso demonstra que os manejos de lâminas de fertirrigação com vinhaça de 1x40 mm e de 2x20 mm no ciclo de cana-planta e os manejos de fertirrigação com vinhaça de 1x40 mm e de 1x20 mm no ciclo de cana-soca, influenciaram a absorção e o acúmulo de nutrientes pela planta, conseqüentemente a exportação desses nutrientes nos colmos, assim como o retorno de nutrientes ao solo. Também, demonstra que esses nutrientes acumularam na planta e retornaram ao solo em quantidades diferentes, em função do tipo de manejo aplicado.

Oliveira et al. (2011), avaliando os componentes da parte aérea da cana-de-açúcar, constataram alterações nas quantidades de nutrientes acumulados, cujos maiores acúmulos foram observados no colmo. Semelhantemente ao presente estudo, Kist et al. (2015), também observaram efeitos significativos no acúmulo de nutrientes na cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta e cana-soca. Já Andreotti et al. (2015), observaram efeito significativo de doses de vinhaça aplicadas em cana-de-açúcar, no retorno de nutrientes do palhiço, no ciclo de primeira-soqueira. Oliveira et al. (2010), também verificaram diferença significativa na extração e exportação de nutrientes em variedades de cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta. Diferentemente, Silva et al. (2018) e Silva et al. (2018b), não observaram diferença significativa no acúmulo de nutrientes em quatro variedades de cana-de-açúcar em três ciclos de cultivo.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as variáveis acúmulo, retorno e exportação de nutrientes da parte aérea e raiz da cultura da cana-de-açúcar (var. RB86-7515) submetida a diferentes manejos de fertirrigação, no ciclo de cana-planta e no ciclo de cana-soca. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.

FV	GL	Quadrados Médio					
		cana-planta			cana-soca		
		Acúmulo	Retorno	Exportação	Acúmulo	Retorno	Exportação
Manejos (M)	1	610,09 ^{ns}	1715,20 ^{**}	279,39 ^{ns}	6792,51 ^{**}	1070,49 ^{**}	2470,58 ^{**}
Nutrientes (N)	5	428342,48 ^{**}	17428,62 ^{**}	276408,64 ^{**}	258700,70 ^{**}	13748,36 ^{**}	157253,45 ^{**}
Manejos x Nutrientes	5	2502,93 ^{**}	797,77 ^{**}	590,69 [*]	4567,29 ^{**}	700,99 ^{**}	1930,54 ^{**}
Bloco	2	166,55 ^{ns}	0,23 ^{ns}	158,17 ^{ns}	220,70 ^{ns}	25,09 ^{ns}	394,54 ^{ns}
Resíduo	22	215,43	119,94	202,18	338,51	85,89	197,25
CV ¹		7,19	22,02	9,21	10,64	19,86	11,13

¹Coefficiente de variação (CV). ** e * significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

3.3.1 Acúmulo, Retorno e Exportação

Observa-se que o manejo de duas lâminas de 20 mm de vinhaça, no ciclo de cana-planta, promoveu acúmulo total de 769,42 kg ha⁻¹ de K, superior 11,75% comparado aos 679,42 kg ha⁻¹ de K acumulados no manejo com apenas uma lâmina 40 mm de vinhaça. O manejo de 1x40 mm de vinhaça, no ciclo de cana-soca, promoveu acúmulo total de 650,73 kg ha⁻¹ de K e 94,84 kg ha⁻¹ de S, superior 20,72% e 39,25%, respectivamente, quando comparado aos 610,99 kg ha⁻¹ de K e 57,61 kg ha⁻¹ de S, acumulados no manejo de 1x20 mm de vinhaça (Tabela 4).

No ciclo de cana-planta, ao final das aplicações dos manejos com vinhaça, foram fornecidos a mesma lâmina, porém o manejo de 1x40 mm forneceu maior quantidade K comparado ao manejo 2x20 mm (Tabela 2), mas a planta acabou absorvendo menos K no manejo 1x40 mm (Tabela 4). Isto, provavelmente ocorreu em razão do período de fornecimento de K à planta, já que a segunda aplicação de vinhaça no manejo 2x20 mm ocorreu aos 203 DAP, 34 dias após a primeira aplicação, próximo ao período de maior extração do nutriente pela cana-de-açúcar. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Oliveira et al. (2011) que observaram a ocorrência do maior acúmulo de K na cana-de-açúcar aos 246 DAP; por Silva (2007) que verificou o maior incremento de K ocorreu a partir dos 240 DAP, e por Salviano et al. (2017) que concluíram que a máxima absorção de nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar ocorreu a partir dos 220 DAC.

Além disso, no dia da colheita da cana-planta, realizou-se a amostragem de solo, na camada de 0-25 cm, no resultado da análise química obteve-se o valor de 660,0 kg ha⁻¹ de K trocável para o manejo de 1x40 mm de vinhaça e o valor de 727,50 kg ha⁻¹ de K trocável para o manejo de 2x20 mm de vinhaça. De acordo com Almeida (2019), quando ocorre redução no teor de K da solução do solo, devido à absorção pelas plantas ou até mesmo pela remoção deste nutriente pela lixiviação ou escoamento superficial, este é repostado pela fase sólida do solo, sendo reestabelecido o equilíbrio. Provavelmente, parte do K fornecido pelo manejo de 1x40 mm de vinhaça foi lixiviado para as camadas do solo menos exploradas pelo sistema radicular.

No ciclo de cana-soca, as plantas que receberam o manejo de 1x40 mm de vinhaça acumularam mais K e S, comparado ao manejo de 1x20 mm de vinhaça. Provavelmente, o maior acúmulo de K na planta está relacionado com a maior quantidade de K fornecida pelo manejo de 1x40 mm de vinhaça (Tabela 2). Já o maior acúmulo de S, pode estar relacionado a lâmina de 40 mm de fertirrigação, que forneceu maior quantidade de água em uma aplicação, que pode ter promovido a umidificação de maior volume de solo, facilitando a absorção de S

por fluxo de massa. De acordo Barber e Olson (1968) o fluxo de massa pode fornecer até 95% do S absorvido por plantas.

Para o ciclo de cana-soca, as plantas no manejo de 1x40 mm de vinhaça acumularam mais K, comparado ao manejo de 1x20 mm de vinhaça, certamente pela quantidade superior de K fornecida pelo manejo de 1x40 mm de vinhaça (Tabela 2 e 4).

Em estudos realizados por Kist et al. (2015), Oliveira et al. (2010) e Silva (2007), com a cana-de-açúcar variedade RB86-7515, foram obtidos acúmulos de 254,7; 264,0 e 184,8 kg ha⁻¹ de K, respectivamente, na parte aérea da planta, no ciclo de cana-planta. No ciclo de cana-soca, Kist et al. (2015) e Salviano et al. (2017), verificaram acúmulos, respectivamente, de 265,1 e 441,1 kg ha⁻¹ de K na parte aérea da planta de cana-de-açúcar. Já Mariano et al. (2016), observaram acúmulo médio de 606,0 kg ha⁻¹ de K e de 36,75 kg ha⁻¹ de S da parte aérea da cana-de-açúcar. O maior acúmulo de K na cana-de-açúcar observado no presente estudo (Tabela 4), comparado aos acúmulos observados nos estudos supracitados, possivelmente está relacionado ao fornecimento de K derivado da vinhaça, resíduo com elevada concentração de K₂O (Tabela 2).

O manejo com duas lâminas de 20 mm de vinhaça, no ciclo de cana-planta, contribuiu para o retorno total de 176,03 kg ha⁻¹ de K, superior 33,98 % comparado aos 116,22 kg ha⁻¹ de K retornados pelo manejo 1x40 mm. O manejo de 1x40 mm, no ciclo de cana-soca, forneceu o retorno total de 159,17 kg ha⁻¹ de K, superior 33,96% comparado aos 105,1 kg ha⁻¹ de K retornados pelo manejo de 1x20 mm de vinhaça (Tabela 4).

No ciclo de cana-planta, o maior retorno de K nos resíduos culturais (folhas e ponteiro) foi verificado no manejo de 2x20 mm de vinhaça, pelo maior acúmulo de K nesse manejo, comparado ao manejo de 1x40 mm de vinhaça. No ciclo de cana-soca, os restos culturais das plantas sob o manejo de 1x40 mm de vinhaça, retornaram mais K ao solo, comparado ao manejo 1x20 mm de vinhaça, possivelmente pela quantidade superior de K fornecido pelo manejo de 1x40 mm de vinhaça. Esses resultados confirmam que elevados valores K podem ser restituídos ao solo pelos resíduos vegetais, desempenhando, assim, importante papel na ciclagem desses nutrientes no sistema solo-planta (Tabela 4).

Oliveira et al. (2011); Silva (2007) e Trivelin et al. (2013) constataram para cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta, o retorno de 169,1; 85,0 e 137,9 kg ha⁻¹ de K, respectivamente, considerando folhas e ponteiro. Schultz et al. (2010) observaram que com a aplicação de 150 m³ de vinhaça ocorreu o acúmulo da parte aérea de 578,6 kg ha⁻¹ de K, com retorno da palhada

de 148,7 kg ha⁻¹ de K e a exportação do colmo de 429,9 kg ha⁻¹ de K, no ciclo de cana-planta da variedade RB86-7515.

Trivelin et al. (2013), verificaram o retorno de 134,3 kg ha⁻¹ de K no ciclo de cana-soca, concluindo que a cerca de 75% do K são acumulados nos ponteiros, indicando a importância de se manter, no momento da colheita, os ponteiros no solo, com intuito de sustentar a fertilidade do solo a longo prazo e diminuir as despesas com fertilizantes minerais. Andreotti et al. (2015), verificaram retorno de nutrientes do palhicho da cana-de-açúcar, no ciclo de cana-soca, de 38,8 e 48,2 kg ha⁻¹ de K promovidos pelas doses de 0 e 50 m³ de vinhaça. Já Salviano et al. (2017), observaram retorno de 109,0 kg ha⁻¹ de K em cana-de-açúcar cultivada em um Vertissolo Háplico. Medina et al. (2013) concluiu que a maior concentração de potássio foi encontrada na parte aérea da planta de cana-de-açúcar, comparado a sistema radicular.

No ciclo de cana-planta foi verificada a exportação de 174,73 kg ha⁻¹ de N e 562,78,78 kg ha⁻¹ de K no manejo de 1x40 mm de vinhaça, superior 13,95% e inferior 5,15% comparado, respectivamente, aos 150,34 kg ha⁻¹ de N e 593,39 kg ha⁻¹ de K exportados pelo manejo de 2x20 mm de vinhaça. Já no ciclo de cana-soca, a exportação de 491,57 kg ha⁻¹ de K e 75,65 kg ha⁻¹ de S foi obtida para o manejo de 1x40 mm de vinhaça, superior, respectivamente, 16,43% e 47,83% comparado aos 410,78 kg ha⁻¹ de K e aos 39,46 kg ha⁻¹ de S exportados pelo manejo de 1x20 mm de vinhaça (Tabela 4).

No ciclo de cana-planta, verificou-se que 71,3% do total de N acumulados com o emprego do manejo 1x40 mm de vinhaça foram exportados nos colmos. No manejo de 2x20 mm de vinhaça, ocorreu a exportação de 64,0% do total de N acumulados (Figura 3a e 3b). Existem duas hipóteses para a maior exportação de N no manejo de 1x40 mm: a primeira é que, o N por ser um nutriente altamente móvel dentro da planta pode ser redistribuído para outros órgãos (EPSTEIN e BLOOM, 2006; LEITE, 2011); a segunda é que ocorreu incremento no acúmulo de N pelo aumento da matéria seca do colmo. A maior exportação de K promovida pelo manejo de 2x20 mm de vinhaça está relacionado ao maior acúmulo K na planta, comparado ao acúmulo promovido pelo manejo de 1x40 mm de vinhaça.

No ciclo de cana-soca, as plantas que receberam o manejo de 1x40 mm de vinhaça exportaram mais K e S, comparado ao manejo de 1x20 mm de vinhaça (Tabela 4). Provavelmente, a maior exportação de K e S está relacionada ao maior acúmulo desses nutrientes na planta.

Oliveira et al. (2010) obtiveram em seus resultados de pesquisa a exportação de 160 kg ha⁻¹ de K para a cana-de-açúcar, var. RB86-7515, no ciclo de cana-planta. Já Oliveira et al. (2011) verificaram que a cana-de-açúcar, exportou 134,9 kg ha⁻¹ de N e 160,1 kg ha⁻¹ de K, no ciclo de cana-planta, manejadas em irrigação plena. Silva (2007), verificou para a cana-de-açúcar, a exportação de 102,4 kg ha⁻¹ de N e 99,80 kg ha⁻¹ de K, no ciclo de cana-planta, em regime de sequeiro. Salviano et al. (2017), observaram a exportação de 332,13 kg ha⁻¹ de K e 25,85 kg ha⁻¹ de S em cana-de-açúcar cultivada em um Vertissolo Háplico.

Tabela 4. Acúmulo, retorno e exportação de nutrientes da parte aérea e raiz da cultura da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-planta e no ciclo de cana-soca, submetida a diferentes manejos de fertirrigação com vinhaça. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.

Manejos (mm)	Ciclo de cultivo	Acúmulo de nutrientes (kg ha ⁻¹)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
1x40	Cana-planta	244,97aB	12,94aE	679,00bA	146,24aC	59,99aD	57,32aD
2x20		234,74aB	17,59aD	769,42aA	129,96aC	49,87aD	48,29aD
1x40	Cana-soca	186,54aB	36,92aD	650,73aA	76,79aCD	73,89aCD	94,84aC
1x20		190,77aB	30,02aD	515,88bA	87,49aC	73,12aCD	57,61bCD
		Retorno de nutrientes (kg ha ⁻¹)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
1x40	Cana-planta	70,23aB	5,39aD	116,22bA	38,47aC	14,84aCD	11,89aCD
2x20		84,40aB	8,10aD	176,03aA	41,29aC	15,02aCD	15,04aCD
1x40	Cana-soca	80,16aB	13,91aC	159,17aA	21,6aC	18,69aC	19,19aC
1x20		70,57aB	9,48aC	105,1bA	25,34aC	18,65aC	18,14aC
		Exportação de nutrientes (kg ha ⁻¹)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
1x40	Cana-planta	174,73aB	7,55aE	562,78bA	107,77aC	45,15aD	45,43aD
2x20		150,34bB	9,48aD	593,39aA	88,67aC	34,85aD	33,24aD
1x40	Cana-soca	106,38aB	23,01aD	491,57aA	55,19aCD	55,19aCD	75,65aBC
1x20		120,19aB	20,54aD	410,78bA	62,15aC	54,47aCD	39,46bCD

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna e mesmas letras maiúsculas na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.3.2 Ordem de acúmulo de nutrientes

Para o manejo de 1x40 mm de vinhaça, o acúmulo de nutrientes na cana-de-açúcar, seguiu a seguinte ordem decrescente K>N>Ca>Mg=S>P. Já no manejo de 2x20 mm de vinhaça, o acúmulo de nutrientes seguiu a seguinte ordem decrescente K>N>Ca>Mg=S>P. No ciclo de cana-soca, o acúmulo de nutrientes no manejo de 1x40 mm de vinhaça, seguiu a seguinte ordem decrescente K>N>S≥Ca=Mg>P, já no manejo de 1x20 mm de vinhaça, o acúmulo de nutrientes seguiu a seguinte ordem decrescente K>N>Ca≥Mg=S>P (Tabela 4).

Costa et al. (2016), concluíram que os nutrientes mais acumulados pela planta de cana-de-açúcar, em ordem decrescente foi o N>K>P. Já Silva (2007), verificou numericamente a ordem decrescente de K>Ca>N>P>Mg no acúmulo médio de nutrientes para várias variedades de cana-de-açúcar estudadas. Andreotti et al. (2015), verificaram numericamente a seguinte ordem decrescente de retorno de nutrientes do palhicho N>Ca>K>S>Mg>P. Já Oliveira et al. (2010) obteve a seguinte ordem decrescente de extração de nutrientes K>Ca>N> Mg>P. Kist et al. (2015) verificaram no ciclo de cana-soca, a ordem decrescente de K>N>Ca>Mg>P no acúmulo médio de nutrientes para várias variedades de cana-de-açúcar estudadas. Em trabalho realizado por Mariano et al. (2016), apresentaram na colheita o seguinte padrão de acúmulo K>N> Ca>S>Mg>P. Salviano et al. (2017), obteve a seguinte ordem decrescente de acúmulo de nutrientes: K>N>Ca>S>P>Mg. De maneira geral, observa-se que, independentemente do ciclo, em todos os estudos o K e o N foram os nutrientes extraídos em maiores quantidades, a exemplo de o obtido no presente estudo (Tabela 4), evidenciando a necessidade de práticas de manejo que reponha os nutrientes exportados, assim como a reciclagem de nutrientes, a exemplo do emprego da vinhaça no cultivo da cana-de-açúcar.

3.3.3 Participação dos nutrientes

No ciclo de cana-planta, no manejo de 1x40 mm de vinhaça, a cana-de-açúcar acumulou o total de 1200,46 kg ha⁻¹ de macronutrientes, sendo 20,4; 1,1; 56,6; 12,2; 5,0 e 4,8% desse acúmulo, representados respectivamente, pelos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, para o manejo de 2x20 mm de vinhaça, verificou-se o acúmulo de 1249,87 kg ha⁻¹ de macronutrientes, sendo 18,8% de N, 1,4% de P, 61,6% de K, 10,4% de Ca, 4,0% de Mg e 3,9% de S (Figura 2A).

No ciclo cana-soca, no manejo de 1x40 mm de vinhaça, a cana-de-açúcar acumulou o total de 1119,71 kg ha⁻¹ de macronutrientes, sendo 16,7; 3,3; 58,1; 6,9; 6,6 e 8,5% desse acúmulo, representados respectivamente, pelos nutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, no manejo de 1x20 mm de vinhaça, verificou-se o acúmulo de 954,89 kg ha⁻¹ de macronutrientes, sendo 20,0% de N, 3,1% de P, 54,0% de K, 9,2% de Ca, 7,7% de Mg e 6,0% de S (Figura 2B).

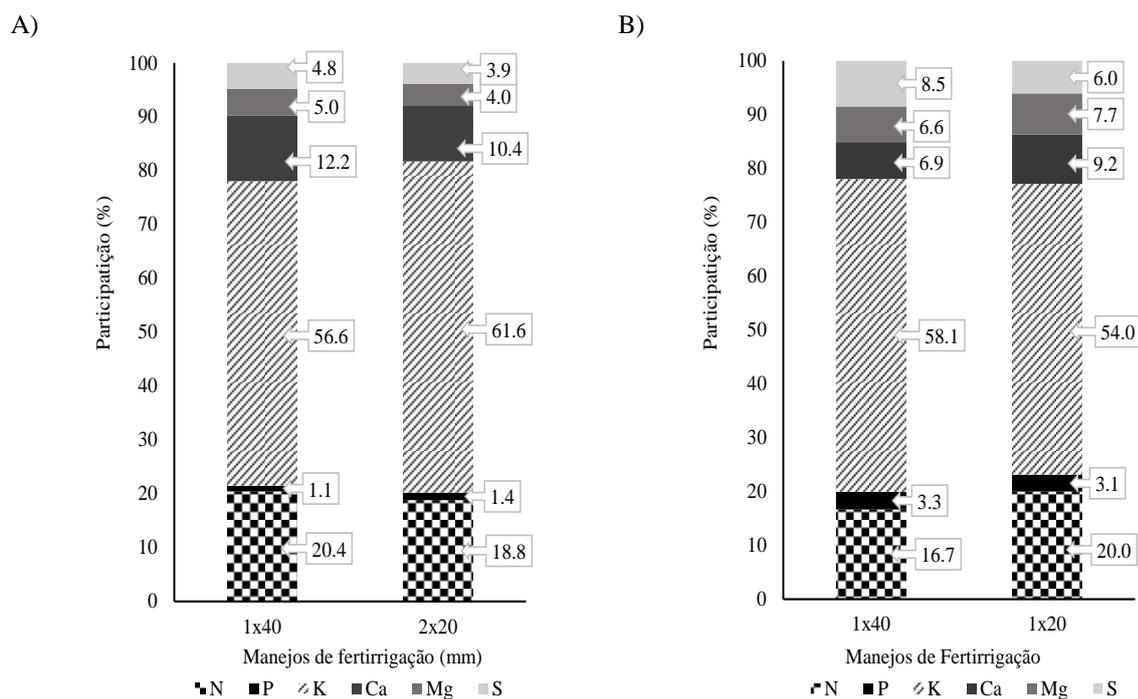


Figura 2. Participação dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) no acúmulo de nutrientes da parte aérea e raiz da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no manejo de 1x40 mm e no manejo 2x20 mm de vinhaça, no ciclo de cana-planta (A), no manejo de 1x40 mm e no manejo de 1x20 mm de vinhaça no ciclo de cana-soca (B). Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.

No ciclo de cana-planta, no manejo de fertirrigação com vinhaça de 1x40 mm, dos macronutrientes acumulados na cana-de-açúcar, em média 73% foram exportados no colmo e 27% foram retornados nos resíduos culturais (Figura 3A). Para o manejo de fertirrigação com vinhaça de 2x20 mm, obteve-se, em média, uma exportação e um retorno de 67% e 33%, respectivamente, dos macronutrientes acumulados na planta (Figura 3B).

No ciclo de cana-soca no manejo de fertirrigação com lâmina de vinhaça de 1x40 mm, em média 70% dos macronutrientes acumulados na cana-de-açúcar foram exportados no colmo e 30% foram retornados pelos resíduos culturais (Figura 3C). No manejo de fertirrigação com vinhaça de 1x20 mm, observou-se, em média, a exportação de 71% e retorno de 29%, dos macronutrientes acumulados na planta (Figura 3D).

Independentemente do tipo de manejo de fertirrigação com vinhaça, o nutriente mais exportado pelo colmo foi o K, em média com 79% do total acumulado. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Salviano et al. (2017), que concluíram que a cerca de 60% a 90%

do total de macronutrientes acumulados pela cana-de-açúcar foram exportados pelo colmo, cujo K o nutriente mais exportado, equivalente a 87% do total absorvido.

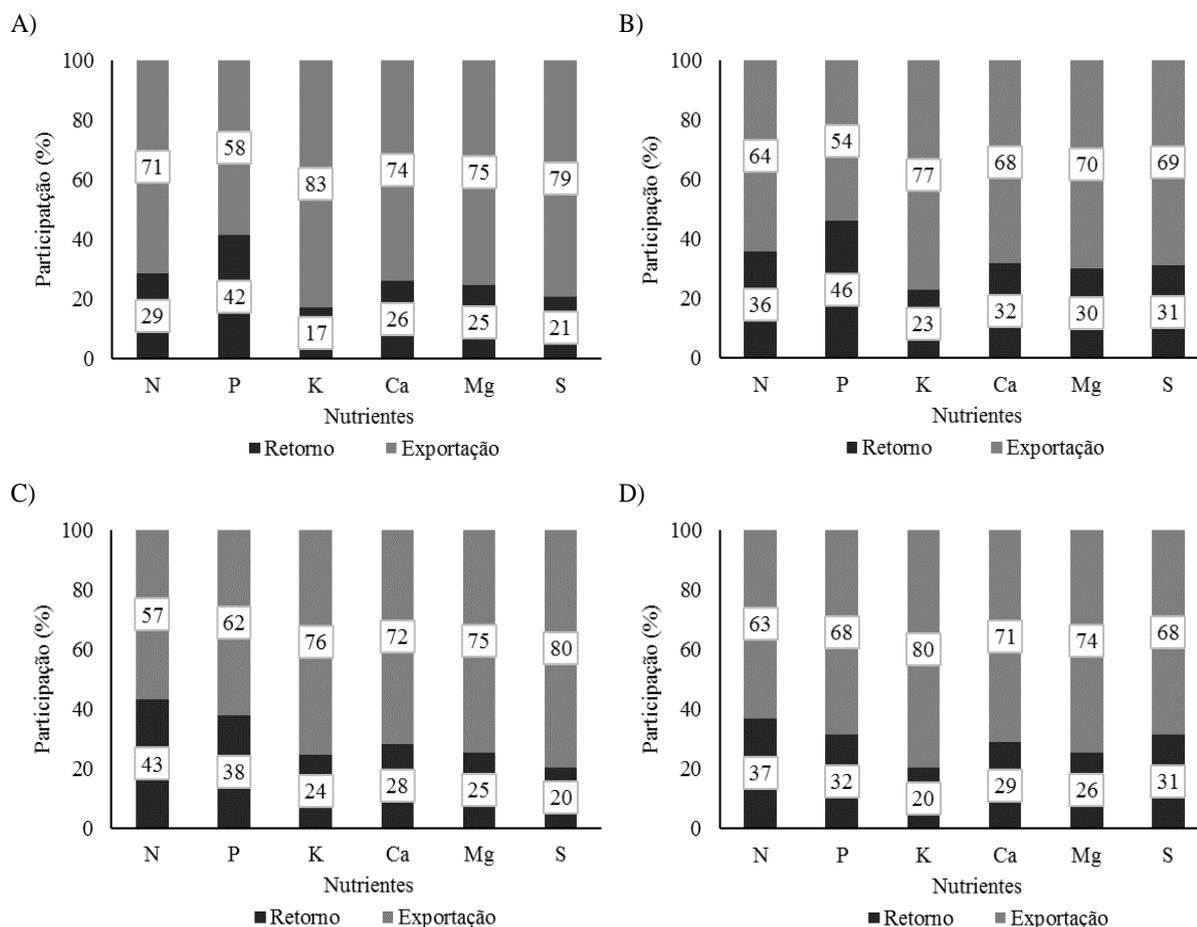


Figura 3. Participação (%) no retorno e exportação de nutrientes no acúmulo de nutrientes na parte aérea e raiz da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no manejo de fertirrigação com vinhaça de 1x40 mm (A) e 2x20 mm (B), no ciclo planta-cana, no manejo da fertirrigação com vinhaça 1x40 mm (C) e 1x20 mm (D), no ciclo de cana-soca. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.

O presente estudo demonstra que o uso de vinhaça constitui importante fonte de nutrientes para a cana-de-açúcar, sobretudo de K, além de água, podendo ser utilizada nas próprias áreas de canavial. Isto, torna-se aspecto ambiental e é uma forma de aumentar a produtividade, reciclando matéria orgânica e nutrientes, sobretudo potássio, reduzindo os custos de produção, considerando os custos dos fertilizantes minerais.

3.4 CONCLUSÃO

O manejo de fertirrigação com a aplicação de duas lâminas de 20 mm de vinhaça, no ciclo de cana-planta, promoveu o acúmulo de 769,42 kg ha⁻¹ de K, o retorno ao solo de 176,03 kg ha⁻¹ de K e a exportação de 593,39 kg ha⁻¹ de K, valores superiores ao manejo de fertirrigação sem parcelamento da lâmina (40 mm) de vinhaça.

No ciclo de cana-soca, o manejo de fertirrigação de uma lâmina de 40 mm de vinhaça promoveu o acúmulo de 650,73 kg ha⁻¹ de K, o retorno de 159,17 kg ha⁻¹ de K e a exportação 491,57 kg ha⁻¹ de K, valores superiores em comparação com manejo de fertirrigação de 1x20 mm de vinhaça.

Independentemente do tipo de manejo das lâminas de vinhaça, o acúmulo de macronutrientes pela cana-de-açúcar seguiu a ordem decrescente: K>N>Ca>Mg=S=P.

Em média de 54,0 a 80,0% do total de macronutrientes acumulados pela cana-de-açúcar, foram exportados nos colmos na colheita, cujo K foi o nutriente mais exportado.

3.5 AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) ao departamento de agricultura irrigada em áreas de Cerrado (AGRICE), ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano), à Pró-reitora de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (Proppi) pelo auxílio financeiro ao presente projeto de pesquisa e a Usina CRV Industrial pelos tratos culturais realizados durante a condução do experimento.

3.6 REFERÊNCIAS

AGROSTAT (Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro). Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 28 de janeiro de 2019.

ALMEIDA, TAUANA FERREIRA. 2019. **Formas e balanço de potássio em Latossolo sob sistema integrado de produção agropecuária em plantio direto no sul do Brasil**. 2019. 58 f. (Master Thesis). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2019. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/204687>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22 n. 6, p. 711 – 728, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>. Acesso em: 14 de outubro de 2021.

ANDREOTTI, M.; SORIA, J. E.; COSTA, N. R.; GAMEIRO, R. A.; REBONATTI, M. D. Acúmulo de nutrientes e decomposição do palhicho de cana em função de doses de vinhaça. **Bioscience journal**, v. 31, n. 2, p. 563-576, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/BJ-v31n2a2015-22426>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

BARBER, S. A.; OLSON, R. A. Fertilizer use on corn. In: Nelson, L. B. et al. (eds): **Changing patterns in fertilizer use**. Madison: Soil Science Society of America, 1968,163-188. Disponível em: <<https://doi.org/10.2136/1968.changingpatterns.c>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. Norma Técnica P4.231 3(2):1-15. 2015 Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

COSTA, A. R. F. C.; ROLIM, M. M.; BONFIM-SILVA, E. M.; SIMÕES NETO, D. E.; PEDROSA, E. R. M.; SILVA, E. 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**, v. 10, n. 3, p.362-369, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.03.p7205>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Manual de nutrição de planta: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 403 p, 2006.

FERNANDEZ, G. A. V.; RUDORFF, B. T.; AGUIAR, D. A.; PINHATI, F. S. C.; SALGADO M. P. G.; FONTENELLE T. H. Identificação de cana-de-açúcar irrigada na região centro-sul do Brasil a partir de séries temporais Modis. In: IV Inovagri International Meeting, 2017, Fortaleza. **Anais do IV Inovagri International Meeting - 2017**. Fortaleza: INOVAGRI/ESALQ-USP/ABID/UFRB/INCT-EI/INCTSal/INSTITUTO FUTURE, 2017. Disponível em: <www.researchgate.net/publication/320118734>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

FERREIRA, DANIEL FURTADO. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

KIST, V.; SILVEIRA, G.; COSTA, P. M. A.; OLIVEIRA, M. W.; BARBOSA, M. H. P. Nutrient use efficiency in sugarcane cultivars. **Revista Científica**, v. 43, n. 2, p. 117–125, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2015v43n2p117-125>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

LEITE, M. J. **Acúmulo de fitomassa e de macronutrientes da cana-de-açúcar relacionadas a o uso de fontes de nitrogênio**. 2011. 90 p. (Master Thesis). Universidade de São Paulo – Escola de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba, São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-26092011-101445/pt-br.php>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações**. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 319 p, 1997.

MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 31 p. 2012 (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 168). Disponível em <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

MARIANO, E.; LEITE, J. M.; VIEIRA-MEGDA, M. X.; CIAMPITTI, I. A.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Biomass and Nutrient Content by Sugarcane as Affected by Fertilizer Nitrogen Sources. **Crop Science**, v. 56, n. 3, p. 1234–1244, 2016. Disponível em: <<https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2135/cropsci2015.06.0349>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

MEDINA, N. H.; BRANCO, M. L. T.; SILVEIRA, M. A. G.; SANTOS, R. B. B. Dynamic distribution of potassium in sugarcane. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 126, p. 172-175, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.08.004>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1343-135, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000400031>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

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. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000300002>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

PEREIRA R. M.; JÚNIOR J. A.; CASAROLI D., SALES D.L.; RODRIGUE, W. D. M.; SOUZA J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Irriga**, v. 1, n. 2, p. 149, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n2>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

SALVIANO, A. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Acúmulo e exportação de macronutrientes pela cana de açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Científica Intelletto**, v. 2, n. 2, p. 16-27, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17648/intellecto-2525-9075-v2-n2-03>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 5 ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 588 p, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 811-220, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300023>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

SILVA, L. C. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar (saccharum spp.) na região de Coruripe-Al**. 2007. 74 f. (Master Thesis). Universidade Federal de Alagoas – Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, Alagoas. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/194>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; OLIVEIRA, T. B. A.; SANTANA, M. B.; GALVÃO, E. R. Stalk yield and nutrients accumulation of sugarcane varieties in three crop cycles. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.2, p.415-423, 2018 Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.19084/RCA17051>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; OLIVEIRA, T. B. A.; GALVÃO, E. R.; SILVA, A. F.; MACHADO, P. A. S. Nutritional Requirement of Sugarcane Cultivars.

Journal of Agricultural Science, v. 10, n. 4, p. 361-369, 2018b. Disponível em: <<https://doi.org/10.5539/jas.v10n4p361>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição. Brasília: Embrapa Solos. 574 p, 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

TRIVELIN, O. 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. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 345-352, 2013 Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162013000500009>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

4.0 CAPÍTULO II

(Normas de acordo com o periódico Ciência Rural)

PRODUTIVIDADE E CURVA DE ACÚMULO DE N e K EM CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA EM UM LATOSSOLO VERMELHO

RESUMO - A fertirrigação realizada nos meses de seca, visa mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico em cana-de-açúcar, fornecendo água e nutrientes. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes manejos de fertirrigação com vinhaça no acúmulo de nitrogênio (N) e potássio (K) na parte aérea da cana-de-açúcar durante seu desenvolvimento, nos ciclos de cana-planta e cana de cana-soca, cultivada em um Latossolo Vermelho eutrófico. O experimento foi realizado em condições de campo, com delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2 x 2 x 5 (ciclo de cana-planta) e 2 x 2 x 4 (ciclo de cana-soca) com três repetições. No momento da colheita, a cana-de-açúcar (var. RB86-7515) acumulou nos colmos 162,5 kg ha⁻¹ de N e 578,1 kg ha⁻¹ de K, no ciclo de cana-planta. Para o ciclo de cana-soca, o acúmulo nos colmos foi de 113,3 kg ha⁻¹ de N e 578,1 kg ha⁻¹ de K. A cana-de-açúcar (var. RB86-7515) tende a acumular quantidade de N superior em comparação aos colmos até os 160 DAP para o ciclo de cana-planta e até os 100 DAC para o ciclo de cana-soca. Esse comportamento se inverte após esse período, tornando o colmo a parte da planta com maior acúmulo de N até o momento da colheita. No ciclo de cana-soca, o manejo de fertirrigação de 1x40 mm, promoveu acúmulo de 309,0 t ha⁻¹ de K na parte aérea da planta de cana-de-açúcar (var. RB86-7515). Para a cana-de-

açúcar (var. RB86-7515), verificou-se a produtividade de colmos de 93,4 e 114,0 t ha⁻¹, no ciclo de cana-planta e no ciclo de cana de cana-soca, respectivamente.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* L. Extração de nutrientes. Exportação de nutrientes. Retorno de nutrientes. Rendimento de colmos.

PRODUCTIVITY AND ACCUMULATION CURVE OF N AND K IN SUGARCANE SUBMITTED TO FERTIRRIGATION WITH VINASSE IN A RED OXISOL

ABSTRACT - The fertigation carried out in the dry months aims to mitigate the negative effects of the water deficit in sugarcane, providing water and nutrients. The objective of this work was to evaluate the effects of different fertigation managements with vinasse on the accumulation of nitrogen (N) and potassium (K) in the aboveground part of sugarcane during its development, in the cycles of cane-plant and first ratoon, cultivated in a eutrophic Red Oxisol. The experiment was carried out under field conditions, with a randomized block design, with three replications, analyzed in a 2 x 2 x 5 (cane-plant cycle) and 2 x 2 x 4 (1st ratoon cycle) split-split plot scheme. Sugarcane (var. RB86-7515) tends to accumulate a higher amount of N compared to stalks up to 160 DAP for the cane-plant cycle and up to 100 DAC for the 1st ratoon cycle. This behavior is reversed after this period, making the stalk the part of the plant with the greatest N accumulation until harvest time. In the 1st ratoon cycle, the 1x40 mm fertigation management promoted an accumulation of 309.0 t ha⁻¹ of K in the aboveground part of the sugarcane plant (var. RB86-7515). For sugarcane (var. RB86-7515), there was a stalk productivity of 93.4 and 114.0 t ha⁻¹, in the plant- cane cycle and in the 1st ratoon cane cycle, respectively.

Keywords: *Saccharum officinarum* L. Nutrient extraction. Nutrient export. Nutrients return. Stalk yield.

4.1 INTRODUÇÃO

A vinhaça, que é o resíduo final da destilação do vinho da fermentação para se obter o álcool (CHIEPPE JÚNIOR, 2011), vem sendo utilizada para o fornecimento de nutrientes a cana-de-açúcar, visando maior produtividade da cultura. Para verificar incrementos na produção da cana-de-açúcar, com a aplicação de vinhaça, vários trabalhos vêm sendo realizados (OLIVEIRA et al. 2009; BARBOSA et al. 2013; CARVALHO et al. 2013; SILVA et al. 2014;

PRADO et al. 2017). A aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar pode substituir a adubação mineral, no ciclo de cana-plana e cana-soca (FRANCO et al. 2008), desde que não seja aplicado em doses excessivas.

Dentre os meios para o uso eficiente da vinhaça está a fertirrigação, que consiste na aplicação de fertilizantes solúveis através do sistema de irrigação, tornando uma prática comum na agricultura irrigada moderna (HASSANLI et al. 2010; MEDEIROS et al. 2012; PEREIRA et al., 2016). Em regiões como centro-oeste, em que a precipitação se concentra em cinco meses (novembro a abril), a capacidade produtiva da cultura torna-se comprometida, bem como a habilidade da planta em absorver de forma eficiente água e nutrientes.

A quantidade de nutrientes extraídos do solo pelas plantas varia entre variedades, ciclo de cultivo, manejo do solo e disponibilidade de nutrientes (CEOTTO e CASTELLI, 2002), tornando necessário novos estudos que identifiquem a interação desses fatores, para correta recomendação de variedades e métodos de cultivo nos diferentes ambientes de produção (OLIVEIRA et al., 2010).

Atualmente, não existe padronização no manejo da fertirrigação com vinhaça na cana-de-açúcar, algumas agroindústrias promovem a aplicação alguns dias após o corte da cana-de-açúcar, ou promovem a aplicação no momento de estiagem das chuvas, ou fazem visando maior eficiência logística, ou em função da produção do resíduo. A fertirrigação realizada no momento da seca, visa mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico em cana-de-açúcar, fornecendo água e nutrientes. Essa prática é chamada de irrigação de salvamento, que consiste em aplicar lâminas de 30 a 80 mm, nos meses que não ocorrem precipitação pluvial.

A Usina CRV Industrial adota o manejo de uma aplicação única com lâmina de 40 mm de vinhaça, a partir disso, no primeiro ano foi proposto novo manejo com o parcelamento dessa lâmina em duas aplicações de vinhaça. No segundo ano, manteve-se o manejo de uma aplicação única com a lâmina de 40 mm de vinhaça, sendo proposto uma aplicação única de 20 mm de vinhaça. A partir dessa proposta, a seguinte hipótese foi formulada: i) a cana-de-açúcar aproveitará melhor os nutrientes fornecidos pela vinhaça, com aumento no desenvolvimento e na produtividade, quando a fertirrigação for realizada em dois períodos.

Esse estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes manejos de fertirrigação com vinhaça no acúmulo de nitrogênio (N) e potássio (K) na parte aérea da cana-de-açúcar durante seu desenvolvimento, no ciclo de cana-planta e no ciclo de cana-soca, cultivada em um Latossolo Vermelho eutrófico de Cerrado.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido por dois ciclos consecutivos de cultivo da cana-de-açúcar, ciclo de cana-planta e ciclo de cana-soca, ano safra 2017/2018 e 2018/2019, em área da Fazenda Boa Sorte, no município de Carmo do Rio Verde, região Centro-Norte do estado de Goiás - GO. As coordenadas geográficas do local são 15°20'26''S e 49°44'24''W, com altitude média de 630 metros. Segundo a Alvarez et al. (2013) o clima do local é do tipo Aw, tropical, com chuva nos meses de outubro a maio, e seca nos meses de junho a setembro. A precipitação pluvial ocorrida durante o período da realização do experimento foi de 1381 mm na safra 2017/2018 e de 1459 mm na safra 2018/2019, conforme Figura 1.

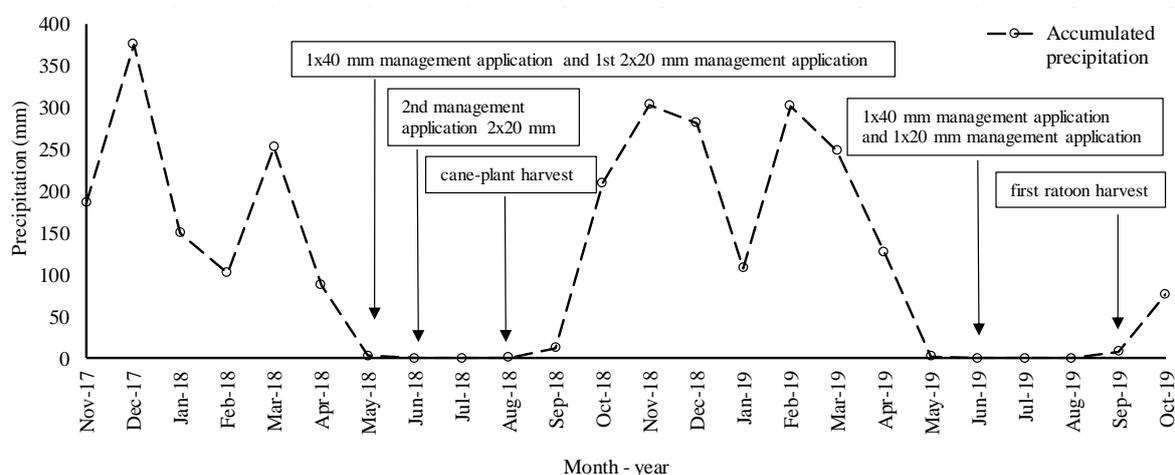


Figura 1. Precipitação pluvial acumulada registrada durante o período de condução do experimento e indicação da aplicação dos manejos e colheitas. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, fase Cerrado (SANTOS et al. 2018), com textura franco argiloso arenoso. Antes do plantio foi realizada a amostragem de solo na profundidade de 0-0,25 m para determinação das características químicas e físicas, cujos resultados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da análise química e física do solo, na profundidade de 0-0,25 m, da Fazenda Boa Sorte. Usina CRV Industrial, município de Carmo do Rio Verde, GO, 2017.

M.O g dm ⁻³	Ca	Mg	Al cmolc dm ⁻³	H+Al	P mg dm ⁻³	K	S	V %	CTC cmolc dm ⁻³
40,0	1,8	1,3	0,0	3,2	104,7	326,5	34,0	54,0	7,2
Ca+Mg	Ca/Mg	m	SB	pH CaCl ₂	Cu	Zn	B	Fe	Mn

cmolc dm ⁻³	----- % -----		cmolc dm ⁻³	-	----- mg dm ⁻³ -----				
3,75	1,4	0,0	3,9	5,0	0,99	0,87	0,2	20,0	6,51
Argila			Areia		Silte				
----- g kg ⁻¹ -----									
575,0			325,0		100,0				

Analizadas conforme Teixeira et al. (2017).

No ciclo de cana-planta, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2 x 2 x 5, com três repetições. Os fatores avaliados constituíram de dois manejos de fertirrigação com vinhaça (1x40 mm = uma aplicação com lâmina de 40 mm de vinhaça; 2x20 mm = duas aplicações com lâmina de 20 mm de vinhaça), duas partes da planta de cana-de-açúcar (folhas e colmo) e 5 épocas de coleta de plantas de cana-de-açúcar (75, 160, 180, 250 e 300 DAP – dias após o plantio). Para a variável produtividade de colmos (PC), o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2 x 5, com três repetições. Os fatores avaliados constituíram de dois manejos de fertirrigação com vinhaça (1x40 mm = uma aplicação com lâmina de 40 mm de vinhaça; 2x20 mm = duas aplicações com lâmina de 20 mm de vinhaça) e 5 épocas de coleta de plantas de cana-de-açúcar (75, 160, 180, 250 e 300 DAP – dias após o plantio).

No ciclo de cana-soca, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2 x 2 x 4, com três repetições. Os fatores avaliados constituíram de dois manejos de fertirrigação com vinhaça (1x40 mm = uma aplicação com lâmina de 40 mm de vinhaça; 1x20 mm = uma aplicação com lâmina de 20 mm de vinhaça), duas partes da planta de cana-de-açúcar (folhas e colmo) e 4 épocas de coleta de plantas de cana-de-açúcar (100, 170, 240 e 330 DAC – dias após o 1º corte). Para a variável produtividade de colmos (PC), o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 2 x 4, com três repetições. Os fatores avaliados constituíram de dois manejos de fertirrigação com vinhaça (1x40 mm = uma aplicação com lâmina de 40 mm de vinhaça; 1x20 mm = uma aplicação com lâmina de 20 mm de vinhaça) e 4 épocas de coleta de plantas de cana-de-açúcar (100, 170, 240 e 330 DAC – dias após o 1º corte).

Esse volume de vinhaça aplicada também é uma prática comum usada por agricultores que cultivam cana-de-açúcar na região do cerrado. A Usina CRV Industrial adota o manejo de uma aplicação única com uma lâmina de 40 mm de vinhaça, a partir disso, no primeiro ano foi

proposto um novo manejo com o parcelamento dessa lâmina em duas aplicações de vinhaça. No segundo ano, manteve-se o manejo de uma aplicação única com a lâmina de 40 mm de vinhaça, sendo proposto uma aplicação única de 20 mm de vinhaça.

O preparo do solo consistiu em uma subsolagem e gradagem, e de acordo com o resultado da análise do solo procedeu-se a correção do pH e da fertilidade do solo, sendo aplicado 2,36 t ha⁻¹ de calcário, 2,05 t ha⁻¹ de gesso agrícola. No plantio foi realizada a adubação no fundo do sulco com aplicação de 524 kg ha⁻¹ do formulado 05-25-25, seguindo os padrões de adubação da Usina CRV Industrial, posteriormente em cobertura foram aplicados 147 kg ha⁻¹ de ureia. No ciclo de cana-soca, aos 30 dias após a colheita da cana-planta (DAC), foi realizada a adubação com 600 kg ha⁻¹ do formulado 16-06-20 na linha de plantio.

Utilizou-se a variedade de cana-de-açúcar RB86-7515, desenvolvida pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), que tem como destaques a tolerância à seca e boa brotação de soqueira, mesmo colhida crua; alto teor de sacarose, crescimento rápido com alta produtividade.

O plantio foi realizado em 20 de novembro de 2017, com plantio convencional reduzido (semimecanizado) com distribuição mecanizada e em seguida com ajuda manual ocorreram a picotagem da cana, o plantio e posteriormente os sulcos foram tampados. As parcelas experimentais apresentavam 100 metros de comprimento com 72 metros de largura, compostas por 48 linhas de plantio, espaçadas 1,5 metros. Para as coletas da cana-de-açúcar, considerou-se apenas a área útil central de 2.520 m² de cada parcela.

Os tratos culturais referentes ao uso de herbicidas, inseticidas, fungicidas e demais produtos relacionados com o controle de plantas daninhas, pragas e doenças foram utilizados conforme a necessidade e avaliação de infestação, e de acordo com a experiência da Usina CRV Industrial.

A área experimental foi fertirrigada com vinhaça conforme os tratamentos, cujas características químicas da vinhaça utilizada estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química da vinhaça aplicada na cana-de-açúcar e quantidade de nutrientes fornecidos por manejo. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safras 2017/2018 e 2018/2019.

Descrição	Época	N	P	K ₂ O	Ca	Mg	SO ₄	Cu	Fe	Mn	Zn
	dias	g L ⁻¹						mg L ⁻¹			
Aplicação única do manejo 1x40 mm e a 1ª aplicação do manejo 2x20 mm	169 DAP	0,28	0,11	1976,0	0,53	0,29	1,28	0,20	170,0	3,4	0,53

2ª aplicação do manejo 2x20 mm	203 DAP	0,46	0,06	1686,0	0,49	0,43	1,82	0,31	83,0	2,8	1,00	
Aplicação única do manejo 1x40 mm e do manejo 1x20 mm	290 DAC	0,53	0,01	1301,0	0,69	0,42	7,38	6,88	43,0	2,4	1,21	
Manejos (mm)	Macronutrientes fornecidos pela vinhaça						N	P	K	Ca	Mg	S
	----- kg ha ⁻¹ -----											
1x40	0,11	0,04	655,24	0,21	0,12	0,17						
2x20	0,15	0,03	607,16	0,20	0,14	0,21						
1x40	0,21	0,00	431,41	0,28	0,17	0,98						
1x20	0,11	0,00	215,71	0,14	0,08	0,49						

No ciclo de cana-planta, os manejos de aplicação da vinhaça ocorreram da seguinte maneira: manejo 1 (M1), uma aplicação de 40 mm de vinhaça e o manejo 2 (M2) duas aplicações, separadamente, de 20 mm de vinhaça, onde a primeira etapa da aplicação do M1 e da metade do M2 ocorreu aos 169 dias após o plantio (DAP), enquanto a segunda aplicação do M2 ocorreu aos 203 DAP. No ciclo de cana-soca os manejos foram: manejo 1 (M1), uma aplicação de 40 mm de vinhaça e o manejo 2 (M2) uma aplicação de 20 mm de vinhaça, ambas aplicadas aos 290 DAC. Para a realização da fertirrigação, adotou-se o método de irrigação por aspersão, em sistema de irrigação mecanizado autopropelido.

No ciclo de cana-planta, aos 75, 160, 180, 250 e 300 DAP e no ciclo de cana-soca, aos 100, 150, 240 e 330 DAC, foram colhidas duas plantas, por parcela, separando seus respectivos componentes, de acordo com Marafon (2012) e obtendo suas respectivas massas fresca. Após este procedimento, subamostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C até massa constante e determinada a massa de matéria seca de cada parte da planta MSC (massa seca do colmo), MSF (massa seca das folhas verdes + massa seca do pseudocolmo + massa seca das bainhas das folhas verdes).

As amostras secas da parte aérea das plantas foram então moídas, em moinho de facas tipo Willey, e analisadas quanto aos teores de N e K conforme metodologias descritas em Malavolta et al. (1997). O acúmulo de cada macronutriente foi calculado pelo produto entre a matéria seca total do respectivo componente (colmo e folhas) da planta e o teor do nutriente encontrado no componente.

A produtividade de colmos (t ha⁻¹) foi determinada através da pesagem dos colmos colhidos, em duas linhas centrais de cada parcela. Para tanto, realizou-se o corte o mais rente possível do solo. Os colmos foram despalhados e o ponteiro destacado. Em seguida, pesadas em balança digital tipo gancho (precisão = 0,02 kg), com capacidade de 50 kg.

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F ao nível de 5% de probabilidade e em caso de significância foi realizada a análise de regressão para as épocas de avaliação, enquanto para os manejos de fertirrigação e partes da planta, as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2019).

4.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.3.1 Ciclo de cana-planta

Houve efeito significativo da interação partes da planta x épocas de avaliação realizadas na cultura da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-planta, para as variáveis acúmulo de nitrogênio (N) e acúmulo de potássio (K). A produtividade de colmos (PC) da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-planta foi influenciada pelas épocas de avaliação. Esse comportamento é esperado, visto que, ao longo do tempo no mesmo ciclo, a planta de cana-de-açúcar tende a acumular maior quantidade de matéria e nutrientes, comportamento semelhante foi encontrado por Silva et al. (2018), Lemoes et al. (2017), Oliveira et al. (2011), Silva (2011) e Silva (2007).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as variáveis de acúmulo (N e K) e produtividade de colmos da planta de cana-de-açúcar (var. RB86-7515) submetida a diferentes manejos de fertirrigação e épocas de avaliação, no ciclo de cana-planta. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2017/2018.

FV	GL	Quadrados Médio		
		² Acúmulo de N	² Acúmulo de K	Produtividade de Colmos
Manejos	1	0,551 ^{ns}	0,385 ^{ns}	377,72 ^{ns}
Bloco	2	1,424 ^{ns}	3,239 ^{ns}	55,518 ^{ns}
Desvio (1)	2	1,463	5,639	101,732
Partes da planta	1	10,944 ^{ns}	449,028 ^{**}	-
Manejos x Partes da Planta	1	4,083 ^{ns}	4,304 ^{ns}	-
Desvio (2)	2	1,075	1,699	53,934
Época de avaliação	4	78,623 ^{**}	271,613 ^{**}	8907,132 ^{**}
Manejos x Época de Avaliação	4	0,573 ^{ns}	2,57 ^{ns}	9,759 ^{ns}
Partes da Planta x Época de Avaliação	4	39,738 ^{**}	145,611 ^{**}	-
Manejos x Partes da Planta x Época de Avaliação	4	0,52 ^{ns}	3,667 ^{ns}	-
Desvio (3)	34	0,721	2,794	-
¹ CV 1		15,8	17,4	20,7
¹ CV 2		13,5	9,6	20,5
¹ CV 3		11,1	12,3	-

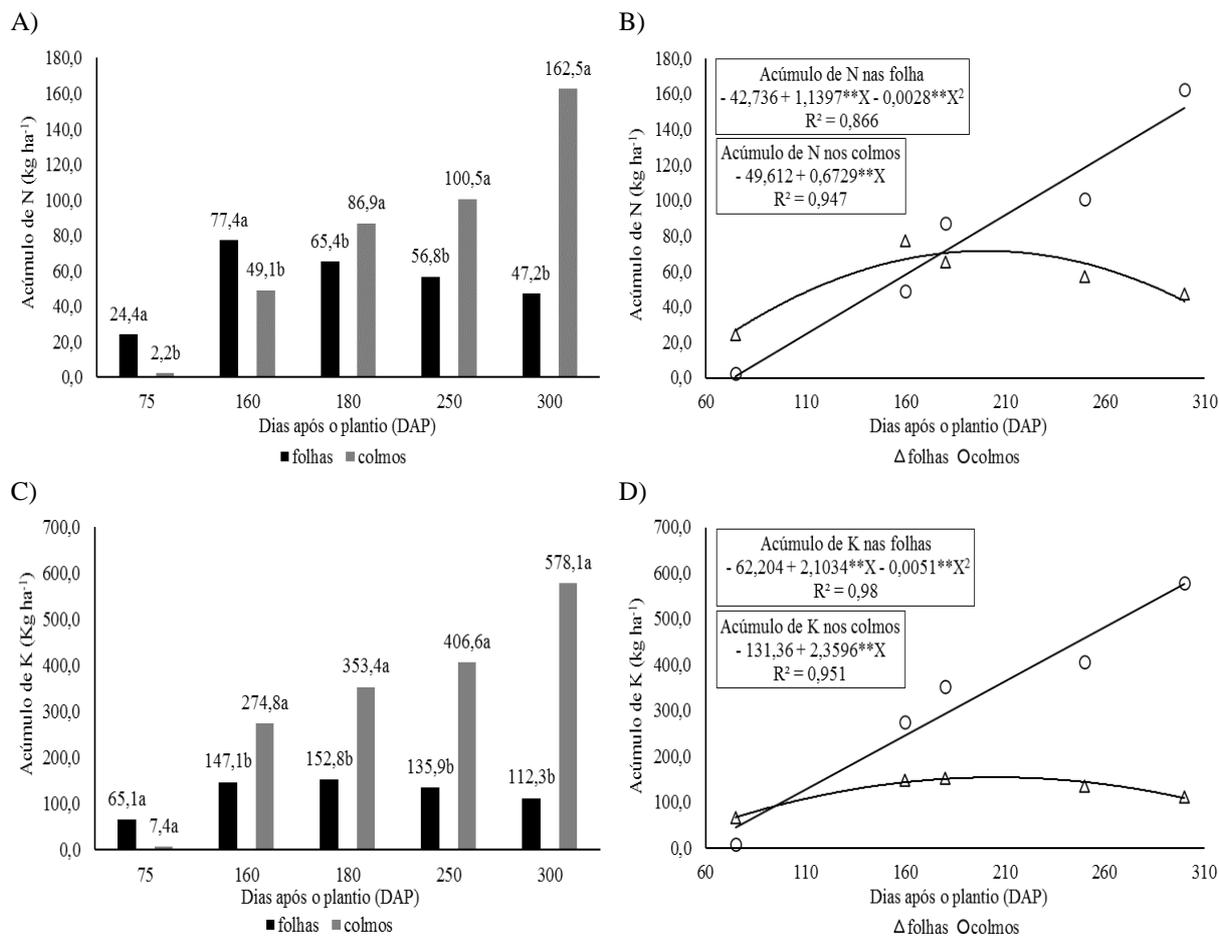
¹Coefficiente de variação (CV). ²Dados transformados em raiz de (X+0,5). ^{**} e ^{*} significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

As folhas da cana-de-açúcar aos 75 e 160 DAP, acumularam 24,4 e 77,4 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, superior 90,8 e 36,6% ao acúmulo de N nos colmos, respectivamente. Aos 180, 250 e 300 DAP, nos colmos da cana-de-açúcar, observou-se acúmulo de 86,9; 100,5 e 162,5 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, superior 24,7; 43,5 e 71,0% ao acúmulo de N encontrado nas folhas, respectivamente (Figura 2A). Segundo as equações de regressão obtidas (Figura 2B) para as folhas da cana-de-açúcar, estimou-se acúmulo máximo de 73,2 kg ha⁻¹ de N, e para os colmos acúmulo máximo de 152,3 kg ha⁻¹ de N, aos 204 e 300 DAP, respectivamente.

Aos 160, 180, 250 e 300 DAP, nos colmos da cana-de-açúcar, observou-se acúmulo de 274,8; 353,4; 406,6 e 578,1 kg ha⁻¹ de K, respectivamente, superior 46,5; 56,8; 66,6 e 80,6% ao acúmulo de K nas folhas, respectivamente (Figura 2C). Segundo as equações de regressão obtidas (Figura 2D) para as folhas da cana-de-açúcar, estimou-se acúmulo máximo de 154,7 kg ha⁻¹ de K, e para os colmos acúmulo de máximo de 647,3 kg ha⁻¹ de K, aos 206 e 330 DAP, respectivamente.

O maior acúmulo de N nas folhas, até os 160 DAP, foi devido a maior quantidade de matéria seca encontrada nas folhas, superior à encontrada nos colmos. Logo após os 160 DAP, esse comportamento se inverteu, os colmos passaram a acumular maior quantidade de matéria seca, até os 300 DAP, consequentemente obtendo maior acúmulo de N. Mesmo a matéria seca das folhas sendo superior até os 160 DAP, verificou-se maior acúmulo de K nos colmos, justificado pela elevada concentração de K nessa parte da planta de cana-de-açúcar.

Para a cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta, Oliveira et al. (2011) verificaram acúmulo de N nas folhas de 80,0 kg ha⁻¹ e nos colmos de 137,0, aos 120 e 272 DAP, respectivamente, ainda, constataram acúmulo nas folhas de 167,6 kg ha⁻¹ de K e nos colmos de 275,6 kg ha⁻¹ de K aos 120 e 246 DAP, respectivamente. Schultz et al. (2010) aplicando duas lâminas de 7,5 mm de vinhaça (150 m³ ha⁻¹) em cana-planta (var. RB86-7515), observaram acúmulo de N e K nos colmos de 117,4 e 429,9 kg ha⁻¹, respectivamente, aos 450 DAP. Para Silva (2007), a variedade RB86-7515 obteve acúmulo de N nas folhas e nos colmos de 65,8 e 69,8 kg ha⁻¹, respectivamente, aos 300 DAP, ainda verificou acúmulo de K nas folhas e nos colmos de 82,1 e 91,7 kg ha⁻¹ respectivamente, aos 300 DAP.



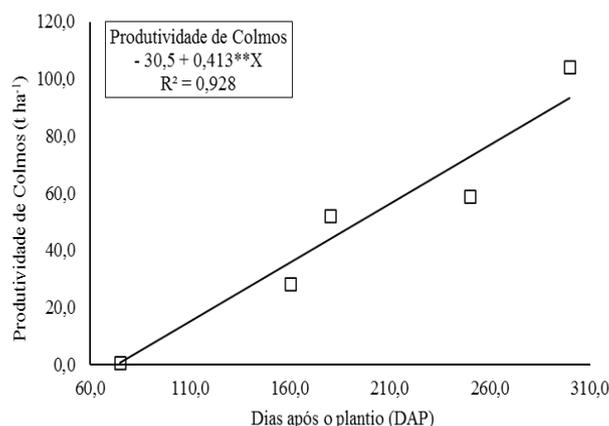
Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F a 5%.

Figura 2. Acúmulo de nitrogênio (A e B), acúmulo de potássio (C e D) da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-planta, em função das diferentes partes da planta (A e C) e épocas de avaliação (B e D). Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2017/2018.

De acordo com o levantamento realizado pela Conab (2019), para a safra 2017/2018, foi observado a produtividade de colmos média de 77,4 e 72,5 t ha⁻¹ para o estado de Goiás e para o Brasil, respectivamente. Segundo a equação de regressão linear (Figura 3), estimou-se a PC de 93,4 t ha⁻¹ aos 300 DAP, demonstrado que a produtividade de colmos encontrada no presente trabalho foi numericamente superior as médias observadas em Goiás e no Brasil.

Silva (2007) constatou que a cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-planta, apresentou a produtividade de colmos de 73,0 t ha⁻¹ aos 360 DAP. Schultz et al. (2010) aplicando duas lâminas de 7,5 mm de vinhaça (150 m³ ha⁻¹) em cana-planta (var. RB86-7515), obteve a produtividade de colmos de 121,1 t ha⁻¹ aos 450 DAP. Uchôa et al. (2009), estudando

a aplicação de doses de potássio (K_2O) em cana-planta (var. RB86-7515) cultivada em região de Cerrado no estado de Roraima, verificou o ajuste dos dados em um modelo de regressão quadrático observando que com uma dose de $278,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O estimou a produtividade de colmos de $63,6 \text{ t ha}^{-1}$ aos 330 DAP.



** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F a 5%.

Figura 3. Produtividade de colmos da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-planta, em função das épocas de avaliação. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2017/2018.

4.3.2 Ciclo de cana-soca

Para o ciclo de cana-soca da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), observou-se efeito significativo para a interação manejos de fertirrigação x parte e para a interação partes da planta x épocas de avaliação para a variável acúmulo de nitrogênio (N). Para o acúmulo de potássio (K), ocorreu efeito significativo para a interação manejos de fertirrigação x época de avaliação e para a interação partes da planta x épocas de avaliação. A produtividade de colmos da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-soca, foi influenciada pelas épocas de avaliação (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis de acúmulo (N e K) e produtividade de colmos da planta de cana-de-açúcar (var. RB86-7515) submetida a diferentes manejos de fertirrigação e épocas de avaliação, no ciclo de cana de cana-soca. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2018/2019.

FV	GL	Quadrados Médio		
		Acúmulo de N	Acúmulo de K	Produtividade de Colmos
Manejos	1	391,306 ^{ns}	268,853 ^{ns}	9,513 ^{ns}
Bloco	2	106,415 ^{ns}	885,589 ^{ns}	25,137*
Desvio (1)	2	20,03	74,017	0,7603
Partes da planta	1	1283,504**	282955,79**	-

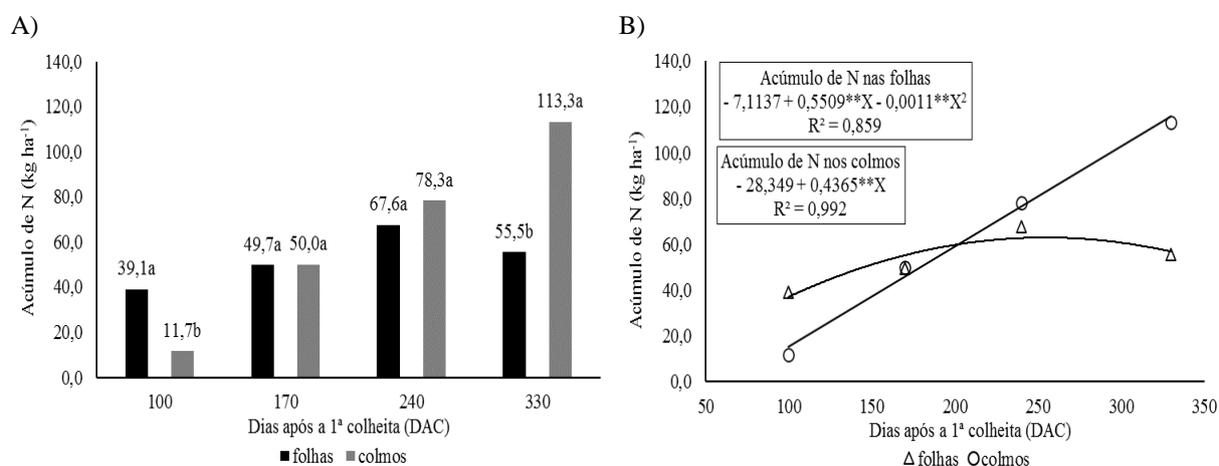
Manejos x Partes da Planta	1	29,406 ^{ns}	17,787 ^{ns}	-
Desvio (2)	2	1,135	59,733	53,934
Época de avaliação	3	8199,782 ^{**}	99451,533 ^{**}	13306,099 ^{**}
Manejos x Época de Avaliação	3	9,076 ^{ns}	4401,391 ^{**}	9,759 ^{ns}
Partes da Planta x Época de Avaliação	3	3780,568 ^{**}	79062,698 ^{**}	-
Manejos x Partes da Planta x Época de Avaliação	3	210,79 ^{ns}	597,657 ^{ns}	-
Desvio (3)	26	80,257	804,401	-
¹ CV 1		7,7	4,4	1,8
¹ CV 2		1,8	3,9	14,8
¹ CV 3		15,4	14,5	-

¹Coeficiente de variação (CV). ^{**} e ^{*} significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

As folhas da cana-de-açúcar, aos 100 DAC, acumularam 39,1 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, superior 70,2% ao acúmulo de N nos colmos, respectivamente. Aos 330 DAC, nos colmos da cana-de-açúcar, observou-se acúmulo de 113,3 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, superior 51,0% ao acúmulo de N nas folhas, respectivamente (Figura 4A). Comportamento similar foi observado por Salviano et al. (2017), que verificaram que até os 133 DAC, o acúmulo de N foi maior na palhada da cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca.

O nitrogênio participa como constituinte de muitas plantas, sendo encontrado em componentes das células, incluindo aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos e sua deficiência pode causar a redução da clorofila, essencial para produzir carboidratos e esqueletos de carbono, refletindo diretamente no desenvolvimento e no rendimento da safra (TAIZ e ZEIGER, 2017).

Segundo as equações de regressão obtidas (Figura 4B) para as folhas da cana-de-açúcar estimou-se acúmulo máximo de 61,9 kg ha⁻¹ de N, e para os colmos acúmulo máximo de 115,7 kg ha⁻¹ de N, aos 250 e 330 DAC, respectivamente.



Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F a 5%.

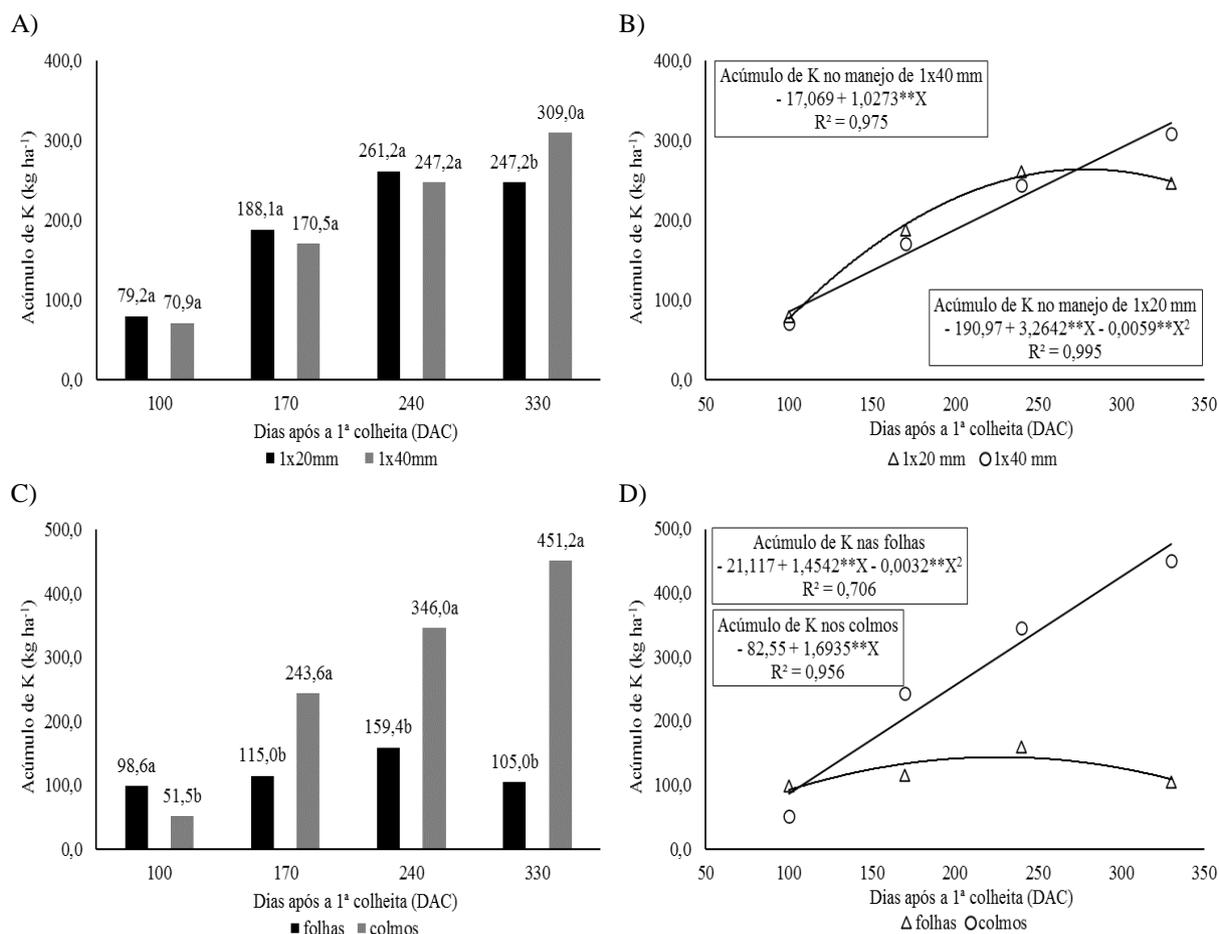
Figura 4. Acúmulo de nitrogênio em plantas de cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-soca, em função das partes da planta (A) e épocas de avaliação (B). Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2018/2019.

O manejo de fertirrigação de 1x40 mm, promoveu acúmulo de 309,0 kg ha⁻¹ de K aos 330 DAC, superior 20% ao acúmulo de K no manejo de fertirrigação de 1x20 mm (Figura 5A). Segundo as equações de regressão obtidas (Figura 5B) para os manejos de fertirrigação de 1x20 e 1x40 mm de vinhaça, estimou-se acúmulo máximo 260,5 e 221,9 kg ha⁻¹ de K, respectivamente, aos 227 e 330 DAC, respectivamente. Para o ciclo de cana-soca, as plantas no manejo de 1x40 mm de vinhaça acumularam mais K, comparado ao manejo de 1x20 mm de vinhaça, certamente pela quantidade superior de K fornecida pelo manejo de 1x40 mm de vinhaça (Tabela 2, Figuras 5A e 5B). Flores et al. (2014) e Andrade (2018) observaram que, o aumento no fornecimento de K, proporcionou incrementos significativos no acúmulo de potássio nos colmos, nas folhas e na parte aérea, na primeira e na segunda soqueira de cana-de-açúcar.

As folhas da cana-de-açúcar, aos 100 DAC, acumularam 98,6 kg ha⁻¹ de K, respectivamente, superior 47,8% ao acúmulo de K nos colmos, respectivamente. Aos 170, 240 e 330 DAC, nos colmos da cana-de-açúcar, observou acúmulo de 243,6; 346,0 e 451,2 kg ha⁻¹ de K, respectivamente, superior 52,2; 53,9 e 76,7% ao acúmulo de K nas folhas, respectivamente (Figura 5C). Comportamento similar foi observado por Salviano et al. (2017), que verificaram que a partir dos 168 DAC, o acúmulo de K foi maior nos colmos da cana-de-açúcar no ciclo de cana-soca.

O potássio tem importante papel na planta de cana-de-açúcar como ativador metabólico relacionados à fotossíntese, osmorregulação, respiração, absorção de nitrogênio, proteína e síntese de amido (MARSCHENER et al. 2012).

Segundo as equações de regressão obtidas (Figura 5D) para as folhas da cana-de-açúcar estimou-se acúmulo máximo de 144,1 kg ha⁻¹ de K, e para os colmos acúmulo máximo de 476,3 kg ha⁻¹ de K, aos 227 e 330 DAC, respectivamente.



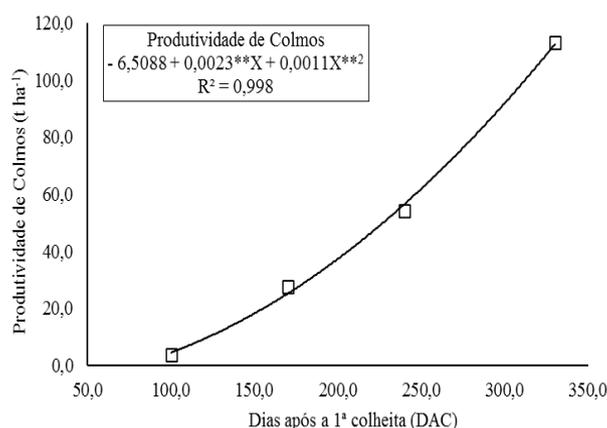
Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F a 5%.

Figura 5. Acúmulo de potássio em plantas de cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-soca, em função dos manejos (A), das partes da planta (C) e épocas de avaliação (B e D). Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2018/2019.

De acordo com o levantamento realizado pela Conab (2020), para a safra 2018/2019 foi observado a produtividade de colmos média de 76,3 e 72,2 t ha⁻¹ para o estado de Goiás e para o Brasil, respectivamente. Segundo a equação de regressão quadrática (Figura 6), estimou-se PC de 114,0 t ha⁻¹ aos 330 DAC.

Semelhante ao apresentado no presente trabalho, Silva et al. (2014) aplicando diferentes volumes de vinhaça em cana-de-açúcar, verificou que os dados se ajustaram ao modelo de regressão quadrático, constatando que os volumes de 200 e 400 m³ ha⁻¹ (equivalente aos manejos 1x20 mm e 1x40 mm) de vinhaça, promoveram a produtividade de colmos de 125,3 e 129,4 t ha⁻¹, respectivamente, colhidas aproximadamente aos 340 DAC.

Prado et al. (2017) observaram efeito linear na produtividade de colmos da cana-de-açúcar, ciclo de 3ª soca, em função de diferentes doses de vinhaça, sendo estimada a produtividade de colmos de 71,0 e 72,0 t ha⁻¹, para doses de 200 e 400 m³ ha⁻¹ (equivalente aos manejos 1x20 mm e 1x40 mm) de vinhaça, respectivamente, colhidas aproximadamente aos 300 DAC.



** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F a 5%.

Figura 6. Produtividade de colmos da cana-de-açúcar (var. RB86-7515), no ciclo de cana-soca, em função das épocas de avaliação. Usina CRV Industrial, fazenda Boa Sorte, município de Carmo do Rio Verde, GO, safra 2017/2018.

O presente estudo demonstra que os manejos de fertirrigação com vinhaça propostos não se diferenciaram entre si, apesar disso o uso de vinhaça constitui importante fonte de nutrientes para a cana-de-açúcar, sobretudo de K, além de água, podendo ser utilizada nas próprias áreas de canavial. Isto, torna-se aspecto ambiental e é uma forma de aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção, considerando os custos dos fertilizantes minerais. O acúmulo de N é maior nas primeiras fases fenológicas da planta de cana-de-açúcar, posteriormente o acúmulo de K é predominante até o momento da colheita. O acúmulo de K na planta de cana-de-açúcar se mostrou significativo, sendo necessário a sua reposição no solo, garantindo o prolongamento das safras.

4.4 CONCLUSÃO

No momento da colheita, a cana-de-açúcar (var. RB86-7515) acumulou nos colmos 162,5 kg ha⁻¹ de N e 578,1 kg ha⁻¹ de K, no ciclo de cana-planta. Para o ciclo de cana-soca, o acúmulo nos colmos foi de 113,3 kg ha⁻¹ de N e 578,1 kg ha⁻¹ de K.

A cana-de-açúcar (var. RB86-7515) tende a acumular uma quantidade de N superior em comparação aos colmos até os 160 DAP para o ciclo de cana-planta e até os 100 DAC para o ciclo de cana-soca. Esse comportamento se inverte após esse período, tornando o colmo a parte da planta com maior acúmulo de N até o momento da colheita.

No ciclo de cana-soca, o manejo de fertirrigação de 1x40 mm, promoveu acúmulo de 309,0 t ha⁻¹ de K na parte área da planta de cana-de-açúcar (var. RB86-7515).

Para a cana-de-açúcar (var. RB86-7515), verificou-se produtividade de colmos de 93,4 e 114,0 t ha⁻¹, no ciclo de cana-planta e no ciclo de cana de cana-soca, respectivamente.

4.5 AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) ao departamento de agricultura irrigada em áreas de Cerrado (AGRICE), ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano), à Pró-reitora de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (Proppi) pelo auxílio financeiro ao presente projeto de pesquisa e a Usina CRV Industrial pelos tratos culturais realizados durante a condução do experimento.

4.6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. F. **Dinâmica de potássio no sistema solo-planta em cana-soca sob condições edafoclimáticas de cerrado**. 2018. 87 f (Master Thesis). Universidade Federal de Goiás - Programa de Pós Graduação em Agronomia, Goiânia, Goiás. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/9139>>. Acesso em: 14 de julho de 2021.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22 n. 6, p. 711 – 728, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>. Acesso em: 14 de outubro de 2021.

BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, R. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça via irrigação por gotejamento subsuperficial em três ciclos de cana-soca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 588–594, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000600003>>. Acesso em: 22 de junho de 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar 2018/2019. Safra 2018/19, v. 5, n. 4, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>

Acesso em: 23 outubro. 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar 2019/2020. Safra 2019/20, v. 6, n. 4, 2020.

Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>> Acesso em: 23 outubro 2021.

CARVALHO, J. M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; CARVALHO, M. P. Produtividade de cana soca sem queima em função do uso de gesso e vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 1-9, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000100001>>. Acesso em: 21 de maio de 2021.

CEOTTO, E. & CASTELLI, F. Radiation-use efficiency in fluecured tobacco (*Nicotiana tabaccum* L.): Response to nitrogen supply, climatic variability and sink limitation. **Field Crops Research**, v. 74, n. 2-3, p. 117-130, 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00201-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00201-5)>. Acesso em: 12 de maio de 2021.

CHIEPPE JÚNIOR, J. B. Gestão de Resíduos. João Baptista Chieppe Júnior. – Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 48 p. Disponível em: <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_prd_industr/tec_acucar_alcool/161012_est_resid.pdf> Acesso em: 06 março. 2018.

FERREIRA, DANIEL FURTADO. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>>. Acesso em: 12 de maio de 2021.

FLORES, R. A.; PRADO, R. M.; PANCELLI, M. A.; ALMEIDA JUNIOR, H.; MODA, L. R.; BORGES, B. M. M. N.; SOUZA JUNIOR, J. P. Potassium nutrition in the first and second ratoon sugarcane grown in an Oxisol by a conservationist system. **Chilean journal of agricultural research**, v. 74, n.1, p. 83-88, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392014000100013>>. Acesso em: 02 de agosto de 2021.

FRANCO, A.; MARQUES, M, O.; MELO, W. J. Sugarcane grown in an oxisol amended with sewage sludge and vinasse: Nitrogen contents in soil and plant. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 4, p. 408-414, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000400013>>. Acesso em: 05 de junho de 2021.

HASSANLI, A. M.; AHMADIRAD, S.; BEECHAM, S. Evaluation of the influence methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 2, p. 357-362, 2010. Disponível em: <www.researchgate.net/publication/46488775>. Acesso em: 05 de junho de 2021.

LEMOES, L. S.; HÄRTER, A.; ANTUNES, W. R.; MASCARENHAS, L. S.; SIMON, E. D. T.; VARNES, L. S.; SILVA, S. D. A. Acúmulo de biomassa em genótipos de cana-de-açúcar. **Revista da 14ª Jornada e Pós-Graduação e Pesquisa – GONGREGA URCAMP**, p. 465-476, 2017. Disponível em: <<http://revista.urcamp.tche.br/index.php/rcjppg/article/view/619>>. Acesso em: 14 de junho de 2021.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações**. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 319 p, 1997.

MARAFON, A.C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 31 p. 2012 (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 168). Disponível em <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf>. Acesso em: 25 de setembro de 2017

MARSCHNER, P. **Mineral Nutrition of higher plants**. 3.ª ed. San Diego, Elsevier, 2012. 651 p.

MEDEIROS, P. R. F.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F. Eficiência do uso da água e de fertilizantes no manejo de fertirrigação no cultivo do tomateiro sob condições de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 2, p. 344-351, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.5039/agraria.v7i2a1563>>. Acesso em: 16 de julho de 2021.

OLIVEIRA, E. L.; ANDRADE, L. A. B.; FARIA, M. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; MORAIS, A. R. Uso de vinhaça de alambique e nitrogênio em cana-de-açúcar irrigada e não irrigada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1398-1403, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001100005>>. Acesso em: 16 de julho de 2021.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G. S.; SIMÕES NETO, D. E. SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 34, p. 1343-1352, 2010. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400031>>. Acesso em: 03 de junho de 2021.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300002>>. Acesso em: 14 de maio de 2021.

PEREIRA, K. T. O.; OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, A. L. G.; DANTAS, R. P.; OLIVEIRA, M. K. T.; COSTA, J. P. B. M. Qualidade de mudas de moringa sob diferentes níveis de nutrientes aplicados via fertirrigação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 497-504, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1038>>. Acesso em: 05 de maio de 2021.

PRADO, E. A. F.; VITORINO, A. C. T.; MAUAD, M.; ENSINAS, S. C.; PAIM, L. R. Características tecnológicas da cana-de-açúcar sob aplicação de doses de vinhaça em Latossolo Vermelho distroférico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 4, p. 386-395, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.5965/223811711642017386>>. Acesso em: 05 de maio de 2021.

SALVIANO, A. M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Acúmulo e exportação de macronutrientes pela cana de açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Científica Intellecto**, v. 2, n. 2, p. 16-27, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1079294/acumulo-e-exportacao-de-macronutrientes-pela-cana-de-acucar-irrigada-no-semiarido-brasileiro>>. Acesso em 05 de maio de 2021.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 5 ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 588 p, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs>>. Acesso em: 15 de agosto de 2019.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 811-220, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300023>>. Acesso em: 05 de maio de 2021.

SILVA, L. C. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar (saccharum spp.) na região de Coruripe-Al**. 2007. 74 f. (Master Thesis). Universidade

Federal de Alagoas – Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, Alagoas. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/194>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

SILVA, V. T. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar, em cana-soca, na região de Coruripe-AL**. 2011. 104 f (Master Thesis). Universidade Federal de Alagoas – Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, Alagoas. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/262>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

SILVA, A. P. M.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, F. A. R. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 38-43, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100006>>. Acesso em: 15 de julho de 2021.

SILVA, V. S. G.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; OLIVEIRA, T. B. A.; SANTANA, M. B.; GALVÃO, E. R. Stalk yield and nutrients accumulation of sugarcane varieties in three crop cycles. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 415-423, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.19084/RCA17051>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição. Brasília: Embrapa Solos. 574 p, 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

UCHÔA, S. C. P.; ALVES JUNIOR, H. O.; ALVES, J. M. A.; MELO, V. F.; FERREIRA, G. B. Resposta de seis variedades de cana-de-açúcar a doses de potássio em ecossistema de cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 4, p. 505-513, 2009. Disponível em: <<http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/359>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2021.

5.0 CONCLUSÃO GERAL

No ciclo de cana-planta, o manejo de fertirrigação de 2x20 mm de vinhaça promoveu o acúmulo de 769,42 kg ha⁻¹ de K, o retorno de 176,03 kg ha⁻¹ de K e a exportação de 593,39 kg ha⁻¹ de K, valores superiores em comparação ao manejo de fertirrigação de 1x40 mm de vinhaça.

No ciclo de cana-soca, o manejo de fertirrigação de 1x40 mm de vinhaça promoveu o acúmulo de 650,73 kg ha⁻¹ de K, o retorno de 159,17 kg ha⁻¹ de K e a exportação 491,57 kg ha⁻¹ de K, valores superiores em comparação com manejo de fertirrigação de 1x20 mm de vinhaça.

O acúmulo de macronutrientes na cana-de-açúcar seguiu a ordem decrescente: K>N>Ca>Mg=S=P.

De 54,0 a 80,0% do total de macronutrientes acumulados na cana-de-açúcar foram exportados no colmo na colheita, sendo o K o nutriente mais exportado.

No momento da colheita, a cana-de-açúcar (var. RB86-7515) acumulou nos colmos 162,5 kg ha⁻¹ de N e 578,1 kg ha⁻¹ de K, no ciclo de cana-planta. Para o ciclo de cana-soca, o acúmulo nos colmos foi de 113,3 kg ha⁻¹ de N e 578,1 kg ha⁻¹ de K.

As folhas de cana-de-açúcar (var. RB86-7515) tendem a acumular quantidade de N superior em comparação aos colmos até os 160 DAP para o ciclo de cana-planta e até os 100 DAC para o ciclo de cana-soca. Esse comportamento se inverte após esse período, tornando o colmo a parte da planta com maior acúmulo de N até o momento da colheita.

No ciclo de cana-soca, o manejo de fertirrigação de 1x40 mm, promoveu acúmulo de 309,0 t ha⁻¹ de K na parte área da planta de cana-de-açúcar (var. RB86-7515).

Para a cana-de-açúcar (var. RB86-7515), verificou-se a produtividade de colmos de 93,4 e 114,0 t ha⁻¹, no ciclo de cana-planta e no ciclo de cana de cana-soca, respectivamente.