

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

GABRIELLA ROQUETTI GUIMARÃES ALOISE

DOSES DE FERTILIZANTES POTÁSSICOS NO ACÚMULO DE CLORO E
PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

UBERLÂNDIA
2018

GABRIELLA ROQUETTI GUIMARÃES ALOISE

**DOSES DE FERTILIZANTES POTÁSSICOS NO ACÚMULO DE CLORO E
PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador:

Prof. Dr. Beno Wendling

Co-orientador:

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

A453d
2018

Aloise, Gabriella Roquette Guimarães, 1987
Doses de fertilizantes potássicos no acúmulo de cloro e produção da cana-de-açúcar / Gabriella Roquette Guimarães Aloise. - 2018.
56 f. : il.

Orientador: Beno Wendling.
Coorientador: Hamilton Seron Pereira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.729>
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Cana-de-açúcar - Adubos e fertilizantes - Teses. 3. Fertilizantes potássicos - Teses. 4. Biomassa - Teses. I. Wendling, Beno. II. Pereira, Hamilton Seron. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

Angela Aparecida Vicentini Tzi Tziboy – CRB-6/947

GABRIELLA ROQUETTI GUIMARÃES ALOISE

**DOSES DE FERTILIZANTES POTÁSSICOS NO ACÚMULO DE CLORO E
PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira UFU
(co-orientador)

Dr. Gustavo Alves Santos UFU

Prof. Dr. Henrique Gualberto Vilela Penha IFTM

Prof. Dr. Beno Wendling
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e amigos. Em especial ao Gabriel, Valentina,
Vitória, Vinícius e Maria Rita.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, aos meus pais Teresa e Ricardo por me apoiarem na realização do mestrado, pela educação que ambos me proporcionaram, pelo amor imensurável que temos uns pelos outros. Agradeço mãe e pai por cada ligação, por cada conselho, por cada abraço, sou eternamente grata a exatamente TUDO que vem de vocês. Agradeço as minhas irmãs Carolina e Maria Paula sempre com uma palavra amiga para alegrar meus dias. Agradeço imensamente ao meu namorado Guilherme pela companhia, por diversas vezes ter me ajudado na condução do experimento, pelas caronas e por ser minha família aqui em Uberlândia. Ao meu amigo Ewander que sempre esteve presente dando conselhos, estudando, me fazendo rir e comemorando a vida. Ao Jorge, Vanessa e Douglas pela grande ajuda na realização deste trabalho, pela amizade, conselhos e companhia no laboratório. Agradeço ao alunos de iniciação científica Gustavo, Aline e Getúlio pela grande ajuda. Agradeço a Tati, Camila e Géssika pela amizade e ajuda na condução do experimento. Agradeço ao Luiz e Gustavo por sempre sanar minha dúvida e pela ajuda ao longo deste trabalho. Agradeço aos professores Beno e Hamilton por este projeto. Agradeço a CAPES e a Universidade Federal de Uberlândia por me dar condições suficientes para realização deste Mestrado.

BIOGRAFIA

GABRIELLA ROQUETTI GUIMARÃES ALOISE, filha de Ricardo Aloise Júnior e Maria Teresa Roquetti Guimarães Aloise, natural de São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais.

Em 2015 formou-se bacharel em Química Industrial pela Universidade Federal de Uberlândia.

Em março de 2016 ingressou no Mestrado em Agronomia, área de concentração Solos do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), vindo a defender o título de *Magister Scientiae* nesta ocasião.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS.....	3
I- PARÂMETROS BIOMÉTRICOS E ACÚMULO DE CLORO NA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR FRENTE À DOSES DE FERTILIZANTES POTÁSSICOS.....	4
RESUMO	4
BIOMETRIC PARAMETERS AND CHLORINE ACUMULATION IN SUGARCANE BIOMASS TREATED WITH DOSES OF POTASSIUM FERTILIZERS.....	5
ABSTRACT	5
INTRODUÇÃO.....	6
MATERIAL E MÉTODOS.....	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
CONCLUSÕES.....	26
AGRADECIMENTOS	27
REFERÊNCIAS	28
II- ACÚMULO DE CLORO NA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR	30
RESUMO	30
CHLORINE ACUMULATION IN SUGARCANE BIOMASS	31
ABSTRACT	31
INTRODUÇÃO.....	32
MATERIAL E MÉTODO	34
RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
CONCLUSÃO.....	43
AGRADECIMENTOS	44
REFERÊNCIAS	45
CONSIDERAÇÕES FINAIS	47

RESUMO GERAL

O alto consumo de fertilizantes utilizados na cultura da cana-de-açúcar decorre da elevada necessidade nutricional, devido à grande produção de biomassa por área e da elevada remoção de nutrientes no processo de colheita. A utilização do fertilizante potássico KCl pode ser um fator que contribua indiretamente com a poluição do meio ambiente, emitindo moléculas cloradas tóxicas através da queima da biomassa da cana-de-açúcar utilizada para a produção de energia nas usinas. Conhecer as fontes dessas moléculas é de grande importância na determinação do risco ao qual as pessoas e outros receptores estão expostos e para o estabelecimento de alternativas para o controle destes poluentes. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a resposta da cana-de-açúcar frente a fontes e doses de fertilizantes potássicos e investigar o acúmulo de cloro proveniente do fertilizante potássico KCl. Para testar as hipóteses desta pesquisa foram instalados 2 experimentos na área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, no Campus Umuarama em Uberlândia- MG, no ano de 2016. A unidade experimental (parcela) de ambos os experimentos constituiu-se de um vaso com: 0,60 m de diâmetro, 0,92 m de altura, preenchido com 200 kg de solo onde foram plantadas 3 mudas de cana-de-açúcar da variedade RB 93-7570. Ambos os experimentos foram dispostos em blocos casualizados, com 4 repetições. O experimento 1 constituiu-se de fatorial 2x4+1, sendo duas fontes de potássio KCl e K₂SO₄, quatro doses de K₂O (100, 200, 400, 800 kg ha⁻¹) e um adicional sem adição de fontes de potássio. As variáveis biométricas da cana-de-açúcar não apresentaram diferenças significativas com relação ao fatorial, exceto pelo diâmetro médio de colmos. As variáveis massa fresca (MF), massa seca (MS) e produtividade de massa fresca (PMF) estão em função das doses de K₂O, as quais descreveram modelos matemáticos quadráticos. No experimento 2 foram aplicados 5 doses de uma fonte de K₂O constituída pela combinação de dois fertilizantes (KCl+K₂SO₄) na seguinte proporção 0+400, 100+300, 200+200, 300+100, 400+0 (kg ha⁻¹) de K₂O, de modo que a concentração de K₂O permanecesse constante (400 kg ha⁻¹) e houvesse variação na concentração de cloreto. A concentração de cloreto na biomassa da cana-de-açúcar adequou-se a um modelo matemático quadrático, com esta equação, estimou-se o acúmulo de cloreto na biomassa seca da cana-de-açúcar na safra de 2017/2018, que variou de 0,71 a 0,85 Mg.

Palavras-chave: cloro, fontes de K₂O, poluição, biomassa, meio-ambiente.

ABSTRACT

The high consumption of fertilizers used in sugar cane is due to its high nutritional needs as a function of the large biomass production per area and the high nutrient removal in the harvesting process. The use of potassic KCl fertilizer may be a factor that contributes indirectly to environmental pollution by emitting toxic chlorinated molecules from burning sugar cane biomass for the production of energy in ethanol and sugar industries. Knowledge of the sources of these molecules is important to determine the exposition risks for persons and other receptors and to establish alternatives for the control of these pollutants. This study evaluated the response of sugar cane treated with sources and doses of potassium fertilizers and investigated the accumulation of chlorine from KCl potassium fertilizer. In order to test the hypotheses of this study, two experiments were installed in the experimental area of the Institute of Agricultural Sciences of the Federal University of Uberlândia, at the Umuarama Campus in Uberlândia-MG, in 2016. The experimental unit of both experiments consisted of a 0.60-m diameter and 0.92-m high vase, filled with 200 kg of soil where three sugar cane seedlings, variety RB 93-7570, were planted. Both experiments were arranged in randomized blocks with four replicates. Experiment 1 consisted of a factorial (2x4 + 1), two potassium sources, KCl and K₂SO₄, four K₂O doses (100, 200, 400, 800 kg ha⁻¹) and one additional treatment without potassium sources. Sugarcane biometric variables did not present significant interactions, except for stalk average diameter. The variables fresh matter (FM), dry matter (DM) and fresh matter productivity (FMP) varied in function of K₂O doses, which described quadratic mathematical models. In experiment 2, five doses of a K₂O source consisting of the combination of two fertilizers (KCl + K₂SO₄) were applied in the following ratio (0 + 400, 100 + 300, 200 + 200, 300 + 100, 400 + 0 (kg ha⁻¹) of K₂O so that the concentration (of K₂O) remained constant (400 kg ha⁻¹) while the concentration of chloride varied. Chloride concentration in sugarcane biomass was adjusted to a quadratic mathematical model, which allowed the estimation of chloride accumulation in sugarcane biomass, in the 2017/2018 harvest, between 0.71 and 0.85 Mg.

Keywords: chlorine, K₂O sources, pollution, biomass, environment.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Estima-se que para a safra de 2017/2018 a produção atinja 647,6 milhões de toneladas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2017). A cultura da cana-de-açúcar consome aproximadamente 13% do total de fertilizantes utilizados anualmente no Brasil (OTTO; VITTI; LUZ, 2010). Em 2017 as entregas de fertilizantes potássicos no Brasil apresentaram alta de 2,2% em relação ao ano anterior alcançando um total de 5,9 milhões de toneladas, resultado do aumento da demanda, dentre outras culturas, a da cana-de-açúcar (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS- ANDA, 2018).

O macronutriente mais extraído pela cana-de-açúcar é o potássio, sendo a maior parte deste, cerca de 45%, acumulada nas folhas (ROSSETTO; DIAS; VITTI, 2010). As plantas são capazes de absorver o potássio presente na solução do solo através das raízes, na forma catiônica K^+ (FAQUIN, 2005). Este macronutriente pode retornar ao sistema através da palhada, vinhaça, cinzas, fuligem e torta de filtro, porém ainda é necessário realizar a adubação potássica, sendo o KCl o fertilizante potássico mais utilizado.

Nas plantas o potássio é responsável pela ativação de vários sistemas enzimáticos que atuam na fotossíntese, respiração e controle osmótico por meio da abertura e fechamento dos estômatos (ERNANI; ALMEIDA JÚNIOR; SANTOS, 2007). Sua deficiência aparece primeiro nos tecidos mais velhos da planta, causando formação de manchas mosqueadas no limbo e avermelhadas na nervura central das folhas, as bordas ficam com sinais marrom avermelhadas que evoluem para necroses. Além disso, o perfilhamento e a produtividade são consideravelmente diminuídos, assim como o menor crescimento da planta (ROSSETTO; DIAS; VITTI, 2010).

Os fertilizantes potássicos minerais disponíveis no mercado, diferem quanto a concentração, índice salino e presença de ânions acompanhantes. Cerca de 90% da produção mundial de potássio é na forma de cloreto de potássio (KCl), enquanto que o sulfato de potássio (K_2SO_4) representa menos que 5% do total (BRASIL, 2010). Os maiores depósitos de potássio encontram-se nos EUA, Canadá, Alemanha e Rússia. No Brasil, os depósitos encontram-se no Estado de Sergipe, porém a produção é insuficiente para suprir a demanda nacional, sendo necessário a importação deste macronutriente (ERNANI; ALMEIDA JÚNIOR; SANTOS, 2007).

A utilização de fertilizante potássico que apresenta cloro em sua composição, pode ser um fator que contribui indiretamente com a poluição do meio ambiente, devido a emissão de moléculas cloradas tóxicas através da queima da biomassa da cana-de-açúcar nas indústrias para a produção de bioenergia. Conhecer as fontes dessas moléculas é de grande importância na determinação do risco ao qual as pessoas e outros receptores estão expostos e para o estabelecimento de alternativas para o controle destes poluentes.

Segundo Assunção e Pesquero (1999), compostos tóxicos que apresentam cloro em sua composição, como as dioxinas e furanos, são formados durante a incineração em caldeiras, através de precursores como compostos bifenila policlorada, pentaclorofenóis e benzenos clorados, e seriam formados também por meio de hidrocarbonetos clorados, plásticos e íons cloreto inorgânico, este último presente no fertilizante KCl, fonte de potássio mais utilizada na cultura da cana-de-açúcar.

De acordo com Canizares, Santana e Santiago Júnior (2004), as dioxinas e furanos são poluentes orgânicos persistentes (POPs), gerados antropicamente, listados pela Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes como organoclorados a serem estudados, estimados e mitigados.

Lobert e colaboradores (1999), afirmaram que a queima de diferentes tipos de biomassa são significativas fontes de emissão de moléculas de cloreto de metila (CH_3Cl) e diclorometano (CH_2Cl_2) para a atmosfera. O cloreto de metila (CH_3Cl) é um composto estável e com tempo de vida suficientemente longo para atingir a estratosfera e assim contribuir com a destruição da camada de ozônio (GIRARD, 2016).

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar as variáveis biométricas da cana-de-açúcar frente a fontes e doses de fertilizantes potássicos. e investigar o acúmulo de cloro proveniente do fertilizante potássico KCl e seus possíveis danos para a sociedade e meio-ambiente.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS- ANDA (Brasil). **Mercado de fertilizantes:** janeiro- dezembro/ 2017. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/estatistica/comentarios.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2018.
- ASSUNÇÃO, J. V.; PESQUERO, C. R. Dioxinas e furanos: origem e riscos. **Revista de Saúde Pública.** São Paulo, v. 33, n. 5, p.523-530 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v33n5/0640.pdf>>. Acesso em 01 fev. 2018.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral- DNPM. **Potássio**, Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/7-3-potassio/view>>. Acesso em: 07 dez 2017.
- CANIZARES, E. M. P. N., SANTANA, E. R. R., SANTIAGO JÚNIOR.W. Implementação da metodologia da UNEP para identificação e quantificação das emissões de dioxinas e furanos no estado do Rio Grande do Sul- Brasil. **Nosso futuro roubado.** Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/BC1C2A2A/ContribuPauloFinotti_RS.pdf>. Acesso em: 12 dez 2017.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira, cana-de-açúcar**, v.4- Safra 2017/2018, n.1- Primeiro levantamento, Brasília, p.1-57, abril 2017.
- ERNANI, P. R.; ALMEIDA JÚNIOR, A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 9, p. 551-594.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. 2005. 186 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Solos e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- GIRARD J. E. **Princípios de Química Ambiental**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 415 p.
- LOBERT, J. M.; KEENE, W. C.; LOGAN, J. A.; YEVICH, R. Global chlorine emissions from biomass burning: Reactive chlorine emissions inventory. **Journal of Geophysical Research.** v.104, p. 8373-8389, 1999.
<https://doi.org/10.1029/1998JD100077>
- 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**, Viçosa MG, v. 34, p. 1137-1145, maio 2010.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; TAVARES, S. Potássio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M., LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2010. p. 289-311.

I- PARÂMETROS BIOMÉTRICOS E ACÚMULO DE CLORO NA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR FRENTE À DOSES DE FERTILIZANTES POTÁSSICOS

RESUMO

Avaliar o efeito da aplicação de fontes e doses de fertilizantes potássicos na cultura da cana-de-açúcar é importante para traçar novas alternativas de suprimentos da cadeia produtiva. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a resposta da cana-de-açúcar frente a fontes e doses de K₂O. O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, no Campus Umuarama em Uberlândia- MG, no ano de 2016. A unidade experimental do experimento constituiu-se de um vaso com 0,60 m de diâmetro, 0,92 m de altura, preenchido com 200 kg de solo onde foram plantadas 3 mudas de cana-de-açúcar da variedade RB 93-7570. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados em esquema fatorial 2x4+1, sendo duas fontes de potássio KCl e K₂SO₄, quatro doses de K₂O (100, 200, 400, 800 kg ha⁻¹), 4 repetições e um adicional sem adição de fontes de potássio. As variáveis número de perfilhos industrializáveis (NPI), número de perfilhos não industrializáveis (NPñI), altura média dos colmos (AMC), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), comprimento (C) e largura (L) de folhas, não apresentaram diferenças significativas com relação ao fatorial fontes e doses de fertilizantes potássicos, o diâmetro médio dos colmos (DMC) adequou-se ao modelos matemáticos quadráticos para ambas as fontes de K₂O. As variáveis massa fresca (MF), massa seca (MS), estimativa de produtividade de massa fresca (PMF) e concentração de K⁺ estão em função do fator principal doses de K₂O, ambas as variáveis descreveram modelos matemáticos quadráticos. O modelo matemático, gerado por estatística descritiva, da concentração de cloreto na biomassa seca da cana-de-açúcar em função das doses de K₂O, tendo como fonte o KCl foi um modelo linear com ajuste à reta igual a 0,78.

Palavras-chave: potássio, cloreto, biomassa, KCl, diâmetro de colmos.

BIOMETRIC PARAMETERS AND CHLORINE ACUMULATION IN SUGARCANE BIOMASS TREATED WITH DOSES OF POTASSIUM FERTILIZERS

ABSTRACT

Evaluation of the effect of the application of sources and doses of potassic fertilizers on sugarcane is important to delineate new supply alternatives for the productive chain. This study evaluated the response of sugarcane treated with sources and doses of potassium fertilizers. The experiment was conducted in the experimental area of the Institute of Agricultural Sciences of the Federal University of Uberlândia, at the Umuarama Campus in Uberlândia-MG, in 2016. The experimental unit consisted of a 0.60 m diameter and 0.92 m high vase, filled with 200 kg of soil where three sugarcane seedlings, variety RB 93-7570, were planted. The experiment consisted of a factorial (2x4 + 1), with two potassium sources, KCl and K₂SO₄, four K₂O doses (100, 200, 400, 800 kg ha⁻¹) and one additional treatment with no addition of potassium sources. Sugarcane biometric variables did not present significant interactions, except for mean diameter of stalk. The variables fresh mass (FM), dry matter (DM) and estimate of fresh mass productivity (FMP) varied in function of K₂O doses, which described quadratic mathematical models. The mathematical model of chloride concentration in sugarcane dry biomass as a function of the K₂O doses, generated by descriptive statistics, using KCl as the potassium source, was a linear model, with determination coefficient of 78%.

Keywords: potassium, chloride, biomass, KCl, stalk diameter.

INTRODUÇÃO

O Brasil é maior produtor mundial de cana-de-açúcar, estima-se que para a safra de 2017/2018 a produção atinja 647,6 milhões de toneladas, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2017).

Aproximadamente 13% do total de fertilizantes utilizados anualmente no Brasil são destinados às áreas cultivadas com cana-de-açúcar (OTTO; VITTI; LUZ, 2010). O crescente consumo de fertilizantes pela cana-de-açúcar é explicado pela elevada necessidade nutricional desta cultura decorrente da grande produção de biomassa por área e da remoção de nutrientes no processo de colheita (ALMEIDA JÚNIOR, 2013).

O potássio é o macronutriente mais extraído pela cana-de-açúcar, sendo a maior parte, cerca de 45%, acumulado nas folhas (ROSSETTO; DIAS; VITTI, 2010). Este macronutriente retorna ao sistema através da palhada, vinhaça, cinzas, fuligem e torta de filtro, porém, devido à alta lixiviação e extração deste nutriente, ainda é necessário realizar a adubação (OTTO; VITTI; LUZ, 2010).

Este nutriente é responsável por várias funções na planta como ativação de vários sistemas enzimáticos que atuam na fotossíntese e respiração, controle osmótico por meio da abertura e fechamento dos estômatos, resistência da planta à incidência de pragas e doenças (ERNANI; ALMEIDA JÚNIOR; SANTOS, 2007).

O potássio é encontrado principalmente constituindo as redes cristalinas de minerais primários e secundários, é encontrado na forma de cátion trocável e na solução do solo, formas estas disponíveis para assimilação das plantas (FAQUIN, 2005). O potássio pode ser encontrado também, na forma disponível para as plantas, no interior da matéria orgânica do solo, a qual é excelente fonte de K⁺ uma vez que sua disponibilização é lenta e gradual.

O fertilizante potássico mais utilizado no mundo é o cloreto de potássio (KCl) (ERNANI; ALMEIDA JÚNIOR; SANTOS, 2007), o qual apresenta 60% de K₂O (50% de K) e aproximadamente 47% de cloro. Trata-se do fertilizante potássico mais barato, apresenta alto índice salino, que pode prejudicar a germinação ou crescimento inicial das plantas (ERNANI; ALMEIDA JÚNIOR; SANTOS, 2007).

O sulfato de potássio (K₂SO₄) é o segundo fertilizante potássico mais utilizado, apresenta 50% de K₂O (41,6% de K) e 17% de enxofre (ERNANI; ALMEIDA JÚNIOR;

SANTOS, 2007). Geralmente é utilizado em culturas sensíveis ao cloro ou como fonte de enxofre, e por ser muito solúvel em água é empregado na hidroponia e na fertirrigação.

Avaliar o efeito da aplicação de diferentes fontes e doses de fertilizantes potássicos na cultura da cana-de-açúcar é importante para traçar novas alternativas de suprimentos da cadeia produtiva. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a resposta da cana-de-açúcar frente a diferentes fontes e doses de fertilizantes potássicos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, no Campus Umuarama em Uberlândia-MG, no ano de 2016. A unidade experimental (parcela) do experimento constituiu-se de um vaso com 0,60 m de diâmetro, 0,92 m de altura, preenchido com 200 kg de solo onde foram plantadas 3 mudas de cana-de-açúcar.

O delineamento utilizado foi de blocos casualizados em esquema fatorial 2x4+1, sendo duas fontes de potássio KCl e K₂SO₄, quatro doses de K₂O (100, 200, 400, 800 kg ha⁻¹ de K₂O), um adicional sem aplicação de fontes de potássio e 4 repetições, como apresentado na Tabela 1.

TABELA 1- Tratamentos, fontes e doses de K₂O utilizados no experimento 1

Tratamentos	Fonte de K ₂ O	
	KCl	K ₂ SO ₄
	K ₂ O (kg ha ⁻¹)	
T1	100	0
T2	200	0
T3	400	0
T4	800	0
T5	0	100
T6	0	200
T7	0	400
T8	0	800
T9Testemunha	0	0

A correção do solo foi realizada com base na análise química do solo Tabela 2, 60 dias antes do plantio. Para a correção foram aplicados 0,65 g kg⁻¹ de solo de CaCO₃ e 0,25 g kg⁻¹ de solo de MgCO₃.

TABELA 2- Caracterização química do solo utilizado para o plantio das mudas

pH _{H2O}	pH _{SMP}	H+Al	SB	T
-----cmol _c dm ⁻³ -----				
6,4	6,0	3,10	1,52	4,62

SB.= Soma de bases; T=CTC pH 7,0; Fonte: Dados obtidos através de análise realizada no laboratório de análise de solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS-UFG).

Visando a uniformidade de plantio das canas, foram utilizadas mudas pré-brotadas (variedade RB 93-7570). As mesmas foram transplantadas para os vasos no mês de dezembro de 2016, e, na mesma data realizou-se a adubação de plantio aplicando-se superficialmente 0,5 g kg⁻¹ de solo de fosfato monoamônico MAP e 0,5 g kg⁻¹ de solo de gesso agrícola. Ainda na data do plantio foi realizado a aplicação de 50% das doses dos tratamentos (Tabela 1), 60 dias após esta data, os 50% restantes.

Durante o processo de crescimento das canas, foram aplicadas adubações foliares para corrigir algumas deficiências nutricionais apresentadas pelas planta. Para a correção da deficiência de boro, zinco, manganês e molibdênio, foram preparadas soluções contendo 0,5 g L⁻¹ de ácido bórico, 4,0 g L⁻¹ de sulfato de zinco, 2,0 g L⁻¹ de sulfato de manganês, 0,3 g L⁻¹ de molibdato de amônio e 10,0 g L⁻¹ de uréia. Foram utilizados 4,0 L dessa solução para aplicação foliar com um pulverizador manual, tomando-se cuidado para aplicar homogeneousmente em cada unidade experimental.

Aos 90 dias após o plantio, foi aplicado manualmente 0,5 g kg⁻¹ de solo, de sulfato de amônio com 20% de N na superfície de cada vaso. Ao longo do experimento, utilizou-se irrigação por gotejamento superficial mantendo-se a umidade próxima a 80% da capacidade de campo. A colheita das parcelas foi realizada manualmente com o auxílio de uma tesoura de poda grande aos 150 dias após o plantio.

No dia da colheita foram mensuradas as seguintes características biométricas das plantas: Número de perfilhos industrializáveis (NPI), considerando perfilhos industrializáveis aqueles que possuíam três ou mais entrenós. Os que possuíam menos de 3 entrenós foram classificados como número de perfilhos não industrializáveis (NPNI). Além disso, com o auxílio de um paquímetro, foi aferido o diâmetro do colmo (DMC) na altura equivalente ao terço da base do colmo e altura média dos colmos (AMC) que foi aferida com o auxílio de uma trena.

Apenas nos perfis industrializáveis foram realizadas as contagens das folhas, tomando como referência a folha “Top Visible Dewlap” (TVD), caracterizada como a primeira folha com aurícula completamente aberta. Assim, as folhas com aberturas incompletas acima da TVD, foram classificadas como número de folhas emergentes (NFE). As folhas abertas obtiveram a classificação número de folhas completamente abertas (NFCA). O número de folhas verdes (NFV) foi obtido pela soma de NFE e NFCA. Esses dados foram usados para cálculo da área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF).

Para a medição do comprimento (C) e largura (L) das folhas, foi calculado a média entre as cinco folhas TVD por vaso, utilizando ferramentas de medição régua e trena, ambas calibradas.

O cálculo da área foliar (AF) da cana-de-açúcar foi realizado utilizando-se a largura (L) e comprimento (C) da TVD, seguindo a **Equação 1** proposta por Hermann e Câmara (1999).

$$AF = C \times L \times 0,75 \times (NFCA + 2) \quad \text{Equação (1)}$$

AF= área foliar;

C= comprimento da folha TVD;

L= largura da folha TVD;

NFCA= número de folhas totalmente abertas e com pelo menos 20 % de área verde;

0,75= fator de correção para a cultura;

2= fator de ponderação para as folhas emergentes.

O índice de área foliar (IAF) foi calculado a partir da **Equação 2** utilizando-se os valores de AF (Hermann e Câmara, 1999).

$$IAF = \frac{(AF \times NPI)}{AS} \quad \text{Equação (2)}$$

IAF=índice de área foliar;

AF=área foliar;

NPI= número de perfis industrializáveis;

AS= área da superfície (área do vaso= 0,28m²).

A massa fresca (MF) produzida em cada vaso foi aferida com auxílio de balança e tripé, logo após a colheita, sem que houvesse separação de colmos e folhas. Em seguida toda a parte aérea da planta foi triturada por meio de uma ensiladeira. Para determinação da umidade foram aferidas as massas das amostras do material triturado, em seguida as amostras foram submetidas à estufa a 60°C até massa constante e por fim aferiu-se as massas novamente. Pela diferença de massas foi possível obter o teor de umidade do material e a produção de massa seca (MS) por vaso.

Para estimar a produtividade de cana de açúcar por hectare, os vasos foram considerados como sendo linhas de cultivo. O vaso utilizado neste experimento possuía 0,60 m de diâmetro e as linhas de cultivo estavam espaçadas 1,5 m uma da outra, portanto, cada vaso representava 0,9 m² de área plantada no campo. Para essa estimativa foi calculado que em 1 ha, ou em 10.000 m² caberiam 11.111,11 unidades de área plantada, pois $10000\text{ m}^2 / 0,9\text{ m}^2 = 11.111,11$, portanto, multiplicando-se a massa fresca produzida por cada parcela pelo fator de correção 11,11 tem-se a produtividade em Mg ha⁻¹ de cana-de-açúcar **Equação 3**.

$$PMF = 11,11 \times MF \quad \text{Equação (3)}$$

PMF: estimativa de produtividade de massa fresca;

11,11: fator de correção para este experimento;

MF: massa fresca (kg)

A quantificação de potássio na biomassa da cana-de-açúcar foi realizada seguindo o método de digestão nitro-perclórica proposta por Sarruge e Haag (1974). O teor de potássio em g kg⁻¹ de massa seca da parte aérea da cana-de-açúcar foi aferido por fotômetro de chama.

A análise de cloreto em tecido vegetal foi realizada segundo método de Mohr. As amostras das partes aéreas das plantas já secas em estufa a 60°C e moídas, foram submetidas à marcha analítica descrita detalhadamente por Silva, Nogueira e Guimarães (1998).

Para o tratamento estatístico, primeiramente foram analisadas as pressuposições homogeneidade, normalidade e aditividade, em seguida a análise de variância, para as fontes de K₂O utilizou-se teste de comparação de médias de Tukey a 0,05 de significância. Para as doses de K₂O utilizou-se regressões e para comparações com a testemunha utilizou-se teste de Dunnett a 0,05 de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de perfilhos, altura dos colmos, número de folhas, largura de folhas, diâmetro dos colmos, constituem características fenológicas da cana-de-açúcar, as quais são de controle genético, porém podem sofrer influência de fatores externos, tais como incidência solar, temperatura, umidade (MANHÃES et al., 2015). Adiante será discutido os resultados das variáveis fenológicas, as quais são primordiais para o crescimento e produtividade ideal da cana-de-açúcar.

Número de perfilhos industrializáveis (NPI) e não industrializáveis (NPñI)

O NPI e NPñI não sofreram influência quanto a interação entre as fontes de potássio (KCl e K_2SO_4) e as 4 doses de K_2O ($100, 200, 400$ e 800 kg ha^{-1}). Porém, as médias de NPI na fonte KCl diferiram da testemunha a qual não houve aplicação de fontes de K_2O . Isto foi observado exceto na dosagem de 100 kg ha^{-1} de K_2O (Tabela 3).

A adubação potássica atuou positivamente no perfilhamento da cana-de-açúcar, comprovado pelo maior número de perfilhos industrializáveis nas parcelas em que houve aplicação de fontes de K_2O . Otto, Vitti e Luz (2010), também observaram incremento no perfilhamento da cana-de-açúcar a medida em que foram elevadas as doses de K_2O com aplicação parcelada.

TABELA 3- Número de perfis industrializáveis (NPI) e não industrializáveis (NPñI) de cana-de-açúcar submetidos a diferentes fontes e doses de K₂O (kg ha⁻¹)

Fonte de K ₂ O	NPI						NPñI					
	0,0	100,0	200,0	400,0	800,0	Médias	0,0	100,0	200,0	400,0	800,0	Médias
Adicional	4,75						1,00					
KCl		7,00	7,50*	7,75*	8,00*	7,56		1,25	2,25	1,75	3,00	2,06
K ₂ SO ₄		6,25	7,00	6,50	6,75	6,63		1,75	1,50	2,25	1,00	1,63
Médias	6,63	7,25	7,13	7,38			1,50	1,88	2,00	2,00		
NPI	(1) W= 0,98 ; F _{Levene} = 1,33 ; F _{Aditividade} = 0,02 ; CV(%)= 19,56; DMS _{Dunnett} = 2,70.											
NPñI	(1) W= 0,96 ; F _{Levene} = 2,72 ; F _{Aditividade} = 1,17 ; CV(%)= 97,74; DMS _{Dunnett} = 3,46.											

* Valores diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05.

(1) W, F_{Levene}, F_{Aditividade}; Estatística dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade respectivamente. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade entre os efeitos do bloco e tratamentos.

Altura média dos colmos (AMC) e Diâmetro médio dos colmos (DMC)

Quanto aos valores de AMC, não foram observadas diferenças significativas quanto a interação entre as fontes e doses de K₂O, porém, constatou-se diferenças entre algumas médias onde foi aplicado K₂O, e a testemunha (sem aplicação de K₂O), mostrando assim, que a adubação potássica foi em partes eficiente para essa variável (Tabela 4).

TABELA 4- Altura média dos colmos AMC (cm) de cana-de-açúcar submetidos a diferentes fontes e doses de K₂O (kg ha⁻¹)

Fontes de K ₂ O	AMC (cm)					Médias
	0,0	100,0	200,0	400,0	800,0	
Adicional	132,08					
KCl		164,03	158,50	177,33 *	166,39	166,56
K ₂ SO ₄		176,97 *	163,93	174,53 *	180,61 *	174,01
Médias	170,50	161,21	175,93	173,50		

AMC ⁽¹⁾ W= **0,97**; F_{Levene}= **1,71**; F_{Aditividade}= **1,35**; CV(%)= 11,26; DMS_{Dunnett}= 37,82

* Valores diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05.

⁽¹⁾ W, F_{Levene}, F_{Aditividade}; Estatística dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade respectivamente. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade entre os efeito do bloco e tratamentos.

As médias do DMC apresentaram diferenças significativas na interação entre fontes e doses de K₂O ao nível de 1% de significância, porém, o teste de Tukey a 5% de significância não conseguiu detectar diferenças nas médias entre as fontes, devido sua rigorosidade, atribuindo letra ‘a’ para todas as médias (Tabela 5).

Pela Figura 1 pode-se notar que a medida que foram aumentados as doses de K₂O tendo como fonte o fertilizante KCl, aumentou também o DMC das plantas, atingindo o máximo de 27,72 mm na dosagem de 655,55 kg ha⁻¹ de K₂O. A partir desta dosagem foi notado diminuição do diâmetro médio de colmos, sugerido pela equação quadrática (marcador quadrado). Para o fertilizante K₂SO₄, o modelo descrito pelas médias de DMC em função das doses de K₂O também foi quadrático, porém o DMC máximo não foi atingido experimentalmente, sendo a estimativa de DMC máxima igual a 30,85 mm na dosagem de 809,99 (marcador triângulo).

TABELA 5- Diâmetro médio dos colmos DMC (mm) da cana-de-açúcar submetidos a diferentes fontes e doses de K₂O (kg ha⁻¹)

Fontes de K ₂ O	DMC (mm)					
	0,0	100,0	200,0	400,0	800,0	Médias
Adicional	23,02					
KCl		26,20 a	25,86 a	26,52 *a	27,45 *a	26,51
K ₂ SO ₄		27,53 *a	27,28 *a	27,51 *a	28,45 *a	27,69
Médias	26,87	26,57	27,02	27,95		

DMC ⁽¹⁾ W= **0,97**; F_{Levene}= **1,41**; F_{Aditividade}= **1,69**; CV(%)= 6,17; DMS_{Dunnett}= 3,33; DMS_{Tukey}=2,40.

Médias seguidas por letras distintas minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05.

* Valores diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05.

⁽¹⁾ W, F_{Levene}, F_{Aditividade}: Estatística dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade respectivamente. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade entre os efeitos do bloco e tratamentos.

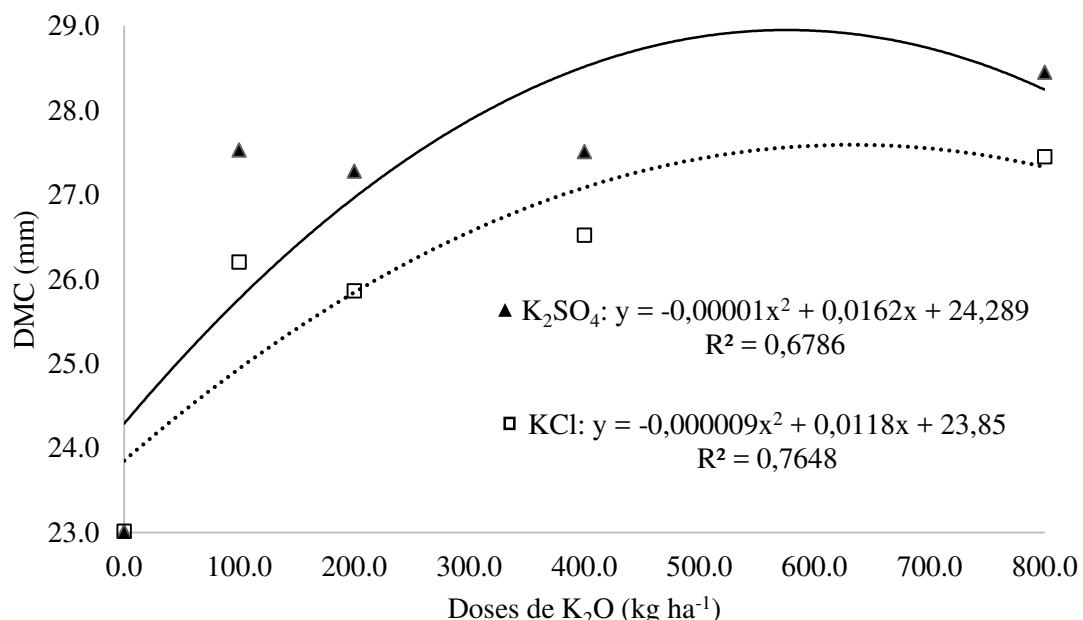


FIGURA 1- Diâmetro médio de colmos da cana-de-açúcar em função das doses de K₂O tendo como fontes os fertilizantes K₂SO₄ e KCl.

Comprimento (C), largura (L) das folhas TVD, área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF)

A folha é um órgão vegetal responsável por quase todos mecanismos de produção de carboidratos para suprir as necessidades da planta (SILVA; MOURA; ZONIER,

2012). O estudo das dimensões das folhas largura (L) e comprimento (C) assim como o cálculo da área foliar (AF) e índice de área foliar, são variáveis importantes para acompanhar o crescimento e produtividade da cana-de-açúcar.

As médias de comprimento (C) e largura (L) da Top Visible Dewlap (TVD), caracterizada como a primeira folha com aurícula completamente aberta, não apresentaram diferenças significativas com relação ao fatorial, com relação aos fatores principais isolados, nem com relação à testemunha. Este resultado se deu, provavelmente, pelo fato da colheita ter acontecido aos 150 dias após o plantio, ainda na primeira fase de crescimento da cana-de-açúcar, interrompendo assim, o crescimento total da planta.

Segundo Manhães e colaboradores (2015) o crescimento da cana-de-açúcar pode ser dividido em 3 fases, sendo que na primeira fase o crescimento é vagaroso e progressivo durando aproximadamente 200 dias. Na segunda fase, onde há o acúmulo de 75% do total de massa fresca, o crescimento é rápido e dura entre 200 e 400 dias após o plantio e na terceira fase, que pode durar entre 400 e 500 dias após o plantio, a planta acumula cerca de 11% de massa fresca.

As médias de IAF não sofreram variações devido a interação fontes e doses de potássio, nem variações decorrente aos fatores principais isolados, entretanto, foi verificado significância com relação a comparação das parcelas que receberam tratamento potássico e a testemunha, parcela esta que não recebeu doses de K₂O. Este resultado demonstra que a adubação potássica favorece o IAF (Tabela 6). Com relação a variável área foliar (AF), não foram observadas diferenças significativas quanto a interação, quanto aos fatores isolados nem diferença na comparação com a testemunha.

Segundo EMBRAPA, (2012), o índice de área foliar avalia a capacidade ou velocidade com que a planta ocupa a área de solo destinada a ela. Um IAF favorável significa que a planta está com seu aparato foliar distribuído de maneira ressonante com a área ao qual ocupa e com a quantidade de luz que incide naquela área o que permite máxima produção de fotossíntese. Pesquisas apontam que um IAF próximo a 4 é suficiente para a cana-de-açúcar interceptar 95% da radiação solar incidente (EMBRAPA, 2012).

TABELA 6: Índice de área foliar (IAF) submetidos a diferentes fontes e doses de K₂O (kg ha⁻¹).

Fontes de K ₂ O	IAF (m ² m ⁻²)					Médias
	0,00	100,00	200,00	400,00	800,00	
Adicional	0,96					
KCl		1,73	1,47	1,90 *	1,86 *	1,73
K ₂ SO ₄		1,47	1,91*	1,92 *	1,41	1,68
Médias		1,60	1,69	1,91	1,63	
IAF	(1) W= 0,96 ; F _{Levene} = 3,02 ; F _{Aditividade} = 0,0 ; CV(%)= 23,99; DMS _{Dunnett} = 0,79.					

* Valores diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05.

(1) W, F_{Levene}, F_{Aditividade}; Estatística dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade respectivamente. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade entre os efeitos do bloco e tratamentos.

Massa fresca (MF), massa seca (MS) e estimativa da produtividade de massa fresca por kg ha⁻¹ (PMF)

A produção de MF nas parcelas em que houve aplicação de K₂O diferiu da testemunha de acordo com o teste de Dunnett (Tabela 7). Além disso, observa-se que, independentemente da fonte de K₂O utilizada, o aumento da dose de K₂O causou incremento de MF. Pela Figura 2, nota-se que a MF pode ser descrita por um modelo matemático quadrático, onde a produção máxima de MF foi de 12,21 kg na dosagem de 627,5 kg ha⁻¹.

TABELA 7: Produção de massa fresca (MF) em kg vaso⁻¹ de cana-de-açúcar, submetido a diferentes fontes e doses de K₂O (kg ha⁻¹).

Fontes de K ₂ O	Massa Fresca (kg vaso ⁻¹)					Médias	Massa Seca (kg vaso ⁻¹)					Médias		
	Doses de K ₂ O						Doses de K ₂ O							
	0,00	100,0	200,0	400,0	800,0		0,00	100,0	200,0	400,0	800,0			
Adicional	3,48						1,043							
KCl		7,99 *	8,39 *	10,05 *	10,11 *	9,13		2,40 *	2,52 *	3,01 *	3,03 *	2,74		
K ₂ SO ₄		7,50 *	9,07 *	9,61 *	8,50 *	8,67		2,25 *	2,72 *	2,88 *	2,55 *	2,60		
Médias	7,75	8,73	9,83	9,31			2,32	2,62	2,95	2,79				
MF	⁽¹⁾ W= 0,96 ; F _{Levene} = 0,79 ; F _{Aditividade} = 0,040 ; CV(%)= 11,48; DMS _{Dunnett} = 1,93													
MS	⁽¹⁾ W= 0,96 ; F _{Levene} = 0,79 ; F _{Aditividade} = 0,040 ; CV(%)= 11,48; DMS _{Dunnett} = 0,57													

* Valores diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05

⁽¹⁾ W, F_{Levene}, F_{Aditividade}; Estatística dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade respectivamente. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade entre os efeitos do bloco e tratamentos.

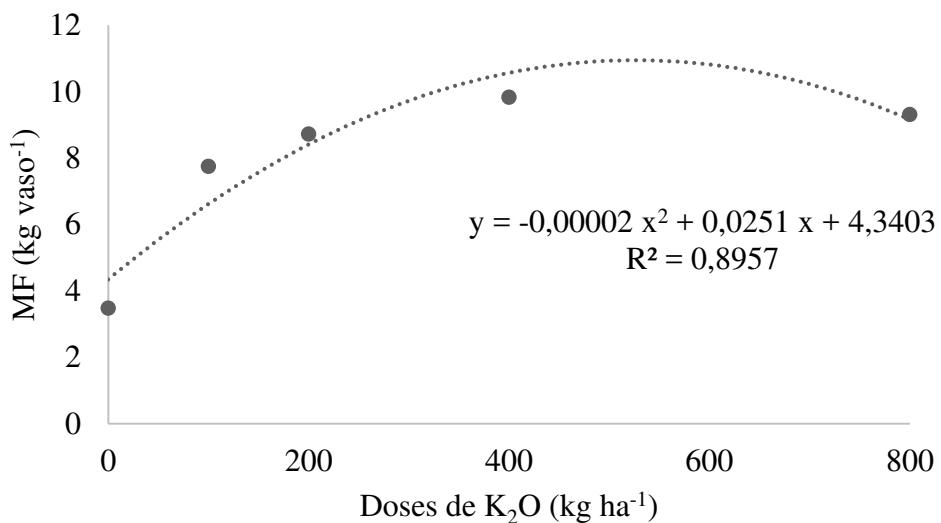


FIGURA 2- Produção de massa fresca (MF) em kg vaso⁻¹ em função das doses de K₂O aplicados na cana-de-açúcar.

A estimativa de massa seca MS foi realizada multiplicando-se a média do percentual de umidade de todas as parcelas pela produção de MF. A produção de MS foi incrementada em todas as parcelas onde foi aplicado K₂O, demonstrado pelo teste de Dunnett, o qual compara os tratamentos com a testemunha (Tabela 7). A produção de MS se adequou a um modelo quadrático, onde a produção máxima foi de 3,31 kg na dosagem de 535,71 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 3).

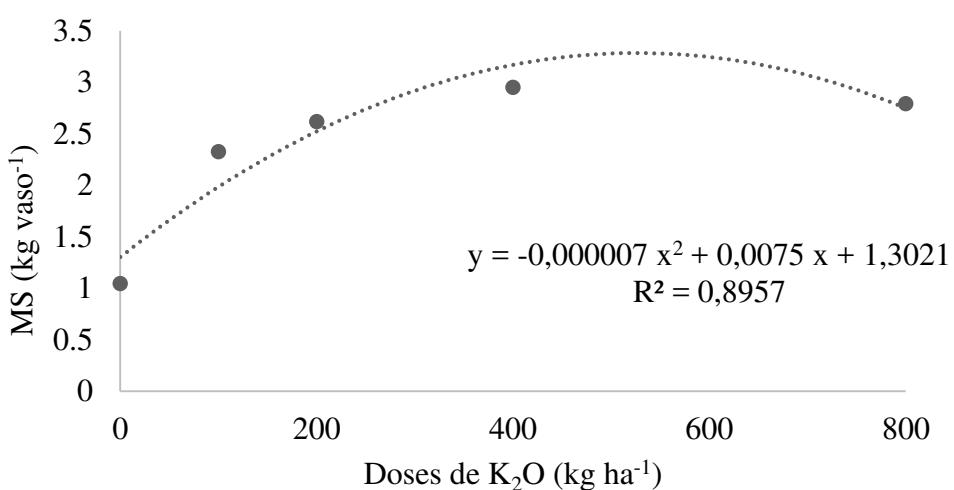


FIGURA 3- Produção de massa seca (MS) em kg vaso⁻¹ em função de doses de K₂O (kg ha⁻¹) aplicados na cana-de-açúcar

A estimativa de produtividade de massa fresca (PMF) em Mg ha⁻¹ não apresentou significância com relação a interação fontes e doses de K₂O, porém, as médias de PMF apresentaram significância na comparação entre o fatorial e a testemunha pelo teste de Dunnett (Tabela 8).

TABELA 8: Estimativa de produtividade de massa fresca (PMF) de cana-de-açúcar (Mg ha⁻¹) submetido a diferentes fontes e doses de K₂O (kg ha⁻¹)

Fontes de K ₂ O	PMF (Mg ha ⁻¹)					Médias	
	Doses de K ₂ O (kg ha ⁻¹)						
	0,00	100,00	200,00	400,00	800,00		
Adicional	38,60						
KCl		88,80*	93,16*	111,60*	112,29*	101,46	
K ₂ SO ₄		83,35*	100,71*	106,77*	94,46*	96,32	
Médias		86,07	96,93	109,18	103,38		
PMF	(1) W=0,96; F _{Levene} =0,79; F _{aditividade} =0,04; CV(%)= 11,48 DMS _{Dunnett} = 21,40						

* Valores diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05.

(1) W, F_{Levene}, F_{aditividade}; Estatística dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade respectivamente. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade entre os efeitos do bloco e tratamentos.

As médias de PMF apresentaram significância com relação ao fator principal doses de K₂O, descrevendo uma curva quadrática, onde a produtividade máxima foi de 112,99 Mg ha⁻¹ na dosagem de 464,66 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 4). Segundo dados da CONAB (2017), a produtividade de cana-de-açúcar no Brasil na safra 2016/17 foi de 73,27 Mg ha⁻¹, as médias de todas as parcelas onde foi aplicado K₂O mostraram-se maiores que a média nacional.

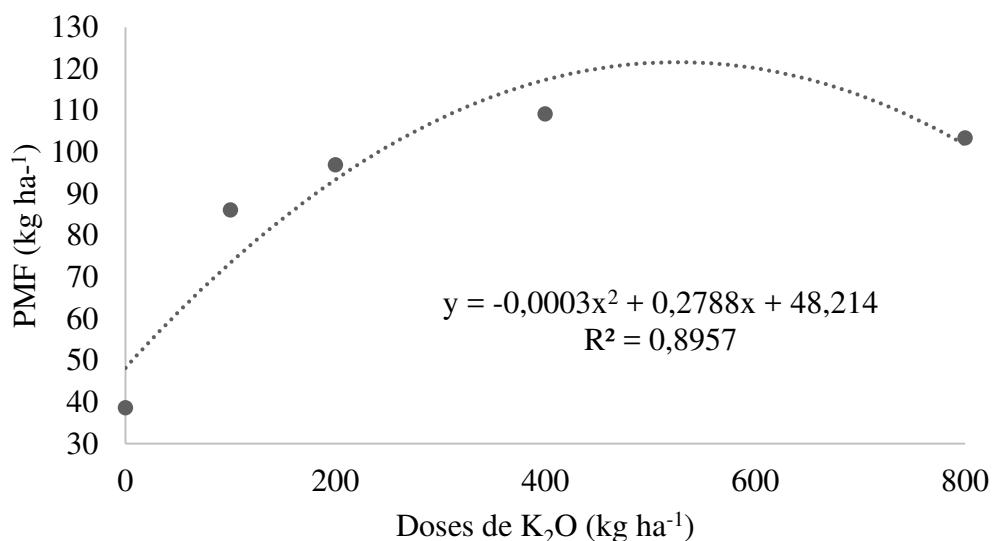


FIGURA 4- Estimativa de produtividade de massa fresca (PMF) da cana-de-açúcar ($Mg\ ha^{-1}$) em função de doses de K_2O ($kg\ ha^{-1}$).

Concentração de potássio e cloreto na biomassa da cana-de-açúcar

As médias de concentração de K^+ em $g\ kg^{-1}$ de massa seca na biomassa da cana-de-açúcar apresentaram diferenças significativas quanto ao fator principal doses, adequando-se ao modelo matemático quadrático (Figura 5).

Segundo Otto; Vitti e Luz, (2010) a faixa de suficiência de potássio para cana-de-açúcar é de 10 a 16 $g\ kg^{-1}$ de massa seca, sendo assim, pode-se notar pela Tabela 9 que a partir de 200 $kg\ ha^{-1}$ as concentrações de K^+ na biomassa da cana-de-açúcar ficaram dentro da faixa de suficiências. Analisando a fonte KCl observa-se que a faixa de suficiência foi atingida na dosagem de 200 $kg\ ha^{-1}$ enquanto que para o fertilizante K_2SO_4 , a faixa de suficiência foi atingida a partir de 400 $kg\ ha^{-1}$. Nota-se pelo teste de Dunnett que ambos os fertilizantes contribuíram para maiores teores de potássio na planta quando comparado à testemunha a partir da dosagem de 200 $kg\ ha^{-1}$.

TABELA 9: Concentração de K⁺ em g kg⁻¹ de massa seca da biomassa da cana-de-açúcar, submetido a diferentes fontes e doses de K₂O (kg ha⁻¹)

Fontes de K ₂ O	Concentração de K ⁺ (g kg ⁻¹)					Médias	
	Doses de K ₂ O						
	0,00	100,00	200,00	400,00	800,00		
Adicional	3,75						
KCl		6,88	10,88 *	12,88 *	15,13 *	11,44	
K ₂ SO ₄		7,13	9,88 *	11,13 *	18,50 *	11,66	
Médias	7,00	10,38	12,00	16,81			

K⁺(g kg⁻¹) ⁽¹⁾ W= **0,94**; F_{Levene}= **2,67**; F_{Aditividade}= **0,182**; CV(%)= 21,45; DMS_{Dunnett}= 4,63.

* Valores diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0.05

⁽¹⁾ W, F_{Levene}, F_{Aditividade}; Estatística dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade respectivamente. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade entre os efeitos do bloco e tratamentos.

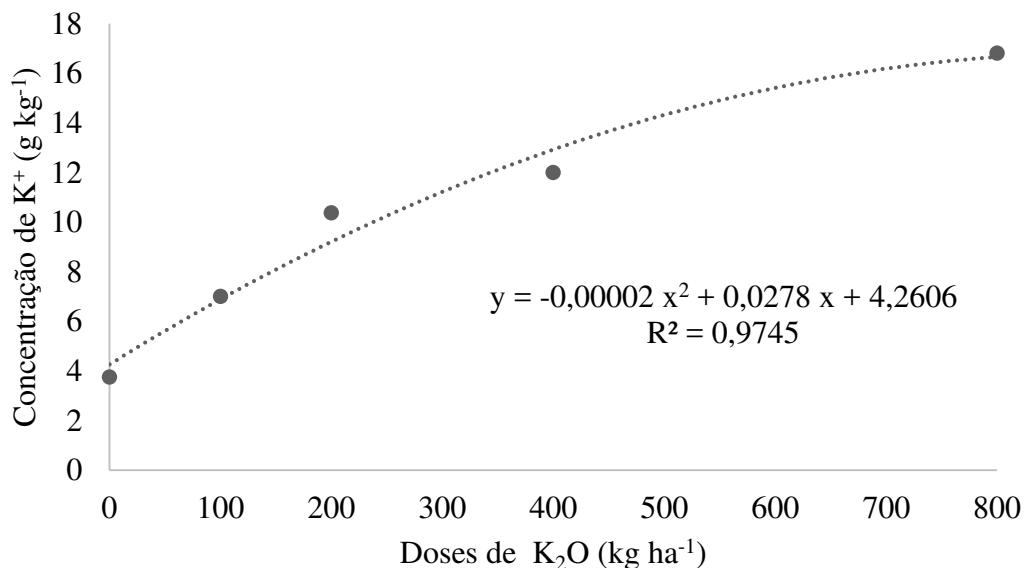


FIGURA 5- Concentração de K⁺ em g kg⁻¹ de massa seca da biomassa da cana-de-açúcar, submetido a diferentes doses de K₂O (kg ha⁻¹).

Dentre os micronutrientes essenciais para a cultura da cana-de-açúcar, o cloro é encontrado abundantemente nos solos brasileiros devido a utilização do fertilizante potássico KCl como fonte de K₂O (MELLIS e QUAGGIO, 2015).

O cloro atua principalmente em reações da fotossíntese, como a fotólise da água e no fotossistema II. A deficiência deste micronutriente na cana-de-açúcar provoca encurtamento das raízes e aumento do número que raízes laterais, o que prejudica a absorção de água e nutrientes pela cana-de-açúcar (MELLIS e QUAGGIO, 2015).

As médias da concentração de cloreto em g kg^{-1} de massa seca na biomassa da cana-de-açúcar apresentaram diferenças para o fator principal fontes de K_2O . Através deste resultado comprova-se que a biomassa da cana-de-açúcar foi capaz de absorver cloreto proveniente do fertilizante KCl além daquele existente naturalmente no solo. Pela Tabela 10 pode-se notar que, com a utilização de fertilizante potássico KCl , houve o dobro de absorção de cloreto do que com a utilização de K_2SO_4 .

O modelo matemático gerado por estatística descritiva, o qual representa a concentração de cloreto na biomassa seca da cana-de-açúcar em função das doses de K_2O , tendo como fonte o KCl , foi um modelo linear com ajuste à reta igual a 0,78 Figura 6.

TABELA 9: Concentração de Cl^- em g kg^{-1} de massa seca da biomassa da cana-de-açúcar, submetido a diferentes fontes e doses de K_2O (kg ha^{-1})

Fontes de K	$\text{Cl}^- (\text{g kg}^{-1})$					Médias	
	Doses de K_2O						
	0,00	100,00	200,00	400,00	800,00		
Adicional	2,05						
KCl		4,06	4,16	4,35*	5,86*	4,61 a	
K_2SO_4		2,03	1,70	2,73	2,76	2,31 b	
Médias	3,05	2,93	3,54	4,31			
$\text{Cl}^- (\text{g kg}^{-1})$	(1) W=; $F_{\text{Levene}}=$; $F_{\text{Aditividade}}=$; $\text{CV}(\%)=32,65$; $\text{DMS}_{\text{Dunnett}}=2,18$; $\text{DMS}_{\text{Tukey}}=0,79$.						

Médias seguidas por letras distintas, minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05. * Valores diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05

(1) W, F_{Levene} , $F_{\text{Aditividade}}$; Estatística dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade respectivamente. Valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade entre os efeitos do bloco e tratamentos.

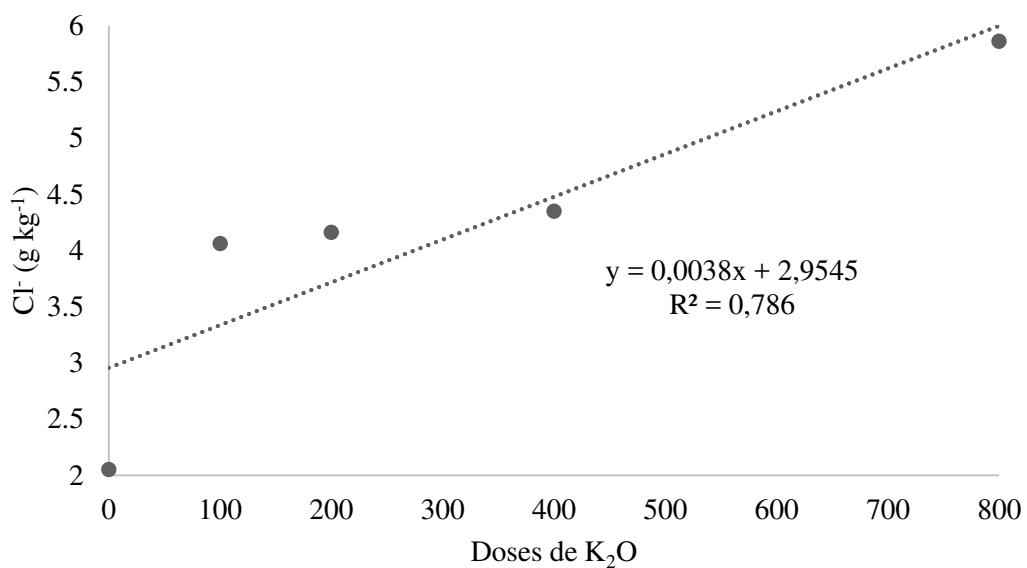


FIGURA 6- Concentração de Cl⁻ em g kg⁻¹ de massa seca da biomassa da cana-de-açúcar, submetido a diferentes doses de K₂O (kg ha⁻¹), tendo como fonte o fertilizante KCl.

CONCLUSÕES

1. A adubação potássica favorece o perfilhamento, representada pelas variáveis número de perfilhos industrializáveis (NPI) e número de perfilhos não industrializáveis NPñI da cana-de-açúcar, independente da fonte, das doses, e destes dois fatores juntos.
2. A interação fontes e doses de K₂O favorecem as médias de diâmetro médio dos colmos (DMC).
3. A adubação potássica, independente da combinação fontes e doses de K₂O, favorece o índice de área foliar (IAF), massa fresca (MF) e massa seca (MS).
4. A adubação potássica, independente da fonte de K₂O, favorece a produção de massa fresca (MF) e massa seca (MS).
5. A estimativa de produtividade de massa fresca de cana-de-açúcar (PMF) é função das doses de K₂O por um modelo quadrático.
6. A concentração de K⁺ na biomassa da cana-de-açúcar é função das doses de K₂O.
7. Existe acúmulo de cloreto proveniente do fertilizante KCl na biomassa da cana-de-açúcar.

A GRADECIMENTOS

Ao grupo de pesquisa do laboratório LAFER, pela disponibilização da área experimental e suprimentos. À CAPES pelo financiamento.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA JÚNIOR, H. **Nutrição potássica em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima.** 2013, 93 f. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal SP, dez. 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira, cana-de-açúcar**, v.4- Safra 2017/2018, n.1- Primeiro levantamento, Brasília, p.1-57, abril 2017.
- CHAVES JÚNIOR, G. T. **Influência do clima na produtividade da cana-de-açúcar.** Araçatuba, SP: Fatec, 2011.
- EMBRAPA. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar:** uma introdução ao procedimento prático. Aracaju, 2012. (Documentos, 168). Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2017.
- ERNANI, P. R.; ALMEIDA JÚNIOR, A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 9, p. 551-594
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas.** 2005. 186 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Solos e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana de açúcar. **Revista da STAB**, Piracicaba, v.17, p 32-34 1999.
- MANHÃES, C.M.C. et al. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v.17, n.1, p. 163-181, abr. 2015. Disponível em: <<http://www.essentialeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/viewFile/1809-2667.20150011/3759>>. Acesso em: 19 dez 2017.
- MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A. Uso de micronutrientes em cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 149, p.1-9, mar. 2015. Disponível em: <<http://brasil.ipni.net>>. Acesso em: 05 Não é um mês valido! 2018.
- 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**, Viçosa MG, v. 34, p. 1137-1145, maio 2010.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; TAVARES, S. Potássio. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A.C.M., LANDELL, M.G.A. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agronômico, 2010. p. 289-311.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química das plantas.** Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SILVA E. B.; NOGUEIRA F. D.; GUIMARÃES P. T. G. **Análise de cloreto em tecido vegetal**. [S. l.:s. n., 1998]. Disponível em: <<http://livraria.editora.ufla.br/upload/boletim/tecnico/boletim-tecnico-31.pdf>>. Acesso em. 30 nov 2017.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; CARMO, J. F. A., SOUZA, S. B. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no submédio do Vale do São Francisco. **Revista Ciência Agronômica**. v. 43, n.3, p 500-509, set. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rca/v43n3/a12v43n3.pdf>>. Acesso em 22 dez 2017.

II- ACÚMULO DE CLORO NA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

A utilização do fertilizante KCl pode ser um fator que contribua indiretamente com a poluição do meio ambiente, emitindo moléculas cloradas tóxicas, através da queima da biomassa da cana-de-açúcar nas indústrias sucroalcooleiras para produção de energia. Esta pesquisa tem como objetivo investigar a existência de acúmulo de cloro na biomassa da cana-de-açúcar proveniente do fertilizante potássico KCl. O experimento foi conduzido na área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, no Campus Umuarama em Uberlândia- MG, no ano de 2016. A unidade experimental do experimento constituiu-se de um vaso com 0,60 m de diâmetro, 0,92 m de altura, preenchido com 200 kg de solo onde foram plantadas 3 mudas de cana-de-açúcar. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 4 repetições, onde foram aplicados 5 doses de uma fonte de K₂O constituída pela combinação de dois fertilizantes (KCl+K₂SO₄) na seguinte proporção 0+400, 100+300, 200+200, 300+100, 400+0 (kg ha⁻¹) de K₂O, de modo que a concentração de K₂O permanecesse constante (400 kg ha⁻¹) e houvesse variação na concentração de cloreto. As variáveis área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), altura média dos colmos (AMC), diâmetro médio dos colmos (DMC), massa fresca (MF), e produtividade de massa fresca (PMF), não apresentaram modelo matemático significativo. A concentração de cloreto na biomassa da cana-de-açúcar adequou-se a um modelo matemático quadrático, com esta equação, estimouse o acúmulo de cloreto na biomassa seca da cana-de-açúcar na safra de 2017/2018, que variou de 0,71 a 0,85 Mg.

Palavras-chave: KCl, cloreto, biomassa, poluição, indústria sucroalcooleira.

CHLORINE ACUMULATION IN SUGARCANE BIOMASS

ABSTRACT

The use of KCl fertilizer may be a factor that contributes indirectly to environmental pollution by emitting toxic chlorinated molecules from burning sugarcane biomass for energy production in ethanol and sugar industries. This study investigated the existence of chlorine accumulation in sugarcane biomass from potassic KCl fertilizer. The experiment was installed in the experimental area of the Institute of Agricultural Sciences of the Federal University of Uberlândia, at the Umuarama Campus in Uberlândia-MG, in 2016. The experimental unit consisted of a 0.60-m diameter and 0.92-m high vase, filled with 200 kg of soil where three sugar cane seedlings, variety RB 93-7570, were planted. Five doses of a K₂O source consisting of the combination of two fertilizers (KCl + K₂SO₄) were applied in the following ratio (0 + 400, 100 + 300, 200 + 200, 300 + 100, 400 + 0 (kg ha⁻¹) of K₂O, so that the concentration (of K₂O) remained constant (400 kg ha⁻¹) while the concentration of chloride varied. Sugarcane biomass chloride concentration adjusted to a quadratic mathematical model and, with this equation, sugarcane dry biomass chloride accumulation was estimated, in the 2017/2018 harvest, from 0.71 to 0.85 Mg.

Keywords: KCl, chloride, biomass, pollution, sugar-alcohol industry.

INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar consome aproximadamente 13% do total de fertilizantes utilizados anualmente no Brasil (OTTO; VITTI; LUZ, 2010). Em 2017 cerca de 5,9 milhões de toneladas de fertilizantes potássicos foram entregues no Brasil para suprir as demandas das culturas da soja, cana-de-açúcar e café (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS- ANDA, 2018). O alto consumo de fertilizantes utilizado, na cultura da cana-de-açúcar decorre da elevada necessidade nutricional devido à grande produção de biomassa por área e da elevada remoção de nutrientes no processo de colheita (ALMEIDA JÚNIOR, 2013).

Da produção mundial de fertilizantes potássicos, cerca de 90% é na forma de cloreto de potássio (KCl), enquanto que o sulfato de potássio constitui apenas 5% do total (DNPM, 2014). A utilização do fertilizante KCl, pode ser um fator que contribua indiretamente com a poluição do meio ambiente, emitindo moléculas cloradas tóxicas, através da queima da biomassa da cana-de-açúcar nas indústrias sucroalcooleiras, que utilizam essa prática para produção de energia.

Segundo Lobert, 1999 a queima de biomassa é a maior fonte de compostos poluentes presente na atmosfera, sendo que 90% das queimadas são provocados pelo homem e apenas 10 % acontece de forma natural. Pesquisas mostram que moléculas cloradas como o cloreto de metila (CH_3Cl), dioxinas (PCDD) e furanos (PCDF) são constituintes da fumaça proveniente da queima de resíduos agrícolas (LOBERT, 1999 e CANIZARES, SANTANA e SANTIAGO, 2004)

Dioxinas e Furanos são classes de compostos aromáticos tricíclicos de função química éter (ASSUNÇÃO e PESQUERO, 1999), listados como poluentes orgânicos Persistentes (POPs), conforme Convenção de Estocolmo (BRASIL, 2013). Até o ano de 2010 cientistas catalogaram 75 congêneres (substâncias de uma mesma classe) das dioxinas e 135 congêneres dos furanos, perfazendo um total de 210 substâncias, sendo que somente 17 desses congêneres têm relevância devido sua toxidez (BRASIL, 2013). A substância 2,3,7,8-TCDD (tetraclorodibenzo-para-dioxina) pertencente à classe das dioxinas, é o congênere mais tóxico estando listada no grupo 1 da International Agency for Research on Cancer (IARC), sendo considerada carcinogênica para humanos (BRASIL, 2013).

Segundo Brasil (2013), a formação de PCDD e PCDF pode ser divididas em duas grandes categorias: (1) formação em processos térmicos e (2) formação em processos industriais. Para este estudo dar-se-á foco no processo (1).

Os compostos PCDD e PCDF são formados em quantidades traço por meio da combustão na presença de carbono, oxigênio, hidrogênio e cloro, combinados à altas temperaturas na faixa de 200 – 650°C. Os mecanismos de formação de PCDD e PCDF são: (a) Síntese do novo, onde os compostos PCDD e PCDF são formados a partir de compostos muito diferentes do produto final, como por exemplo hidrocarbonetos clorados e íons inorgânicos, ou (b) formação e ou reações de precursores parecidos estruturalmente com o produto final (PCDD e PCDF), como por exemplo bifenila policlorada, pentaclorofenóis e benzenos clorados (BRASIL, 2013).

Outra substância emitida pela queima de resíduos agrícolas é o cloreto de metila (CH_3Cl). Trata-se de um composto estável e com tempo de vida suficientemente longo para atingir a estratosfera e assim contribuir com a destruição da camada de ozônio (GIRARD, 2016). Na estratosfera, fatores energéticos como a alta radiação é capaz de quebrar homoliticamente a molécula de CH_3Cl , dando origem ao radical Cl^{\cdot} , que por sua vez reage como o ozônio aumentando o buraco na camada de ozônio por meio da Reação (1) e (2).



Conhecer as fontes desses poluentes é de grande importância para a determinação do risco ao qual as pessoas e outros receptores estão expostos e para o estabelecimento de políticas públicas de controle destes poluentes.

Esta pesquisa tem como objetivo investigar se existe acúmulo de cloro na biomassa da cana-de-açúcar proveniente do fertilizante potássico KCl e seus possíveis danos para a sociedade e meio-ambiente.

MATERIAL E MÉTODO

Para testar as hipóteses desta pesquisa, foi conduzido um experimento na área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, no Campus Umuarama em Uberlândia- MG, no ano de 2016.

A unidade experimental (parcela) do experimento constituiu-se de um vaso de 0,60 m de diâmetro, 0,92 m de altura com 200 kg de solo onde foram plantadas 3 mudas de cana-de-açúcar.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 4 repetições, onde foram aplicados 5 combinações de K₂O constituída por dois fertilizantes (KCl+K₂SO₄) nas seguintes proporções 0+400, 100+300, 200+200, 300+100, 400+0 kg ha⁻¹ de K₂O de modo que a concentração de K₂O permanecesse constante (400 kg ha⁻¹) e houvesse variação apenas na concentração de cloreto (Tabela 1). Os tratamentos foram aplicados 50% no plantio e 50% após decorridos 60 dias do plantio.

TABELA 1- Tratamentos aplicados nas parcelas experimentais, sendo a fonte de K₂O constituída por combinação de dois fertilizantes potássicos.

Tratamento	Doses K ₂ O kg ha ⁻¹	
	KCl	K ₂ SO ₄
T1	0	400
T2	100	300
T3	200	200
T4	300	100
T5	400	0

A correção do solo foi realizada com base na análise química do solo Tabela 2, 60 dias antes do plantio. Para a correção foram aplicados 0,65 g kg⁻¹ de solo de CaCO₃ e 0,25 g kg⁻¹ de solo de MgCO₃.

TABELA 2- Caracterização química do solo utilizado para o plantio das mudas

pH _{H2O}	pH _{SMP}	H+Al	SB	T
-----cmol _c dm ⁻³ -----				
6,4	6,0	3,10	1,52	4,62

SB.= Soma de bases; T=CTC pH 7,0; Fonte: Dados obtidos através de análise realizada no laboratório de análise de solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS-UFU).

Visando a homogeneidade do perfilhamento das canas, foram utilizadas mudas da variedade RB 93-7570. As mesmas foram transplantadas para os vasos no dia 21 de Dezembro de 2016 e na mesma data realizou-se a adubação de plantio aplicando-se superficialmente 0,5 g kg⁻¹ de solo de fosfato monoamônico MAP e 0,5 g kg⁻¹ de solo de gesso agrícola. Ainda na data do plantio foi realizada a aplicação de 50 % das doses dos tratamentos, 60 dias após esta data, aplicou-se os 50% restantes.

Durante o processo de crescimento das canas foram aplicadas adubações foliares para corrigir algumas deficiências nutricionais apresentadas pelas plantas. Para a correção da deficiência de boro, zinco, manganês e molibdênio, foram preparadas soluções contendo 0,5 g L⁻¹ de ácido bórico, 4,0 g L⁻¹ de sulfato de zinco, 2,0 g L⁻¹ de sulfato de manganês, 0,3 g L⁻¹ de molibdato de amônio e 10,0 g L⁻¹ de uréia. Foram utilizados 4,0 L dessa solução para aplicação foliar com um pulverizador manual, tomando-se cuidado para aplicar homogeneousmente em cada unidade experimental.

Aos 90 dias após o plantio, foi detectada deficiência de nitrogênio pelo amarelamento das folhas sendo, por isso aplicado manualmente 0,5 g kg⁻¹ de solo, de sulfato de amônio com 20% de N na superfície de cada tonel.

Ao longo do experimento utilizou-se irrigação por gotejamento superficial mantendo-se a umidade próxima a 80% da capacidade de campo. A colheita das parcelas foram realizadas manualmente com o auxílio de uma tesoura de poda grande aos 150 dias após o plantio.

No mesmo dia da colheita foram aferidas as variáveis biométricas da cana-de-açúcar. Com o auxílio de um paquímetro foi aferido o diâmetro do colmo (DMC) na altura equivalente ao terço da base do colmo e a altura média dos colmos (AMC) aferida com o auxílio de uma trena.

O cálculo da área foliar (AF) da cana-de-açúcar foi realizado utilizando-se a largura (L) e comprimento (C) da Top Visible Dewlap (TVD), seguindo a **Equação 1** proposta por Hermann e Câmara (1999).

$$AF = C \times L \times 0,75 \times (NFCA + 2) \quad \text{Equação (1)}$$

AF= área foliar

C= comprimento da folha TVD (cm)

L= largura da folha TVD (mm)

NFCA= número de folhas totalmente abertas e com pelo menos 20 % de área verde.

0,75= fator de correção para a cultura.

2= fator de ponderação para as folhas emergentes.

O índice de área foliar (IAF) foi calculado a partir da **Equação 2** utilizando-se os valores de AF (HERMANN; CÂMARA, 1999).

$$IAF = \frac{(AF \times NPI)}{AS} \quad \text{Equação (2)}$$

IAF=índice de área foliar

AF=área foliar

NPI= número de perfilhos industrializáveis

AS= área da superfície (área do vaso= 0,28m²)

A massa fresca (MF) produzida por cada vaso foi aferida com auxílio de balança e tripé, logo após colheita, sem que houvesse separação de colmos e folhas. Em seguida toda a parte aérea da planta foi triturada por meio de uma ensiladeira. Para determinação da umidade, foram aferidas as massas das amostras do material triturado, em seguida as amostras foram submetidas à estufa a 60°C até massa constante e por fim aferiu-se as massas novamente. Pela diferença de

massas foi possível obter o teor de umidade do material e a produção de massa seca (MS) por vaso.

Para estimar a produtividade de cana de açúcar por hectare, os vasos foram considerados como sendo linhas de cultivo, sabendo que o vaso utilizado neste experimento possuía 0,60 m de diâmetro e as linhas de cultivo estavam espaçadas 1,5 m uma da outra, portanto, cada vaso representava 0,9 m² de área plantada no campo. Para essa estimativa foi calculado que em 1 ha, ou em 10.000 m² caberiam 11.111,11 unidades de área plantada, pois 10000 m²/0,9m²= 11.111,11, portanto, multiplicando-se a massa fresca produzida por cada parcela pelo fator de correção 11,11 tem-se a produtividade em Mg ha⁻¹ de cana-de-açúcar **Equação 3**

$$PMF = 11,11 \times MF$$

Equação (3)

A análise de cloreto em tecido vegetal foi realizada seguindo método de Mohr. As amostras da parte aérea da planta já secas em estufa a 60º C e moídas foram submetidas à marcha analítica descrita detalhadamente por Silva, Nogueira e Guimarães, 1998.

A estimativa de cloreto acumulado pela cultura da cana-de-açúcar na safra de 2017/2018, foi realizado de acordo com resultado encontrado na análise de acúmulo de cloreto na biomassa da cana-de-açúcar para a dosagem de 200 kg ha⁻¹ de K₂O fonte KCl + 200 kg ha⁻¹ de K₂O fonte K₂SO₄, isto porque mesmo com excesso de potássio (total de 400 kg ha⁻¹ de K₂O), a existência de 200 kg ha⁻¹ de K₂O da fonte KCl simula a quantidade de cloreto real aplicada nas lavouras. Segundo Otto; Vitti e Luz, 2010 a adubação potássica geralmente acontece no plantio e baseia-se nos teores de K presente no solo, o incremento adicionado através de fertilizantes ou outras fontes varia de 0 a 200 kg ha⁻¹ de K₂O.

A estimativa de produção de cana-de-açúcar para a safra 2017/2018 é de 647,6 milhões de toneladas (massa fresca) no Brasil, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2017). O valor médio percentual de umidade presente nas amostras das parcelas deste experimento foi descontado do valor da massa fresca, encontrando-se assim o valor de massa seca. Através do valor de massa seca para a safra de 2017/2018 (194,28 milhões de toneladas) foi possível

estimar o acúmulo de cloreto para a mesma safra tendo como padrão o acúmulo de cloreto na dosagem de 200 kg ha⁻¹ de K₂O fonte KCl + 200 kg ha⁻¹ de K₂O fonte K₂SO₄.

Para o tratamento estatístico, primeiramente foram realizadas as pressuposições, em seguida a análise de variância (anova) e regressões, para comparações com a testemunha utilizou-se teste de Dunnett.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), altura média dos colmos (AMC), diâmetro médio dos colmos (DMC), massa fresca (MF), e produtividade de massa fresca (PMF), não apresentaram modelo matemático significativo, portanto não foi possível representar essas variáveis em gráficos. Assim, pode-se inferir que essas variáveis não estão em função da concentração de cloro (Tabela 3). A comparação pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância entre o tratamento 0+400 (0,0 kg ha⁻¹ de K₂O fonte KCl + 400,0 kg ha⁻¹ de K₂O fonte K₂SO₄) e os demais tratamentos não apresentaram significância para nenhuma variável analisada.

TABELA 3- Médias das variáveis AF (cm²), IAF, AMC (cm), DMC (mm), MF (kg), PMF (Mg ha⁻¹) submetidas a diferentes doses da combinação de dois fertilizantes potássicos (KCl + K₂SO₄).

Variáveis	Doses de K ₂ O proveniente de KCl+K ₂ SO ₄ respectivamente (kg ha ⁻¹)				
	0+400	100+300	200+200	300+100	400+0
AF	843,36	715,31	691,99	734,72	695,53
IAF	1,92	2,20	2,00	2,19	1,90
AMC	174,53	165,65	167,31	179,36	177,33
DMC	27,51	26,87	26,10	27,62	26,53
MF	9,61	10,18	10,42	10,23	10,05
PMF	106,77	113,05	115,79	114,19	111,60

AF	(¹) W= 0,94 ; F _{Levene} = 1,37 ; F _{Aditividade} = 2,90 ; CV(%)= 11,05;
IAF	(¹) W= 0,94 ; F _{Levene} = 2,74 ; F _{Aditividade} = 2,90 ; CV(%)= 11,55;
AMC	(¹) W= 0,96 ; F _{Levene} = 1,14 ; F _{Aditividade} = 1,23 ; CV(%)= 9,89;
DMC	(¹) W= 0,95 ; F _{Levene} = 0,96 ; F _{Aditividade} = 0,78 ; CV(%)= 4,88;
MF	(¹) W= 0,96 ; F _{Levene} = 2,66 ; F _{Aditividade} = 0,00 ; CV(%)= 8,25;
PMF	(¹) W= 0,96 ; F _{Levene} = 2,66 ; F _{Aditividade} = 0,00 ; CV(%)= 8,25;

* Valores diferem da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05. (¹) W, FLevene, FAditividade; Estatística dos testes de Shapiro-Wilk, Levene e Tukey para aditividade respectivamente, valores em negrito indicam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e aditividade entre os efeitos do bloco e tratamentos.

Concentração de cloreto na biomassa da cana-de-açúcar

A concentração de cloreto na biomassa da cana-de-açúcar se adequou a um modelo matemático quadrático (**Equação 4**) (Figura 1). Através desse modelo pode-se estimar que a máxima concentração de Cl^- acumulada foi de 4,55 g por kg de massa seca.

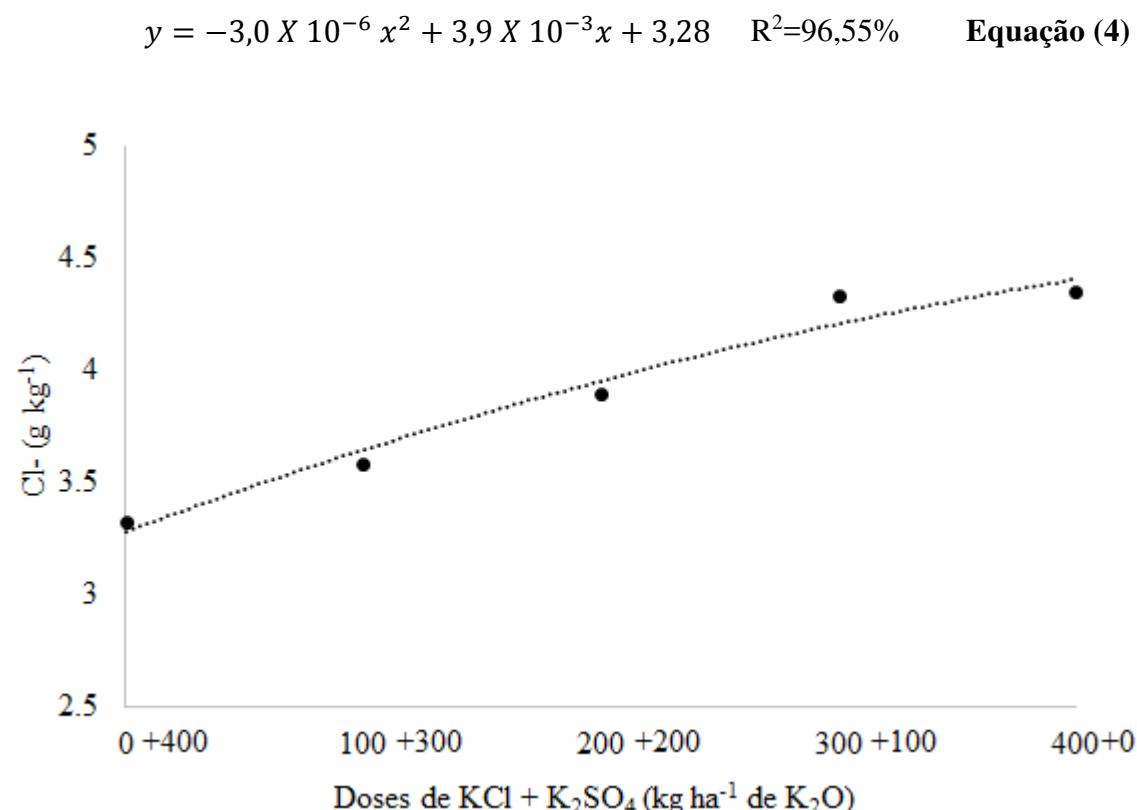


FIGURA 1- Concentração de íons cloreto (Cl^-) na biomassa da cana-de-açúcar em função de combinação de dois fertilizantes potássicos. ($\text{KCl} + \text{K}_2\text{SO}_4$) kg ha^{-1} de K_2O .

O tratamento com a maior dose de KCl (400 kg ha^{-1} de K_2O , fonte KCl + 0 kg ha^{-1} de K_2O , fonte K_2SO_4) apresentou aumento de 31,02% de acúmulo de cloreto na biomassa da cana-de-açúcar quando comparado o tratamento (0 kg ha^{-1} de K_2O , fonte KCl + 400 kg ha^{-1} de K_2O , fonte K_2SO_4).

O excesso de cloreto na biomassa da cana-de-açúcar pode desencadear problemas ambientais pela liberação de moléculas cloradas para o meio ambiente, através da queima da biomassa que é realizada principalmente para a produção de energia nas usinas

sucroalcooleiras. Alguns pesquisadores citados a seguir comprovaram em seus artigos que dioxinas (PCDD) e furanos (PCDF) são emitidos pela queima de resíduos agroindustriais.

Segundo Assunção e Pesquero (1999), dioxinas e furanos poderiam ser formados durante a incineração de resíduos agroindustriais (biomassa) em caldeiras, na presença de precursores como compostos bifenila policlorada, pentaclorofenóis, benzenos clorados, hidrocarbonetos clorados, plásticos ou íons cloreto inorgânico.

S-S et al. (2014) comprovou que a queima da palha de arroz, comumente realizado na Ásia, é fonte de emissão de PCDD e PCDF, comprovando assim, que resíduos agroindustriais são fontes de precursores destes compostos.

Muñoz e colaboradores (2012) observou incremento de até 20 vezes na emissão de PCDD e PCDF provenientes da queima aberta de pinheiros tratados com diferentes concentrações de pesticida clorado foliar (2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)).

Estimativa de acúmulo de cloreto na biomassa seca da cana-de-açúcar na safra de 2017/2018 no Brasil

As concentrações de cloreto na biomassa da cana-de-açúcar em cada tratamento foram calculadas seguindo o modelo matemático de acúmulo de Cl^- em g kg^{-1} de massa seca, encontrado nesse experimento **Equação (4)**.

$$y = -3,0 \times 10^{-6} x^2 + 3,9 \times 10^{-3}x + 3,28 \quad \text{Equação (4)}$$

Sabendo-se que a estimativa para a safra de 2017/2018 a produção de cana-de-açúcar foi de 647,6 milhões de toneladas (massa fresca) no Brasil, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2017), a estimativa de produção de massa seca, descontando-se a média de 70% de umidade é de 194,28 milhões de toneladas. A estimativa de acúmulo de Cl^- na biomassa seca da cana-de-açúcar na safra de 2017/2018 em cada combinação de K_2O (tratamento) (Tabela 4) apresentou aumento expressivo de 20% se comparado a menor e maior dose de KCl . (0 e 400 kg de K_2O , fonte KCl).

TABELA 4: Estimativa de acúmulo de Cl⁻ na biomassa seca da cana-de-açúcar (Mg) na safra de 2017/2018

Doses de K ₂ O proveniente de KCl+K ₂ SO ₄ respectivamente (kg ha ⁻¹)	Acúmulo de Cl ⁻ (g kg ⁻¹) na biomassa seca da cana-de-açúcar (Equação 4)	Estimativa de acúmulo de Cl ⁻ na biomassa seca da cana-de-açúcar (Mg ha ⁻¹) na safra 2017/2018
100+300	3,64	0,71
200+200	3,94	0,77
300+100	4,18	0,81
400+0	4,36	0,85

Se as teorias dos autores citados neste artigo de que a queima de resíduos agroindustriais são fontes de moléculas poluentes e tóxicas como dioxinas, furanos e cloreto de metila, a queima da biomassa da cana-de-açúcar para a produção de energia nas usinas seria potencial fonte de emissão dessas moléculas, uma vez que há a presença de fatores favoráveis como alta temperatura, presença de cloreto e moléculas orgânicas nas fornalhas e caldeiras das usinas sucroalcooleiras.

CONCLUSÃO

- 1) Apesar de não interferir na produtividade e nas variáveis biométricas da cana-de-açúcar, o aumento da dose de cloro aplicado no solo proveniente do fertilizante potássico KCl, resulta em maior concentração de cloro na biomassa seca da cana-de-açúcar.
- 2) A cana-de-açúcar acumula cloro em sua biomassa seguindo um modelo quadrático.

A GRADECIMENTOS

Ao grupo de pesquisa do laboratório LAFER, pela disponibilização da área experimental e suprimentos. À CAPES pelo financiamento.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA JÚNIOR, H. Nutrição potássica em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima. 2013, 93 f. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal SP, dez. 2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS- ANDA (Brasil). Mercado de fertilizantes: janeiro- dezembro/ 2017. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/estatistica/comentarios.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2018.

ASSUNÇÃO, J. V.; PESQUERO, C. R. Dioxinas e furanos: origem e riscos. **Revista de Saúde Pública**. São Paulo, v. 33, n. 5, p.523-530 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v33n5/0640.pdf>>. Acesso em 01 fev. 2018.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Inventário Nacional de fontes e estimativa de emissão de dioxinas e furanos: Brasil POPs: Plano Nacional de Implementação Convenção de Estocolmo. Brasília: MMA, 2013. 188 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/publicacoes/seguranca-quimica/category/106-geral?download=992:inventario-nacional-de-dioxinas-e-furanos>>. Acesso em 25 janeiro 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB (Brasil). Acompanhamento da safra brasileira, cana-de-açúcar. v.4- Safra 2017/2018, n.1- Primeiro levantamento, Brasília DF, p.1-57, abril 2017.

CANIZARES, E. M. P. N., SANTANA, E. R. R., SANTIAGO JÚNIOR.W. Implementação da metodologia da UNEP para identificação e quantificação das emissões de dioxinas e furanos no estado do Rio Grande do Sul- Brasil. **Nosso futuro roubado**. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/BC1C2A2A/ContribuPauloFinotti_RS.pdf>. Acesso em: 12 dez 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Potássio- Sumário Mineral-2014, Brasília, DF, [s.n], 2014. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/potassio-sumario-mineral-2014/view>>. Acesso em: 25 janeiro 2018.

GIRARD J.E. Princípios de Química Ambiental. 2a edição. Rio de Janeiro. LTC, 2016. 415p.

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

LOBERT, J. M.; KEENE, W. C.; LOGAN, J. A.; YEVICH, R. Global chlorine emissions from biomass burning: Reactive chlorine emissions inventory. **Journal of Geophysical Research**. v.104, p. 8373-8389, 1999.
<https://doi.org/10.1029/1998JD100077>

MUÑOZ, M. et al. Effect of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) on PCDD/F emission from open burning of biomass. **Environmental Science & Technology**. Washington DC, v. 46, July 2012

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**, Viçosa MG, v. 34, p. 1137-1145, maio 2010.

SILVA E.B.; NOGUEIRA F. D.; GUIMARÃES P. T. G. **Análise de cloreto em tecido vegetal**. [S.l.:s.n., 1998]. Disponível em:

<http://livraria.editora.ufla.br/upload/boletim/tecnico/boletim-tecnico-31.pdf>. Acesso em. 30 nov 2017.

S-S, Chang. et al. Emissions of polychlorinated-p-dibenzo dioxina, dibenzofurans (PCDD/Fs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) from rice straw biomass burning. **Atmospheric Environment**, Taiwan 2014, v. 94, n., p., Apr. 2014. Disponível em:
https://scifinder.cas.org/scifinder/view/link_v1/reference.html?l=BmxxGlm8wGoNtWiKZ30xvrCx2TazpakrVixuIPqwESODcDo1wyugLA. Acesso em: 06 Dec 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esta pesquisa conclui-se que, com a utilização do fertilizante potássico KCl a cana-de-açúcar acumula cloro em sua biomassa além daquele presente naturalmente no solo, este acúmulo segue um modelo matemático quadrático. Com este resultado pode-se inferir que a biomassa da cana-de-açúcar é uma possível fonte de moléculas cloradas poluentes.

A utilização de diferentes fontes de K₂O não interferem nas variáveis biométricas da cana-de-açúcar, exceto para diâmetro médio de colmos. As variáveis massa fresca (MF), massa seca (MS), estimativa de produtividade de massa fresca (PMF) e concentração de K⁺ são função do fator principal doses de K₂O.