

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

**POLIHALITA COMO FONTE DE POTÁSSIO PARA  
ADUBAÇÃO DE SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Autora: Stella Mendes Pio de Oliveira  
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi

RIO VERDE - GO  
Agosto 2024

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

**POLIHALITA COMO FONTE DE POTÁSSIO PARA  
ADUBAÇÃO DA CANA-SOCA**

Autora: Stella Mendes Pio de Oliveira  
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi

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

Rio Verde - GO  
Agosto 2024

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

OL48p Oliveira, Stella Mendes Pio de  
Polihalita como fonte de potássio para adubação de  
soqueira de cana-de-açúcar / Sara Elisabete Rosa de  
AndradeStella Mendes Pio de Oliveira ; orientador  
Gustavo Castoldi. -- Rio Verde, 2024.  
60 f.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) -- Instituto  
Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

1. *Saccharum* spp. 2. Adubação potássica. 3. Cloreto  
de potássio. 4. Multinutriente. 5. Efeito residual.  
I. Castoldi, Gustavo, orient. II. 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: _____ |   |

Nome completo do autor: Stella Mendes Pio de Oliveira Matrícula: 200002320140079

Título do trabalho: POLIFALITA COMO PONTE DE POTÁSSIO PARA ADUBAÇÃO DE SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR

### RESTRICÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIF Goiano: 16 / 10 / 2024

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) referida(s) autor(a) declara:

- Que o documento e seu trabalho original, detêm os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obtive autorização de qualquer material incluído 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 não de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento eletrônico;
- Que cumpre 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.

Bo Verde, 14 / 10 / 2024  
Local Data

Stella Mendes Pio de Oliveira  
Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Cliente e de acordo:

\_\_\_\_\_  
Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado eletronicamente  
WYFAGO-CATUBR  
Data: 14/10/2024 11:22:11:000  
Endereço em: http://sistemas.ifgoiano.edu.br



Ata nº 81/2024 - SREPC/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

#### ATA Nº/137

#### BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE

Aos décimo quinto dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e quatro, às 13:30h, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: sob a presidência do primeiro, Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Presidente); Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno); Prof. Dr. Fábio Steiner (Avaliador externo); Prof. Dr. Adriano Perin (Avaliador externo); Prof. Dr. Edson Cabral da Silva (Avaliador interno) em sessão pública realizada no IF Goiano – Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Tese, em nível de Doutorado, de autoria de STELLA MENDES PIO DE OLIVEIRA, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Gustavo Castoldi, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida a autora da Tese para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, e procedidas às correções recomendadas, a Tese foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de DOUTORA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA, na área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGCA-AGRO da versão definitiva da Tese, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até 60 (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Tese de Doutorado, e para constar, eu, Vanilda Maria Campos, secretária do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Presidente)

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno)

Prof. Dr. Fábio Steiner (Avaliador externo)

Prof. Dr. Adriano Perin (Avaliador externo)

Prof. Dr. Edson Cabral (Avaliador interno)

Documento assinado eletronicamente por:

- Edson Cabral da Silva, Edson Cabral da Silva - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651437009506), em 15/08/2024 18:33:39.
- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR(A) DE CURSO - PUC003 - COORDENADOR R, em 15/08/2024 18:29:54.
- Adriano Perin, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 15/08/2024 18:24:54.
- Fábio Steiner, Fábio Steiner - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651437009506), em 15/08/2024 18:20:24.
- Gustavo Castoldi, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 15/08/2024 18:09:41.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 14/08/2024. 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: 825007  
Código de Autenticação: 14855c30ea



## AGRADECIMENTOS

Esta tese é fruto não apenas de um esforço pessoal, mas, também do apoio de diversas pessoas que me deram incentivo intelectual e emocional, direta ou indiretamente, numa das fases mais difíceis da minha vida pessoal. Por esse motivo, registro aqui os meus mais sinceros agradecimentos:

Agradeço a Deus e Nossa Senhora, pela grande oportunidade de cursar este doutorado e pelas tantas coisas boas que me concederam.

Aos meus pais, que a todo momento seguraram minha mão, mostraram o caminho de Deus, ensinaram o significado do amor, amizade, companheirismo e união, ajudaram com toda a condução do experimento, nunca desistiram de mim e sempre fizeram de tudo por nossa família.

Ao meu irmão Guilherme, que sempre foi meu amigo e confidente, ao nosso trabalho em equipe, pela sua ajuda, pelas risadas, pelo incentivo, pelas brigas, por estar ao meu lado em todos os momentos.

À minha cunhada, Luana Massucato, sempre minha amiga/irmã, ajudando em todos os momentos, ao nosso trabalho em equipe, pela colaboração e parceria com meu projeto.

Às minhas estrelinhas João Ferreira Pio Filho e Maria Mendes Pio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gustavo Castoldi, por ter me aceito, pelos conselhos e ensinamentos, por acreditar em meu potencial e em meu trabalho, e acima de tudo, por contribuir no meu crescimento.

Agradeço aos meus amigos e colegas de laboratório, sem colaboração deles o sucesso deste trabalho não seria possível, vocês fizeram meus dias, mais felizes.

Agradeço ao IF Goiano-Campus Rio Verde, pelo apoio e suporte para condução do doutorado, e a todos os Professores e Servidores pela transmissão do conhecimento e apoio.

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão da bolsa para a execução do projeto.

Aos amigos que fiz em Rio Verde, que levarei para vida, Francielly, Vitor, Kamilly, Oswaldo, Sinara, Família Remo, obrigada por entenderem e apoiarem as minhas loucuras.

Aos meus queridos amigos de longa data, Jaqueline, Camila, Natacha, Andressa, Fernanda, Inara, Thais, Barbara, Fabricia, Andiarie, Ana Karina, Cárola, Maria Antonieta, Juliana Boiam, Natalia Mashiba, Família Zumba Nado Livre, nem mesmo a distância física é capaz de diminuir ou apagar o meu amor por vocês, obrigada por permanecerem, por entenderem minha ausência e torcerem por mim.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

Muito obrigada!

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Stella Mendes Pio de Oliveira, nascida em Guararapes – SP, em 27 de setembro de 1990, filha de Odete Mendes Pio de Oliveira e Gilberto Mendes de Oliveira. Graduada em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá, 2016. Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, 2020. Em setembro de 2020, ingressou no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Agrárias - Agronomia, nível de doutorado, no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - GO, sob a orientação do Professor Dr. Gustavo Castoldi, finalizando a tese em agosto de 2024.

## ÍNDICE GERAL

	Páginas
ÍNDICE DE TABELAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIACÕES.....	xi
RESUMO .....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	1
2.1 CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	1
2.2 ADUBAÇÃO POTÁSSICA DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR....	2
2.3 USO DA POLIHALITA NA AGRICULTURA.....	3
3.REFERÊNCIAS .....	4
4.OBJETIVOS .....	7
CAPÍTULO 1 .....	8
<b>POLIHALITA COMO FONTE DE POTÁSSIO PARA ADUBAÇÃO DA CANA-SOCA</b>	<b>8</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	9
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	10
4.3 RESULTADOS .....	13
4.4 DISCUSSÃO .....	19
4.5 CONCLUSÃO .....	21
4.6 REFERÊNCIAS .....	22
CAPÍTULO 2 .....	24
<b>EFEITO RESIDUAL NO SOLO DO USO DE POLIHALITA NA ADUBAÇÃO DE SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR</b>	<b>24</b>
5.1 INTRODUÇÃO .....	25
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	26
5.3 RESULTADOS .....	29
5.4 DISCUSSÃO .....	31
5.5 CONCLUSÃO.....	33
5.6 REFERÊNCIAS.....	33

APÊNDICES .....	36
APÊNDICES A Resumo da análise de variância dos parâmetros mensurados no ensaio (cana-soca – ano 1) .....	36
APÊNDICES B Resumo da análise de variância dos parâmetros nutricionais mensurados no ensaio (cana-soca – ano 2). .....	37
APÊNDICES C Resumo da análise de variância dos parâmetros biométricos, produtivos e industriais mensurados no ensaio (cana-soca – ano 2) .....	38

# ÍNDICE DE TABELAS

## CAPÍTULO I

Páginas

Tabela 1	Atributos básicos químicos e texturais do solo da área experimental (Jataí - GO) .....10
Tabela 2.	Quantidade (kg ha <sup>-1</sup> ) de fertilizantes e nutrientes aportados pelos tratamentos (adubação de soqueira do ano 1 e adubação de soqueira do ano 2 – cana de 6º corte, safra 2020/21, Jataí - GO) .....11
Tabela 3	Médias observadas do número de entrenós, número total de colmos, Pol, teores de fibra, pureza do caldo e ATR de cana-de-açúcar (variedade CTC4, em seu 5º ciclo) em função do manejo da adubação potássica na soqueira do 4º ano. Jataí – GO, 2020.....14
Tabela 4	Teor de macro e micronutrientes na folha diagnose de cana-de-açúcar (variedade CTC4) em função do manejo da adubação potássica de soqueira. Jataí – GO, 2021.....16
Tabela 5	Altura de planta, diâmetro de colmo, número de entrenós, número de colmos e TCH (variedade CTC4, em seu 6º ciclo) em função do manejo da adubação potássica na soqueira. Jataí – GO, 2021.....17
Tabela 6	Teores de fibra, °Brix, Pol e pureza do caldo e ATR de cana-de-açúcar (variedade CTC4, em seu 6º ciclo) em função do manejo da adubação potássica na soqueira. Jataí – GO, 2021.....18

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO I

	Página
Figura 1. Dados meteorológicos coletados no município de Jataí-GO no período de 2019 a 2021 Fonte: INMET	15
Figura 2. Altura de planta (A), diâmetro de colmo (B), TCH (C) e ° Brix (D) de cana-de-açúcar (variedade CTC4, em seu 5º ciclo) em função do manejo da adubação potássica na soqueira do 4º ano. Jataí, GO. 2020. Médias seguidas por diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa para o efeito do tratamento pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).	15
Figura 3. Toneladas de colmos por hectare (TCH) [A] e Toneladas de açúcares por hectare (TAH) [B] de cana-de-açúcar nos anos 1 e 2, além de sua somatória (variedade CTC4, em seu 5º e 6º ciclo) em função do manejo da adubação potássica na soqueira. Jataí – GO, 2021.	19

## ÍNDICE DE TABELAS

### CAPÍTULO II

	Páginas
Tabela 1	Atributos básicos químicos e texturais do solo da área experimental (Jataí - GO) .....26
Tabela 2.	Quantidade (kg ha <sup>-1</sup> ) de fertilizantes e nutrientes aportados pelos tratamentos (adubação de soqueira do ano 1 e adubação de soqueira do ano 2 – cana de 6º corte, safra 2020/21, Jataí - GO) .....27
Tabela 3	Efeito residual no solo, com diferentes profundidades em função do manejo da adubação potássica na soqueira. Jataí, GO. 2021.....29

**ÍNDICE DE FIGURAS****CAPÍTULO II**

	Página
Figura 2. Produtividade de colmos (TCH) de cana-de-açúcar (variedade CTC4, em seu 6º ciclo) em função do manejo da adubação potássica na soqueira. Jataí – GO, 2021.....	30

**LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIACÕES**

Al	- Alumínio
Ca	- Cálcio
CaO	- Óxido de Cálcio
CTC	- Capacidade de troca de cátions
CV	- Coeficiente de variação
DAE	- Dias após a emergência
K	- Potássio
KCl	- Cloreto de Potássio
K <sub>2</sub> O	- Óxido de Potássio
Mg	- Magnésio
MgO	- Óxido de Magnésio
MO	- Matéria Orgânica
MS	- Massa seca
N	- Nitrogênio
S	- Enxofre
P	- Fósforo
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	- Pentóxido de fósforo
pH	- Potencial hidrogênico
V	- Saturação por bases

## RESUMO

OLIVEIRA, S. M. P. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, agosto 2024. **Polihalita como fonte de potássio para adubação de soqueira de cana-de-açúcar.** Orientador: Dr. Gustavo Castoldi.

A polihalita é um mineral fonte de potássio (K) e de outros nutrientes, que pode ser usado como fertilizante para a produção vegetal. Testou-se as hipóteses de que i.) a polihalita pode ser um fertilizante alternativo ao cloreto de potássio (KCl) para a cana-de-açúcar, com a vantagem de fornecer, além de K, também Ca, Mg e S, e ii.) a menor solubilidade da polihalita associada à composição multinutriente pode proporcionar efeito residual no solo. Neste cenário, avaliou-se a polihalita em comparação ao KCl, na adubação potássica da quarta e quinta soqueira da cana-de-açúcar (variedade CTC 4). O experimento foi instalado em outubro de 2019, em campo, no município de Jataí, GO, Brasil, em um Latossolo Vermelho distrófico. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram compostos pelo tratamento controle sem adubação potássica, e pelas fontes de K, aplicadas de forma isolada (KCl e polihalita) ou associadas (blend de polihalita + KCl na proporção 25/75, respectivamente). As adubações das soqueiras foram realizadas com base na reposição de  $1,3 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  para cada tonelada de colmos produzida na safra anterior. No capítulo I, observou-se que a adubação potássica na soqueira, independente da fonte de K, aumentou a produção de colmos da cana-de-açúcar no primeiro ano e na somatória dos anos. Observou-se ainda que associação de polihalita + KCl (blend) conferiu maior altura de plantas em comparação ao tratamento sem adubação potássica; e que quando comparadas as fontes de K isoladas, a adubação com polihalita proporcionou maior diâmetro de colmo e maior teor foliar de S. Tais resultados, muito provavelmente ocorre pela composição multinutriente da polihalita, reforçando o potencial da fonte em ser uma alternativa ao KCl na adubação de cana-de-açúcar. Os resultados do experimento do capítulo II indicaram que a polihalita apresentou os maiores teores de K na camada de 0-20 cm após dois ciclos de cultivo de cana-de-açúcar. Para o teor de S ficou mais evidente as diferenças entre os fertilizantes, com os tratamentos com polihalita tendo apresentado os maiores teores de S até 40 cm de profundidade. A liberação gradativa dos nutrientes contidos polihalita indica efeito residual no solo, o que

pode ser benéfico para a cultura da cana-de-açúcar em cultivos subsequentes e, assim, ser uma alternativa ao uso do KCl.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp.; Adubação potássica; Cloreto de potássio; Multinutriente; Efeito residual.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, S. M. P. Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás – Rio Verde Campus – GO, August 2024. Polyhalite as a source of potassium for fertilization of sugarcane ratoon crops. Advisor: Dr. Gustavo Castoldi.

Polyhalite is a mineral source of potassium (K) and other nutrients, which can be used as fertilizer for crop production. The tested hypotheses were i.) polyhalite can be an alternative fertilizer to potassium chloride (KCl) for sugarcane, with the advantage of providing, in addition to K, also Ca, Mg and S, and ii.) the lower solubility of polyhalite associated with multiple nutrient composition can provide a residual effect in soil. In this scenario, polyhalite was evaluated in comparison to KCl, in the potassium fertilization of the fourth and fifth ratoon of sugarcane (variety CTC 4). The experiment was carried out in October 2019, in the field, in the municipality of Jataí, GO, Brazil, in a dystrophic Red Latosol. The experimental design was randomized blocks, with four treatments and five replicates. The treatments consisted of a control treatment without potassium fertilization, and the K sources, applied in isolation (KCl and polyhalite) or in combination (blend of polyhalite + KCl in the proportion 25/75, respectively). The ratoon fertilizations were carried out based on the replacement of 1.3 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O for each ton of stalks produced in the previous harvest. In Chapter I, it was observed that potassium fertilization in the ratoon, regardless of the K source, increased the sugarcane stalks production in the first year and in the sum of the years. It was also observed that the combination of polyhalite + KCl (blend) conferred greater plant height compared to the treatment without potassium fertilization; and that when comparing the isolated K sources, fertilization with polyhalite provided greater stalk diameter and higher leaf S content. These results most likely occur due to the multiple nutrient composition of polyhalite, reinforcing the potential of the source to be an alternative to KCl in sugarcane

fertilization. The experiment results in Chapter II indicated that polyhalite presented the highest K contents in the 0-20 cm layer after two sugarcane cultivation cycles. For S content, the differences between the fertilizers were more evident, with treatments containing polyhalite presenting the highest S contents up to 40 cm in depth. The gradual release of the nutrients contained in polyhalite indicates a residual effect in the soil, which may be beneficial for sugarcane crops in subsequent crops and thus be an alternative to the KCl use.

Keywords: *Saccharum* spp.; Potassium fertilization; Potassium chloride; Multinutrient; Residual effect.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Ao longo dos últimos anos, o setor sucroalcooleiro tem assumido expressiva fração do agronegócio nacional, totalizando 713,2 milhões de toneladas produzidas na safra de 2023 e um faturamento de 4,5% no PIB brasileiro (IBGE, 2023). No Brasil, a cana-de-açúcar (*Saccharum spp L.*) é a terceira cultura mais cultivada, e pesquisas apontam o país como líder mundial na produção do etanol derivado da cana-de-açúcar (USDA, 2024).

Atualmente, a adubação potássica de solos agrícolas brasileiros é realizada empregando sais solúveis em água, principalmente o cloreto de potássio (KCl). Em virtude da pequena produção brasileira (7,60% do consumo aparente), quando comparada com a grande demanda interna pelo produto, o Brasil situa-se no contexto mundial como grande importador de fertilizante potássico, principalmente de países como o Canadá (32%), Belarus (18%), Rússia (18%) e China (12%) (CEPEA, 2022).

Em termos de requerimento nutricional, o potássio (K) é o nutriente mais acumulado pela cultura da cana-de-açúcar (PENATTI, 2013; LUZ *et al.*, 2017), com aproximadamente 175 kg (K<sub>2</sub>O colmo + folhas) para cada 100 toneladas de colmos produzidos no ano de plantio (OTTO *et al.*, 2019). Nos cultivos de soqueiras, o requerimento de K é menor, cerca de 135 kg (K<sub>2</sub>O colmo + folhas) para cada 100 toneladas de colmos produzidos (FRANCO *et al.*, 2008; OLIVEIRA, 2008).

O K é um macronutriente, ou seja, absorvido em grande quantidade pelas plantas, sendo o cátion mais abundante nos vegetais (OLIVEIRA, 2014; VIEIRA *et al.*, 2016). Embora o K não seja encontrado em nenhuma estrutura vegetal ou molécula química, ele está envolvido em variedade de funções fisiológicas essenciais para o desenvolvimento vegetal (CARVALHO E KAZAMA, 2011; PAULA *et al.*, 2020). O K é necessário na regulação da translocação de nutrientes na planta, promoção da síntese de proteínas, manutenção do turgor celular, regulação dos movimentos estomáticos, promoção da absorção de água, estimulação do transporte e armazenamento de carboidratos, aumento da absorção de nitrogênio, e ainda participa da síntese de amido nas folhas e atividade fotossintética (ZHAO *et al.*, 2021).

O KCl é uma fonte solúvel de K que possui o cloro como íon acompanhante, e é a fonte potássica mais utilizada pelos agricultores (BANG *et al.*, 2020). De fato, o KCl é uma fonte interessante de K, sobretudo por apresentar alta solubilidade – fazendo com

que haja liberação rápida do K para as culturas - e elevada concentração de K (~60% de  $K_2O$ ), e pode facilitar as operações de logística e distribuição deste fertilizante. Contudo, o uso de maneira não equilibrada, e sob condições específicas, pode trazer consequências negativas aos sistemas agrícolas, como salinização e o acúmulo de cloro no solo (SARDANS; PEÑUELAS, 2021).

A salinização é ameaça crescente aos sistemas agrícolas intensivos, especialmente em áreas tropicais que apresentam mais de um ciclo de cultivo anual, acelerando o processo de acúmulo de sais no solo (MACHADO E SERRALHEIRO, 2017; HASSANI *et al.*, 2021). A salinização pode causar danos fisiológicos às sementes e às raízes das plantas, dificultando a absorção de água e nutrientes, especialmente em períodos de estiagem (HASSANI *et al.*, 2021).

O K no solo encontra-se disponível para as plantas na forma trocável e solúvel, sendo absorvido pelas plantas na forma de  $K^+$ . Nas culturas como a cana-de-açúcar, esse nutriente atua no processo de assimilação do carbono e translocação de fotossintetizados (CLEMENTES, 1959). Quando encontrado em quantidades limitantes na folha da cana, Hartt e Burr (1967) constataram que as células-guarda dos estômatos permanecem fechadas diminuindo a intensidade da fixação fotossintética.

Hartt (1929) verificou a importância do K na cana-de-açúcar quando constatou elevação da porcentagem de açúcares redutores e diminuição da sacarose em plantas com deficiência de K. Hauch e Dickinson (1954), estudando plantas com deficiência de K comprovaram que a atividade hidrolítica da invertase é aumentada, promovendo maiores quantidades de açúcares redutores quando comparadas com a quantidade de sacarose.

Uma das alternativas para atender a demanda por K durante os cultivos poderia ser o uso do fertilizante conhecido como polihalita, que além de ser composto por K (13%  $K_2O$ ), também apresenta sulfato (21,3% S), cálcio (13,3% CaO) e magnésio (4% MgO), além de traços de micronutrientes essenciais (MANNING, 2017). Além de sua composição multinutriente, esse fertilizante apresenta menor solubilidade ( $27g L^{-1}$ ) em comparação ao KCl ( $360 g L^{-1}$ ), e pode ser disponibilizado na forma de grânulos, e facilita o manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar (DAL MOLIN *et al.*, 2019).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp. L.) é uma planta monocotiledônea, pertencente à família *Poaceae* (BEZERRA *et al.*, 2018) e nativa do continente asiático. Essa planta é um complexo poliploide derivado de hibridização interespecífica e retrocruzamentos envolvendo três principais espécies: *Saccharum officinarum*, *S. barberi* e *S. spontaneum* (NOBILE *et al.*, 2017). Essa hibridização também propiciou a cana-de-açúcar a obtenção de maior potencial de rendimento e adaptabilidade aprimorada para o crescimento sob várias condições de estresse (FARIAS, 2008; SILVA *et al.*, 2012). As canas-de-açúcar modernas apresentam características peculiares, combinando o alto teor de açúcar de *S. officinarum* com a robustez e resistência a doenças de *S. spontaneum* (NOBILE *et al.*, 2017).

Para cana de ano e soca, a fase de maior desenvolvimento ocorre na primeira metade do período de desenvolvimento, enquanto para a cana de ano e meio isso acontece na segunda metade do período de desenvolvimento. Tanto para cana-planta, quanto para soca, o ponto máximo de vegetação ocorre anualmente em dezembro (TUTA, 2013). Nessa época, fatores como luz e comprimento do dia associam-se a fatores hidrotérmicos, mostrando, assim, a importância na produção de cana-de-açúcar (LACERDA *et al.*, 2019).

A importância da cana-de-açúcar se deve ao fato de não ser apenas matéria-prima para a produção de açúcar (SILVA *et al.*, 2019), mas por ser cultura de biomassa eficiente que apresenta elevado potencial para geração de biocombustível (MAIA JÚNIOR *et al.*, 2018). Além de os produtos principais de cadeia produtiva, o beneficiamento da cana-de-açúcar gera alguns subprodutos, como o bagaço e o melaço (MAIA JÚNIOR *et al.*, 2018). A principal matéria-prima para a produção de álcool é o melaço, já a matéria-prima na indústria de papel é o bagaço, que também pode ser utilizado na indústria de utilização para cogeração de energia na maioria das usinas de açúcar e na alimentação animal (MAIA JÚNIOR *et al.*, 2018).

O Brasil destaca-se como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido pela Índia (USDA, 2024). Na safra 2023-2024, a área cultivada de cana-de-açúcar brasileira foi de 8,33 milhões de hectares, com a produção de 713,2 milhões de toneladas (CONAB, 2024). Enquanto o estado de São Paulo é o maior produtor de cana-de-açúcar, com 55% da produção nacional, Goiás figura como o segundo maior produtor nacional,

com 950 mil de hectares e produção de 76 mil toneladas, o que equivale a 11,7% da cana processada no país (CONAB, 2024).

## 2.2 Adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar consome aproximadamente 11% do total de fertilizantes utilizados anualmente no Brasil, com o total de 4,14 Mt, valor esse inferior somente ao consumido pelas culturas da soja (17,69 Mt) e do milho (6,77 Mt) (ANDA, 2023). O principal fertilizante com K utilizado no Brasil é o KCl, que contém de 58 a 60% de  $K_2O$  (OTTO *et al.*, 2010).

Nos solos da região tropical, os teores de K originais são baixos (normalmente inferiores a  $1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), o que torna necessária a complementação desse nutriente com fertilizantes para possibilitar produtividades sustentáveis (PENATTI, 2013). O K, seguido pelo N, é o nutriente mais absorvido pela cana-de-açúcar. Para cada 100 t de colmos, são exportados cerca de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  (OTTO *et al.*, 2019), embora em solos com teores elevados de K a exportação pelos colmos possa atingir  $285 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  (OTTO *et al.*, 2019).

O K adicionado via adubação potássica, assim como aquele disponibilizado da palha que permanece sobre o solo, pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo, dependendo da quantidade de chuva, da dose de nutriente e da textura do solo, entre outros fatores (OTTO *et al.*, 2019). Rosolem & Nakagawa (2001), constataram acréscimo na lixiviação de K no perfil de um solo de textura média quando aplicadas doses acima de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  por ano, independente da maneira de aplicação. Além de favorecer a lixiviação, o K aplicado em doses altas e de uma única vez, pode causar a salinização da região que recebe o fertilizante, podendo causar toxidez às raízes das plantas (SOUZA *et al.*, 2007).

Os resultados obtidos por Otto *et al.* (2010) evidenciam que o K exerce importante função no crescimento da cana-de-açúcar, na produtividade de colmos e na produtividade de açúcar, especialmente em solos com baixos teores do nutriente ( $< 0,9 \text{ mmol}_c \text{ K dm}^{-3}$  na camada de 00-20 cm). Nessa mesma condição, doses excessivas de K (superiores a  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ ) reduziram a produtividade da cana-de-açúcar nas condições experimentais.

## 2.3 Uso da polihalita na agricultura

A produção agrícola no Brasil vem sendo cada dia mais desafiada por seus solos ácidos, influenciando na disponibilidade de K. Na agricultura, 90% do K utilizado ocorrem na forma de KCl (OLIVEIRA; SOUZA, 2024). No último ano, o Brasil registrou volume recorde na importação de fertilizantes, com 2,77 milhões de toneladas (CONAB, 2024)

Nesse contexto, contar com fertilizantes alternativos ao KCl, a exemplo da polihalita, seria de grande valia. A polihalita é composta por K<sub>2</sub>O (13%), Ca (13,3%), Mg (4,0%) e S (21,3%). Por apresentar baixos índices de cloreto e sódio, apresenta menor salinidade quando comparada com o KCl (FRIED *et al.*, 2019), além de ser menos solúvel que o KCl, e pode garantir o fornecimento gradual dos nutrientes (YERMIYAHU *et al.*, 2017; YERMIYAHU *et al.*, 2019).

Embora a polihalita seja conhecida há muito tempo, somente a partir da descoberta no Reino Unido, na última década, de até então, o maior depósito mundial de polihalita (KEMP *et al.*, 2016), despertou o interesse pela utilização desse mineral como fertilizante, promovendo novas pesquisas em diversas culturas, tais como arroz (YEO *et al.*, 2019); soja (VALE; DOWICH, 2017); mostarda (TIWARI *et al.*, 2015); café (PVFCCo, 2016); alfafa (BERNADI *et al.*, 2018); cana-de-açúcar (BHATT *et al.*, 2021); repolho e couve-flor (SATISHA; GANESHAMURTHY, 2016); amendoim (HOANG *et al.*, 2016), batata (MELLO *et al.*, 2018a), tomate (MELLO *et al.*, 2018b) e milho (MOLIN *et al.*, 2019). Conforme Tiwari *et al.* (2015), a polihalita aumentou a absorção do K e a produção da biomassa da mostarda pela liberação lenta dos nutrientes no solo. Molin *et al.* (2019) verificaram que o uso de polihalita performa igual ou de modo superior ao KCl na produtividade do milho, além de corrigir os níveis de Ca, Mg e S no solo. Mesmo assim, ainda são poucas as informações a respeito da eficiência da polihalita em comparação a outras fontes de fertilizantes comerciais (BHATT *et al.*, 2021).

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. 2023. Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes.

BANG, T. C.; HUSTED, S.; LAURSEN, K. H.; PERSSON, D. P.; SCHOJOERRING, J. K. 2020. The molecular-physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *Tansley Review*, 229: 2446-2469.

BERNARDI, A. C. C.; DE SOUZA, G. B.; VALE, F. 2018. Polihalita comparada ao KCl e gesso em fertilização de alfafa. *Int Potassa Inst.* 52: 1–9.

BEZERRA, J. D. C.; FERREIRA, G. D. G.; OLIVEIRA, M. W.; CAMPOS, J. M. S.; ANDRADE, A. P.; JUNIOR NASCIMENTO, J. R. S. 2018. Cana-de-açúcar: Melhoramento genético e suas finalidades forrageiras. *Nucleus Animalium*, 10(2): 131-147.

BHATT, R.; SINGH, P.; ALI, O. M.; ABDEL LATEF, A. A. H.; LAING, A. M.; HOSSAIN, A. 2021. Polihalita influencia positivamente o crescimento, a produtividade e a qualidade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*L.) em solos deficientes em potássio e cálcio nos trópicos semiáridos. *Sustentabilidade*.

CAIRES, E. F. 2015. Calcário aplicado em SPD pode amenizar acidez, em camadas profundas do solo. *Visão agrícola*, 9: 45.

CARVALHO, L. C.; KAZAMA, E. H. 2011. Efeito da salinidade de cloreto de potássio (KCL) na germinação de sementes e crescimento de plântulas de pepino (*Cucumis sativus* L.). *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, 7: 429-435.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. 2022. Conflito no leste europeu completa um mês e setor de fertilizantes segue apreensivo.

CLEMENTS, H. F. 1959. *Sugarcane nutrition and culture*. Lucknow, Indian Institute of Sugar Research, 189.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. 2024. 4º Levantamento Safra 2023/24. 11:53.

DAL MOLIN, S. J.; NASCIMENTO, C. O.; TEIXEIRA, P. C.; BENITES, V. M. 2019. Polyhalite as a potassium and multinutrient source for plant nutrition. *Archives of agronomy and soil Science*, 66(3): 1-12.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; NETO, J. D. 2008. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(4): 356-362.

FRANCO, H. C. J.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. 2008. Acúmulo de nutrientes pela cana-planta. *STAB Açúcar, Álcool S/ubpr.*, 26: 47-51.

FRIED, R.; TSOGLIN, E.; IMAS, P. 2019. Índice de sal (SI) de Polihalita. *Instituto Internacional de Potássio (IPI) e-ifc* 58: 18-22.

HART, C. E. 1929. Potassium deficiency in sugarcane. *Hawaiian Planter's Record*, 88: 61-229.

HART, C. E.; BURR, G. O. 1967. Factores affecting photosynthesis in sugarcane. In: Congress of the international Society of sugarcane technologists, 12, 1965, San Juan. Proceedings. Amsterdam, Elsevier, 593-609.

HASSANI, A.; AZAPAGIC, A.; SHOKRI, N. 2021. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nature Communications*, 12: 1-17

HAUCK, F. W. & DICKISON, J. 1954. Conveniencia y experimentacion com potássio em el cultivo de cana de azucar. *ATAC: Revista técnica de informacion*. La Habana, 13: 626

HOANG, M. T.; DUONG, M. M.; TRUONG, T. T.; HO, H. C.; PHAM, V. B. 2016. Eficiência agrônômica da aplicação de polihalita na produtividade e qualidade do amendoim no Vietnã. *Int Potassa Inst.* 47:3-11

KEMP, S. J.; SMITH, F. W.; WAGNER, D.; MOUNTENEY, I.; BELL, C. P.; MILNE, C. J.; POTTAS, T. L. 2016. Uma abordagem melhorada para caracterizar depósitos de evaporitos contendo potássio, evidenciados em North Yorkshire, Reino Unido. *Eco Geol.* 111(3):719-42.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola: IBGE, 110.

LACERDA, A. R. S.; SOUZA, A. R.; SANTOS, T. M.; CLEMENTE, J. M.; DUARTE, A. R.; MACHADO, M. G. 2019. Produtividade da cana-de-açúcar em resposta a adubação NPK em diferentes épocas. *Humanidades & Tecnologia em Revista (FINOM)*, 1(18).

LUZ, P. H. C.; QUINTINO, T. A.; SILVA, F. C. COLETI, J. T.; BET, J. A. 2017. Nutrição mineral e fertilização em cana-de-açúcar. In: SILVA, F.C.; ALVES, B.J.R.; FREITAS, P.L. (eds.) Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos. Brasília: *Embrapa*, 656-730.

MACHADO, R. M. A.; SERRALHEIRO, R. P. 2017. Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth. Management Practices to Prevent and Mitigate Soil Salinization. *Horticulture*, 3: 1-13.

MAIA JÚNIOR, S. O.; SILVA, J. A. C.; SANTOS, K. P. O.; CORDEIRO, D. R.; SILVA, J. V.; ANDRES, L. 2018. Respostas morfológicas e fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar sob estresse hídrico no segundo ciclo de cultivo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12(3): 2661.

MANNING, D. A. C. 2017. Innovation in resourcing geological materials as crop nutrients. *Natural Resources Research*, 27:217-227. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9347-2>

MELLO, S. C.; PIERCE, F. J.; TONHATI, R.; ALMEIDA, G. S.; NETO, D. D.; PAVULURI, K. 2018a. Resposta da batata à polihalita como fertilizante fonte de potássio no Brasil: produtividade e qualidade. *HortScience*. 53(3):373–9.

MELLO, S. C.; TONHATI, R.; NETO, D. D.; DARAPUNENI, M.; PAVULURI, K. 2018b. Resposta do tomate à polihalita como fertilizante multinutriente no sudeste do Brasil. *J Planta Nutr*.

MOLIN, S. J.; NASCIMENTO, C. O.; TEIXEIRA, P. C.; BENITES, V. M. 2019. Polihalita como potasfonte de sódio e multinutrientes para nutrição de plantas. *Arch Agron Solo Sci*. 66(5):667–78.

NOBILE, F. O.; FARINELLI, R.; JUNIOR, F. K.; PESSI, G. H. P. 2017. Aplicação de calcário em superfície: estudo da influência nas propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico sob o cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, 20(2): 99-108.

OLIVEIRA, L. A. M. 2014. Potássio. DNPM, 1: 1-2.

OLIVEIRA, E. C. A. 2008. Dinâmica de nutrientes na cana – de – açúcar em sistema irrigado de produção, 73. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

OLIVEIRA, L. A. M.; SOUZA, A. E. Balanço miniera brasileiro: potássio. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/dnpm\\_legis/Balanço01/pdf/potássio.pdf](http://www.dnpm.gov.br/dnpm_legis/Balanço01/pdf/potássio.pdf)>. Acesso em: 27 junho de 2024.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. 2010. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1137-1145.

OTTO, R.; ALTARUGIO, L. M.; SANCHES, G. M. 2019. Atualizações sobre exigências nutricionais da cana-de-açúcar para fins de manejo da adubação. *Informações Agronômicas NPCT*, 3: 1-20.

PAULA, R. H. R.; ANJOS, D. D. N.; FREITAS, P. H. G.; RIBEIRO, J. S. 2020. Efeito da salinidade do cloreto de potássio na emergência e no crescimento inicial de plântulas de soja. *Revista PesquisAgro*, 3: 110-117.

PENATTI, C. P. 2013. Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiência. *Ottoni Editora*, Itu, 347

PVFCCo (Petro Vietnam Fertilizer and Chemicals Corporation). 2016. Polihalita aplicativo melhora o café (Café robusta) rendimento e qualidade no Vietnã. *Int Potassa Inst*. 47:12–9

ROSOLEM, C. A. & NAKAGAWA, J. 2001. Residual and annual potassic fertilization for soybeans. *Nutr. Cycl. Agroecos.*, 59:143-149.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. 2021. Potassium Control of Plant Functions: Ecological and Agricultural Implications. *Plants*, 10: 1-31

- SATISHA, G. C.; GANESHAMURTHY, A. N. 2016. Bioeficácia da aplicação de polihalita no rendimento e qualidade do repolho e da couve-flor. Instituto Internacional de Potassa. 44:3–13
- SILVA, A. F. M. S.; GOMES, G. N.; BACCHI, M. R. P. 2019. A importância das cadeias da cana-de-açúcar: uma análise insumo-produto. Economia ensaios, Uberlândia, 33 (2): 149- 174.
- SILVA, S.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; DANTAS NETO, J. 2012. Adaptação do método de Kc “dual” (FAO-56) para a cana-de-açúcar irrigada por gotejamento. ABEAS, 27: 87-93.
- SOUZA, F. S.; FARINELLI, R. & ROSOLEM, C. A. 2007. Desenvolvimento radicular do algodoeiro em resposta à localização do fertilizante. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:387-392.
- TIWARI, D. D, PANDEY, S. B. & KATIVAR, N. K. 2015. Effects of polyhalite as a fertilizer on yield and quality of the oilseed crops mustard and sesame. International Potash *Institute (eifc)*, 42:13-20.
- TUTA, N. F. 2013. Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar no ciclo da canaplanta com aplicação de efluente de esgoto tratado via gotejamento subsuperficial. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.
- USDA. 2024. USDA Agricultural Projections to 2031. Disponível em: <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/USDA-AgriculturalProjections-to-2031.pdf> >. Acesso em maio de 2024.
- VALE, F. e DOWICH, I. 2017. Efeito residual do fertilizante polihalita para milho cultivado em solo arenoso. *In: Reuniões Anuais Internacionais da ASA, CSSA e SSSA, Tampa, Flórida, EUA. Processos. Sociedade Americana de Agronomia. scisoc.confex.com*
- VIEIRA, R. C. B.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; MORAES, R. P.; CARNIEL, E. 2015. Potassium Fertilization for Long Term No-Till Crop Rotation in the Central-Southern Region of Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40: 1-16.
- YEO LP, IMAS P. 2019. Optimizing Rice Fertilization with Polyhalite in Karawang, Indonesia. *IPI- International Potash Institute*, 1(58): 1-7.
- YERMIYAHU, U.; ZIPORI, I.; OMER, C.; BEER, Y. 2019. Solubilidade de Polihalita granular em condições de laboratório e de campo. *Instituto Internacional de Potássio (IPI) e-ifc* 58: 3-9.
- YERMIYAHU, U.; ZIPORI, I.; FAINGOLD, I.; YUSOPOV, L.; FAUST, N.; BAR-TAL, A. 2017. Polihalita como Fertilizante Multi Nutriente - Potássio, Magnésio, Cálcio e Sulfato. *Israel J. Plant Sei.* 64: 3-4.

ZHAO, S.; ZHANG, Q.; LIU, M.; ZHOU, H.; WANG, P. 2021. Regulation of plant responses to salt stress. *International Journal of Molecular Sciences*. 22: 4609.

#### 4. OBJETIVOS

Testar a hipótese de que a polihalita pode ser um fertilizante alternativo ao KCl no fornecimento de K para a cultura da cana-de-açúcar.

Avaliar o efeito residual no solo da polihalita quando comparada ao KCl, na adubação potássica da soqueira da cana-de-açúcar.

#### 5. CAPÍTULO I

*Artigo redigido e formatado conforme normas da Journal of soil Science and plant nutrition*

##### **POLIHALITA COMO FONTE POTÁSSICA NA ADUBAÇÃO DA SOQUEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO**

O potássio (K) é o nutriente mais extraído pela cultura da cana-de-açúcar, e o cloreto de potássio (KCl) é o principal fertilizante utilizado para suprir tal demanda. Embora ainda escassos, alguns estudos indicam a polihalita como potencial fonte alternativa de K, com o benefício de fornecer também enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Objetivou-se com este trabalho avaliar a polihalita, em comparação ao KCl, na adubação potássica da soqueira da cana-de-açúcar (variedade CTC 4). O experimento foi conduzido por duas safras, em campo, no município de Jataí, GO, Brasil, em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. Comparou-se o tratamento controle sem adubação potássica com fontes de K aplicadas de forma isoladas (KCl e polihalita) ou associadas (blend de polihalita + KCl na proporção 25/75, respectivamente). Foram avaliadas as variáveis biométricas e produtivas e os atributos tecnológicos da cana-de-açúcar. Os resultados ( $p$ -valor $<0,05$  teste Tukey) evidenciam que a adubação potássica da soqueira aumentou a produção de colmos da cana-de-açúcar, independentemente da fonte utilizada. Ademais, observou-se que a associação de polihalita + KCl conferiu maior altura de plantas em comparação ao tratamento sem adubação potássica; e que quando comparadas as fontes de K isoladas, a adubação com

polihalita proporcionou maior diâmetro de colmo e maior teor foliar de S. Tais resultados, muito provavelmente, ocorrem pela composição multinutriente da polihalita, reiterando o potencial da fonte em ser uma alternativa interessante ao KCl na adubação de cana-de-açúcar.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum*; Multinutriente; Potássio; Nutrição mineral; Cloreto de potássio.

## ABSTRACT

Article written and formatted according to the standards of the Journal of Soil Science and Plant Nutrition

### POLYHALITE AS A POTASSIUM SOURCE FOR SUGARCANE RATOON FERTILIZATION IN A CERRADO RED OXIDOL

Potassium (K) is the nutrient most extracted by sugarcane crops, and potassium chloride (KCl) is the main fertilizer used to meet this demand. Although still scarce, some studies indicate polyhalite as a potential K alternative source, with the benefit of also providing sulfur (S), calcium (Ca) and magnesium (Mg). The objective of this study was to evaluate polyhalite, in comparison to KCl, for potassium fertilization of sugarcane ratoon (variety CTC 4). The experiment was conducted for two harvests, in the field, in the municipality of Jataí, GO, Brazil, in a dystrophic Red Oxisol with a clayey texture. The experimental design was randomized blocks, with four treatments and five replicates. The control treatment without potassium fertilization was compared with K sources applied alone (KCl and polyhalite) or associated (polyhalite + KCl blend in the proportion 25/75, respectively). The biometric and productive variables and technological attributes of sugarcane were evaluated. The results (p-value <0.05 Tukey test) show that ratoon potassium fertilization increased the sugarcane stalks production, regardless of the source used. Furthermore, it was observed that the association of polyhalite + KCl conferred greater plant height compared to the treatment without potassium fertilization; and that when comparing isolated K sources, fertilization with polyhalite provided greater stem diameter and higher leaf S content. Such results are most likely due to the multiple nutrient composition of polyhalite, reiterating the source potential to be an interesting alternative to KCl in sugarcane fertilization.

Keywords: Saccharum officinarum; Multiple nutrient; Potassium; Mineral nutrition; Potassium chloride.

## 5.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com 8,4 milhões de hectares cultivados (USDA, 2024). Os solos brasileiros em sua maioria, no entanto, são ácidos e de baixa fertilidade natural, sendo necessária a correção e o fornecimento dos nutrientes requeridos pela cultura da cana-de-açúcar (MARIN *et al.*, 2016), de modo que o uso racional de fertilizantes tornou-se essencial para a sustentabilidade do sistema produtivo, já que representa alto percentual dos custos de produção (VITTI; LUZ; ALTRAN, 2016).

O K é o nutriente mais extraído (colmo + folhas) pela cana-de-açúcar, sendo necessários aproximadamente 175 kg de K<sub>2</sub>O para cada 100 toneladas de colmos produzidos no ano de plantio da cultura (OTTO *et al.*, 2019). O K tem funções relacionadas ao transporte de açúcares (CAI *et al.*, 2012), transporte e absorção de água, ativação e cargas de enzimas de neutralização, metabolismo do nitrogênio e osmorregulação (RÖMHELD E KIRKBY, 2010).

Embora parte do K utilizado pela cultura da cana-de-açúcar possa ser fornecido via aplicação de vinhaça, geralmente, o KCl é a principal fonte de K utilizada na cultura. Sendo que o Brasil importa 95% de todo KCl que utiliza na agricultura (ANDA, 2024), esse cenário de alta dependência por uma única fonte é uma camada extra de risco à sustentabilidade da atividade. Faz-se então cada vez mais necessário estudar fontes solúveis alternativas de K, mesmo que importadas, à exemplo da polihalita.

A polihalita [K<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Mg(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>•2(H<sub>2</sub>O)] é um mineral de evaporita contendo 13,0% K<sub>2</sub>O, 13,3% Ca, 4,0% Mg e 21,3% S na composição (MANNING, 2017), apresentando baixa solubilidade em água (27 g L<sup>-1</sup>) e versatilidade para a fabricação de diversas formulações de fertilizantes (DAL MOLIN *et al.*, 2019). O uso de polihalita como fonte de K pode ser vantajosa em solos de alta lixiviação e baixa capacidade de troca catiônica (CTC), uma vez que a liberação lenta de nutrientes do grânulo pode minimizar a lixiviação e/ou reduzir o consumo de luxo, aumentando a porcentagem de bases no solo e, portanto, melhorando a relação custo-benefício (BARBARICK, 1991).

A polihalita pode também ser utilizada em mistura com outras fontes de K, como o KCl, e dessa forma garantir o suprimento de K e ao mesmo tempo fornecer outros nutrientes, como Ca, Mg e S (YERMIYAHY *et al.*, 2017; MELLO *et al.*, 2018). Melgar *et al.* (2018), relatam vantagens da polihalita em relação ao uso do KCl, principalmente por não conter cloreto na composição química. Ademais, Pavinatto *et al.* (2020), constataram que a liberação de nutrientes da polihalita para a cana-de-açúcar foi adequada e comparável ao KCl, ao passo que contribuiu para o aumento da absorção de S.

Nesse contexto, o trabalho testou a hipótese de que a polihalita é um eficiente fertilizante alternativo ao KCl para a adubação de soqueira da cana-de-açúcar.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### *Local e caracterização da área experimental*

O experimento foi conduzido por duas safras, em condições de campo, em área da Fazenda São Thomé Barro Branco, localizada no município de Jataí (17° 38' 37" S - 51° 34' 31" W), GO, Brasil. A precipitação média anual é de 1600 mm, a temperatura média anual é de 23°C e a altitude é de 891 m.

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura argilosa, fase cerrado (SANTOS *et al.*, 2018), Ferralsols (WRB), Oxisols (Soil Taxonomy), de textura média. Antes da implantação do experimento, o solo foi amostrado nas camadas de 00–20 e 20–40 cm, e analisado quanto às características básicas de fertilidade (pH, MO, P, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, K, Ca, Mg, Al<sup>+3</sup>, H+Al e micronutrientes) e granulometria (Tabela 1).

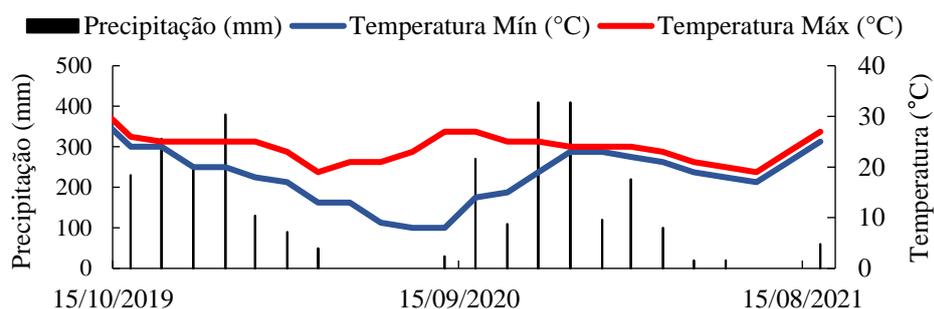
**Tabela 1.** Atributos básicos químicos e granulométricos do solo da área por ocasião da implantação do experimento. Jataí - GO, 2019.

Camada cm	pH CaCl <sub>2</sub>	P ---- mg dm <sup>-3</sup> ----	S -----	K -----	K -----	Ca -----	Mg -----	Al -----	H+Al -----	CTC -----	V% ---- % ----	m
0-20	4,70	5,02	13,3	25	0,06	1,74	0,45	0	4,95	7,21	31,4	0
20-40	4,86	3,87	14,1	19	0,05	1,36	0,31	0	4,68	6,4	26,9	0

	M.O. g dm <sup>-3</sup>	Fe -----	Mn -----	Cu -----	Zn -----	B -----	Argila -----	Silte -----	Areia -----
0-20	32,7	26,2	6,94	1,63	6,68	0,27	384	85	531
20-40	28,8	15,1	2,04	1,38	1,80	0,24	369	55	576

O experimento foi instalado em um talhão no início do 5º ano de produção, com os tratamentos aplicados nos momentos da adubação da 4ª e 5ª. A variedade de cana-de-açúcar estudada foi a CTC4, plantada em 2015 e com densidade de 20 gemas m<sup>-1</sup>. O experimento iniciou com a aplicação dos tratamentos na adubação da 4ª soqueira, em outubro de 2019. Na Figura 1 constam os dados meteorológicos durante o período do experimento, coletados em uma estação do INMET, no município de Jataí - GO.



**Fig. 1** Precipitação pluvial mensal e temperaturas máxima e mínima durante o período de condução do experimento. Fonte: INMET.

### *Tratamentos e delineamento experimental*

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram compostos pelo tratamento controle sem adubação potássica, e pelas fontes de K, aplicadas de forma isolada (KCl e polihalita) ou associadas (blend de polihalita + KCl (25/75)), e a proporção utilizada 25/75, refere-se a % de K<sub>2</sub>O na composição. Como fonte de polihalita utilizou-se POLY4<sup>®</sup>, nome comercial de um fertilizante granulado (obtido a partir da rocha moída e posteriormente granulada), que contém 19% de S, 14% de K<sub>2</sub>O, 12,1% de Ca e 3,6% de Mg.

A adubação potássica da soqueira foi realizada com base na reposição de 1,3 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para cada tonelada de colmos produzida na safra anterior. No caso do 1º ano de condução do ensaio, a produtividade anterior (3ª soqueira) do talhão foi de 100 TCH (toneladas de colmos por hectare), de modo que a adubação potássica foi de 130 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Em todos os tratamentos foi realizada a adubação na mesma proporção de fósforo (40 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de MAP) e nitrogênio (130 kg ha<sup>-1</sup> N, na forma de MAP e ureia) (Tabela 2). No 2º ano de condução do experimento, a produtividade média anterior

do talhão (4<sup>o</sup> soqueira) foi de 80 TCH, de modo que a adubação potássica foi de 104 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (Tabela 2).

**Tabela 2.** Quantidade de fertilizantes e nutrientes aportados pelos tratamentos (adubação da 4<sup>a</sup> (ano 1) e da 5<sup>a</sup> soqueira (ano 2)). Jataí – GO, Brasil.

Trat	----- Fertilizantes -----		----- Nutrientes -----			
	Polihalita	KCl	K <sub>2</sub> O	S	Ca	Mg
	----- adubação 4 <sup>a</sup> soqueira, em kg ha <sup>-1</sup> -----					
Controle	.	.	.	.	.	.
KCl	.	216,7	130	.	.	.
Polihalita	928,6	.	130	176,4	112,8	33,6
Polihalita+KCl (25/75)	232,1	162,5	130	44,1	28,2	8,4
	----- adubação 5 <sup>a</sup> soqueira, em kg ha <sup>-1</sup> -----					
Controle	.	.	.	.	.	.
KCl	.	173,3	104	.	.	.
Polihalita	742,9	.	104	141,1	90,2	26,9
Polihalita+KCl (25/75)	185,7	130,0	104	35,3	22,6	6,7

### ***Implantação e condução do experimento***

Os tratamentos foram distribuídos manualmente, em superfície e linha por linha. As unidades experimentais foram compostas por cinco linhas, espaçadas 1,5 m entre si e com 8 m de comprimento. As parcelas foram alocadas no mesmo local em ambos os ciclos de cultivo, recebendo exatamente os mesmos tratamentos em cada ano.

Os parâmetros biométricos, produtivos e tecnológicos da cana-de-açúcar foram avaliados, em ambas as safras, por ocasião da colheita, que foi realizada em setembro de 2020 (4<sup>a</sup> soqueira) e agosto de 2021 (5<sup>a</sup> soqueira).

Dentre os parâmetros biométricos, determinou-se a altura de colmos (até o ponto de quebra natural do ponteiro), o diâmetro de colmo (medido no segundo entrenó do colmo utilizando um paquímetro digital) e o número de entrenós. Tais mensurações foram realizadas em 10 colmos por parcela.

A colheita dos colmos foi realizada de forma manual (corte rente ao solo seguido de despalha e retirada do ponteiro), seguida da contagem do número total de colmos, em 3 m das 3 linhas centrais de cada parcela. Os colmos foram então pesados em célula de carga, a fim de calcular a produtividade de colmos por hectare (TCH).

Para avaliação dos atributos tecnológicos, amostras de 10 colmos por unidade experimental foram separadas e levadas à indústria, e analisou-se os teores (%) de fibra, sólidos solúveis (°Brix) e sacarose (Pol) no caldo, bem como a pureza do caldo e o açúcar total recuperável (ATR), este utilizado no cálculo de produção de toneladas de açúcar por hectare (TAH), conforme a seguinte equação:

$$TAH = \frac{\left(\frac{ATR}{1,0495} \times TCH\right)}{1000}$$

Exclusivamente no 2º ano do experimento (5ª soqueira), aos 150 dias após a adubação de soqueira (fase de maior crescimento vegetativo da cana-de-açúcar), foi realizada a diagnose nutricional das plantas de cana-de-açúcar. Para tal, foram amostradas seis plantas por unidade experimental, sendo coletado o terço médio, excluída a nervura central, da folha +1 (primeira folha do colmo, de cima pra baixo, com o colarinho visível – “TVD”) (RAIJ et al., 1997). Em seguida, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar (65°C), moídas e analisadas quanto aos teores de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), conforme procedimentos descritos em Malavolta (1997).

#### ***Análise estatística dos dados***

Os dados foram analisados pela estatística descritiva para obtenção das medidas de tendência central, dispersão e verificação da presença de dados discrepantes. Após a análise exploratória, foram verificadas a normalidade dos erros, a homocedasticidade das variâncias e a independência dos erros, por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e Durbin Watson, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Após aceitas as pressuposições, foi realizada a análise de variância (ano a ano e do acumulado de TCH e TAH dos dois anos), e quando constatado efeito significativo as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### **5.3 RESULTADOS**

#### ***Resultados 4ª soqueira (ano 1 do experimento)***

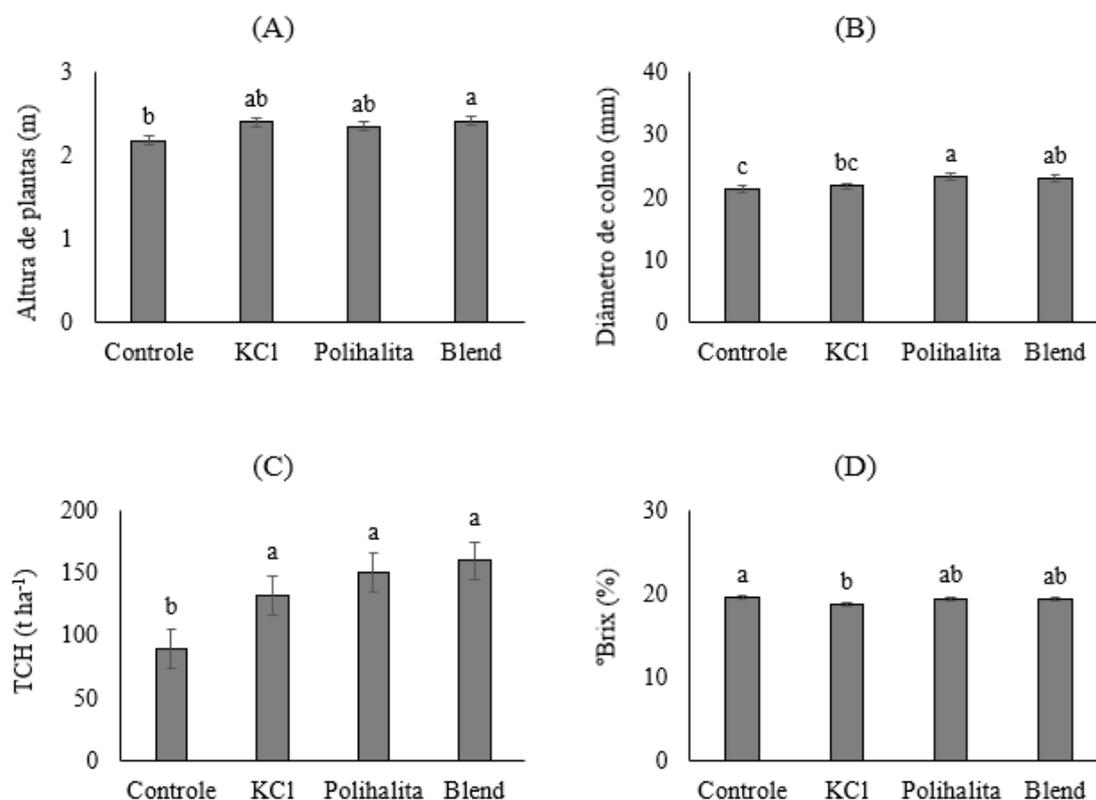
De acordo com a análise de variância (Apêndice A), houve diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis altura de plantas, diâmetro de colmo, TCH e °Brix, sendo efetuada, portanto, a comparação entre as médias (Figura 2). Não houve diferença significativa entre os tratamentos para as demais variáveis analisadas (Tabela 3).

**Tabela 3.** Médias observadas do número de entrenós, número total de colmos, Pol, teores de fibra, pureza do caldo e ATR de cana-de-açúcar (variedade CTC4) em função do manejo da adubação potássica na 4ª soqueira. Jataí – GO, 2020.

Tratamento	Número entrenós	Número colmos	Pol	Fibra	Pureza	ATR
	num colmo <sup>-1</sup>	num ha <sup>-1</sup>	%	%	%	kg
Controle	16,5	224.644	21,2	13,3	89,8	172,9
KCl	17,1	250.641	20,7	13,9	91,1	167,3
Polihalita	17,0	235.976	21,2	13,3	90,5	172,7
Blend	16,3	231.976	21,2	13,3	91,1	172,5
Média	16,7	235.809	21,1	13,4	90,6	171,3

Os resultados de altura de plantas (Figura 2A) indicam que a associação de polihalita+KCl proporcionou plantas mais altas (9,54% de aumento) em comparação ao tratamento sem adubação potássica. A associação de polihalita+KCl, assim como, o uso isolado de polihalita, resultou em maior diâmetro de colmos quando comparado ao tratamento controle (Figura 2B). O tratamento com aplicação exclusiva de polihalita, especificamente, apresentou colmos mais grossos do que o tratamento com KCl.

Os tratamentos contendo adubação potássica apresentaram maiores valores de TCH, independentemente da fonte de K, com resultados acima de 132 t ha<sup>-1</sup>, no entanto, sem diferença entre si (Figura 2C). Quanto ao teor de °Brix no caldo da cana-de-açúcar, o tratamento controle foi superior à adubação contendo KCl aplicado de forma isolada, contudo, não houve diferença entre os tratamentos compostos por adubação potássica (Figura 2D). Todos os tratamentos apresentaram valores acima de 18% de °Brix, o mínimo desejável para a colheita da cana-de-açúcar.



**Figura 2.** Altura de planta (A), diâmetro de colmo (B), toneladas de colmos por hectare (TCH) (C) e ° Brix (D) de cana-de-açúcar (variedade CTC4) em função do manejo da adubação potássica na soqueira do 4º ano. Jataí – GO, 2020.

Letras minúsculas sobre as barras verticais indicam diferença significativa entre tratamentos pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### **Resultados 5ª soqueira (ano 2 do experimento)**

A análise de variância (Apêndices B e C) mostrou haver diferença significativa entre os tratamentos, apenas para os teores foliares de S e Mn e para o diâmetro de colmo.

Quando comparado as fontes de K aplicadas de forma isolada, o maior teor foliar de S foi encontrado no tratamento com adubação total de K na forma de polihalita (Tabela 4). Por outro lado, foi esse tratamento que apresentou o menor teor foliar de Mn (Tabela 4). É importante mencionar, no entanto, que tanto S quanto Mn, assim, como todos os demais macronutrientes e micronutrientes, situaram nos níveis descritos como adequados, conforme Rajj *et al.* (1997) e Cantarella *et al.* (2022). Ainda sobre o mais alto teor de S no tratamento com polihalita (Tabela 4), este resultado era previsto, uma vez que o aporte

de S neste tratamento foi superior àquele com uso de KCl (Tabela 2), evidenciando o potencial da polihalita como fonte desse nutriente.

**Tabela 4.** Teores de macro e micronutrientes na folha diagnose de cana-de-açúcar (variedade CTC4) em função do manejo da adubação potássica da 5ª soqueira. Jataí – GO, 2021.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg <sup>-1</sup> -----						
Controle	23,8	1,91	10,7	3,65	1,49	2,17 ab
KCl	24,3	1,89	12,2	3,31	1,19	2,13 b
Polihalita	24,9	1,96	12,1	3,53	1,18	2,38 a
Blend	23,2	1,94	12,8	3,67	1,24	2,25 ab
Média	23,8	1,93	11,9	3,54	1,27	2,23
	Fe	Cu	Mn	Zn	B	
----- mg kg <sup>-1</sup> -----						
Controle	67,3	7,68	41,3 ab	14,3	14,0	
KCl	70,3	7,80	46,8 a	13,4	17,2	
Polihalita	78,0	7,92	35,4 b	13,2	14,6	
Blend	78,0	7,76	42,4 a	14,6	15,6	
Média	73,4	7,79	41,48	13,9	15,4	

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas, na coluna e para cada variável indicam diferença significativa para o efeito do tratamento pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). C.V. coeficiente de variação.

Na avaliação de diâmetro de colmo (Tabela 5), os tratamentos contendo polihalita resultaram em maiores valores em relação ao tratamento controle, com incremento de 5,3% (1,3 mm) e 7,5% (1,9 mm), com uso de polihalita isolada e blend, respectivamente. Estes resultados podem estar associados a possível maior resistência ao acamamento.

Como já mencionado, não houve qualquer diferença entre os tratamentos para as demais variáveis biométricas, bem como para os parâmetros produtivos e tecnológicos. Especificamente com relação às variáveis de interesse da indústria, mesmo sem diferença significativa entre os tratamentos, os valores observados estão nos parâmetros considerados adequados para a cultura da cana-de-açúcar.

**Tabela 5.** Altura de planta, diâmetro de colmo, número de entrenós, número de colmos e TCH (variedade CTC4) em função do manejo da adubação potássica da 5ª soqueira. Jataí – GO, 2021.

Tratamento	Altura de planta	Diâmetro de colmo	Número entrenós	Número colmos	TCH
	m	mm	colmo <sup>-1</sup>	ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>
Controle	1,51	23,3 b	11,6	107.704	52,4
KCl	1,69	24,2 ab	12,2	117.333	63,2
Polihalita	1,60	24,6 a	11,5	105.333	64,0
Blend	1,63	25,2 a	13,1	121.630	68,9
Média	1,61	24,32	12,1	113.000	62,1

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas, na coluna e para cada variável indicam diferença significativa para o efeito do tratamento pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). C.V. coeficiente de variação.

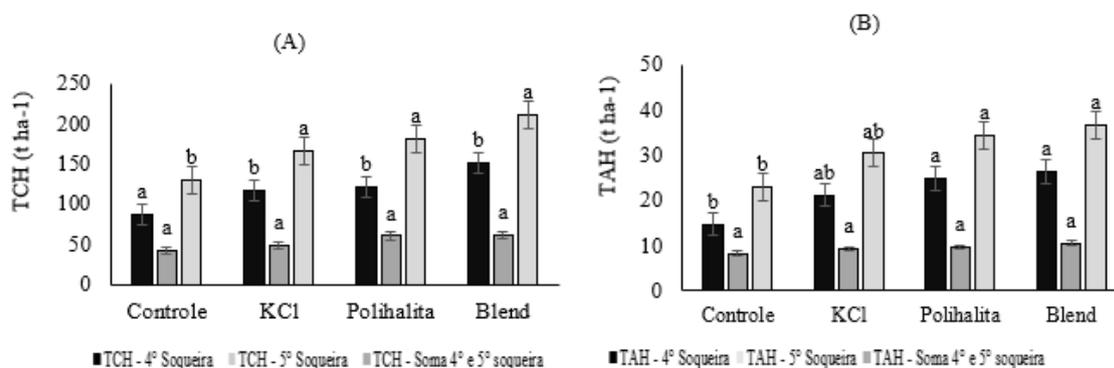
**Tabela 6.** Teores de fibra, °Brix, Pol, pureza do caldo e açúcares redutores totais (ATR) de cana-de-açúcar (variedade CTC4) em função do manejo da adubação potássica da 5ª soqueira. Jataí – GO, 2021.

Tratamento	Fibra	° Brix	POL	Pureza	ATR
	%	%	%	%	kg
Controle	13,3	20,2	18,4	91,2	165,2
KCl	13,6	18,8	17,3	89,6	153,6
Polihalita	13,4	19,3	17,6	90,6	157,4
Blend	13,7	19,9	17,9	91,3	161,5
Média	13,5	19,6	17,8	90,7	159,4

Importante mencionar que a ocorrência de geada nos meses de junho e julho de 2021 (Figura 1) certamente interferiu no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar, fato constatado pela baixo TCH médio do 2º ano do ensaio (Tabela 5). Ademais, além de limitar o teto produtivo, a ocorrência das severas geadas pode ter suprimido eventuais diferenças entre os tratamentos, foi muito provavelmente, mais limitante à produção da cultura do que a disponibilidade de nutrientes.

Nesse contexto, uma análise da produtividade somada de colmos e açúcar nos 2 anos do experimento é interessante (Figura 3). Quando considerada a soma dos resultados dos dois anos, observa-se acréscimo de 53,5, 72,2 e 86,5 TCH nos tratamentos KCl,

polihalita e polihalita+KCl, respectivamente, em relação ao tratamento controle. Quanto à TAH, os maiores valores somados são dos tratamentos com polihalita, isolada ou em blend com KCl (Figura 3).



**Fig. 3** Toneladas de colmos por hectare (TCH) [A] e toneladas de açúcar por hectare (TAH) [B] de cana-de-açúcar em função do manejo da adubação potássica na 4ª e 5ª soqueiras. Jataí – GO, 2021.

## 5.4 DISCUSSÃO

Os resultados da 4ª soqueira demonstram que houve efeito positivo da adubação potássica nas variáveis biométricas altura de plantas e diâmetro do colmo, sobretudo nos tratamentos com polihalita (Figuras 2A e 2B). Esse melhor desenvolvimento das plantas pode estar relacionado, muito provavelmente, à composição multinutriente da polihalita, que além de K, fornece Ca, Mg e S.

Outro potencial benefício associado ao uso da polihalita é possível redução da competição entre  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^-$  durante o processo de absorção pelas raízes, haja vista a polihalita não apresenta  $\text{Cl}^-$  na composição, ao passo que fornece  $\text{SO}_4^-$ . Na outra mão, o KCl apresenta alto teor de  $\text{Cl}^-$ , que na ausência de  $\text{SO}_4^-$  – ou mesmo em condições de baixa disponibilidade no solo – pode aumentar a competitividade entre esses nutrientes (BHATT *et al.*, 2021).

Em um estudo de casa de vegetação (utilizando potes contendo  $6 \text{ dm}^{-3}$  de um Entisol com  $55 \text{ mg K dm}^{-3}$ ), Herrera *et al.* (2022) testaram estratégias de manejo da adubação potássica para a cultura da cana-de-açúcar (variedade CV7870). Os resultados mostraram que o acúmulo de matéria seca e a absorção de nutrientes foram maiores, quanto maior foi a dose de K e quanto mais S e Ca havia na formulação, nesse caso, nos

tratamentos com a presença da polihalita, isolada ou em associação a KCl. O potencial uso da polihalita para blends com outras fontes de K também é reiterada por Chen *et al.* (2022), que constataram que a associação da polihalita a uma fórmula de NPK convencionalmente utilizada resultou em melhoria da qualidade e 10-17% de aumento na produtividade de abóbora d'água (*Benincasa hispida*).

A expressiva maior produtividade de colmos (Figura 2A) dos tratamentos que receberam adubação potássica, independentemente da fonte, evidencia a importância do K para a cultura, sendo o nutriente mais exigido pela cana-de-açúcar, e estando envolvido em importantes processos metabólicos na planta, como a turgescência celular, osmorregulação, metabolismo de nitrogênio, ativação enzimática, neutralização de cargas, transporte celular e translocação de sacarose (TAIZ *et al.*, 2017).

Tal fato é bem documentado na literatura, a exemplo de Otto *et al.* (2010), que em um experimento com o objetivo foi avaliar a produtividade de colmos e atributos tecnológicos de cana-de-açúcar em função de doses e modos de aplicação de K. O experimento comparou dois modos de aplicação (100% no plantio e 50% no plantio + 50% em cobertura) e quatro doses de K (0, 100, 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) na adubação de plantio da cana-de-açúcar (cana planta) cultivada em um Latossolo Vermelho distrófico. Os autores observaram aumento de produtividade de colmos em 18 ton ha<sup>-1</sup> quando da adubação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, em comparação ao tratamento controle.

Ainda quanto aos resultados da 4<sup>a</sup> soqueira, o maior valor de °Brix – que determina a quantidade de sólidos solúveis totais no caldo – observado no tratamento controle (Figura 2D) possa ser decorrente de efeito simples de concentração, tendo em vista que a produtividade de colmos nesse tratamento foi muito inferior àquela encontrada nos tratamentos que receberam adubação potássica.

O maior teor foliar de S nos tratamentos adubados com polihalita, na 5<sup>a</sup> soqueira, deve-se, certamente, à própria composição da polihalita (Tabela 4), que apresenta 21,3% de S (MANNING, 2017). Portanto, espera-se que este fertilizante disponibilize maior quantidade deste elemento essencial para o metabolismo das plantas. A adubação com S na cultura da cana-de-açúcar contribui para o acréscimo da produtividade (KOVAR *et al.*, 2011), uma das funções é auxiliar na absorção de fertilizantes à base de nitrogênio (JAMAL *et al.*, 2010). Além disso, o uso de fertilizantes de liberação progressiva, como a polihalita, disponibiliza os nutrientes no solo por maior período. Dessa forma, os nutrientes tornam-se disponíveis para as plantas ao longo do ciclo (DEGRYSE *et al.*,

2018), e é de especial importância para nutrientes mais móveis no solo, como é o caso do íon sulfato ( $\text{SO}_4^{-1}$ ).

Em um estudo comparando polihalita, KCl e sulfato de potássio como fontes de K para a adubação da cana-de-açúcar (variedades RB85-5156 e RB966928) cultivada em um Latossolo altamente intemperizado, Pavinato *et al.* (2020), encontraram respostas similares entre as fontes em termos de qualidade e produtividade da cana-de-açúcar. O uso da polihalita, no entanto, resultou em maior teor foliar de S e maior teor de S no solo após o cultivo da cana-de-açúcar, e mostra que a polihalita não somente apresenta um padrão de liberação de nutrientes compatível com a demanda da cultura, mas, potencialmente deixa efeito residual no solo. Não foram encontradas diferenças em termos de Ca e Mg.

Se por um lado o uso exclusivo de polihalita resultou em maior teor foliar de S, por outro resultou no menor teor foliar de Mn (Tabela 8). Embora não se tenha dados para determinar exatamente o motivo de tal resultado, deve-se ressaltar que Ca e Mn competem pelo mesmo sítio de absorção das plantas, de modo que o excesso de um prejudica a absorção do outro (PRADO, 2008), sobretudo excesso de Ca, que possui preferência em relação ao sítio de absorção (ORLANDO FILHO *et al.*, 1996). De todo modo, é importante reiterar que os macros e os micronutrientes situaram-se nas faixas de teores consideradas como adequadas para a cultura da cana-de-açúcar (RAIJ *et al.*, 1997; CANTARELLA *et al.*, 2022).

Na produção da 5ª soqueira, a ocorrência de geadas nos meses de junho e julho de 2021 limitou em muito a produtividade da cana-de-açúcar, de modo que não houve qualquer diferença entre os tratamentos quanto à produtividade de colmos e de açúcar por hectare (Figuras 3A e 3B). Na produção somada das duas soqueiras, no entanto, os resultados evidenciam a importância do K para a cultura.

Apesar de os atributos químicos e físicos (Tabela 1) indicarem um solo ácido, com baixo teor de K trocável e de textura argilosa, ou seja, sujeito ainda à potencial lixiviação de K, a adubação da cultura com polihalita (isolada ou em blend) resultou, no somatório de duas safras, na produção de mais de 210 ton de colmos e de 34 ton de açúcar por hectare. Tais resultados foram melhores que os obtidos com KCl, e, sobretudo a maior produção de açúcar dos tratamentos com polihalita reitera o potencial de uso da fonte como fertilizante para a cultura da cana-de-açúcar. Isso porque por tal variável combina a produtividade de colmos em campo e a qualidade industrial do caldo.

Esses resultados são interessantes e sugerem a polihalita como promissor fertilizante para a cultura da cana-de-açúcar, em particular por se tratar de uma fonte multinutriente – podendo otimizar muito questões logísticas e operacionais – e de liberação mais compensada, e pode possibilitar melhor disponibilização dos nutrientes (em especial daqueles mais móveis no solo, como K e S) durante o crescimento da cultura, conforme constatado por Pavuluri *et al.* (2017).

## 5.5 CONCLUSÃO

A adubação potássica na soqueira da cana-de-açúcar, independente da fonte de K, resulta em aumento na produtividade de colmos. O mesmo resultado é observado para a produção de açúcar, que ainda é potencializada pelo uso da polihalita como fonte isolada ou mesmo em blend com KCl, reforçando o potencial como fonte alternativa ou mesmo complementar na adubação da cana-de-açúcar. O efeito positivo da polihalita ocorre, muito provavelmente, ao caráter multinutriente, como pode ser identificado no aumento do teor foliar de S.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem a Fazenda São Thomé Barro Branco pela disponibilização da área e apoio operacional, à Cibra Fertilizantes, pelo apoio financeiro na execução desse projeto, e à Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão da bolsa para a execução do projeto.

## 5.6 REFERÊNCIAS

ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. Pesquisa setorial, macro indicadores. [http://anda.org.br/pesquisa\\_setorial/](http://anda.org.br/pesquisa_setorial/), acesso em: 29 mai. 2024.

BARBARICK, K. A. 1991. Polyhalite Application to Sorghum- Sudangrass and Leaching in Soil Columns. *Soil Science*.151: 159-166.

BHATT, R.; SINGH, P.; ALI, O. M.; LATEF, A. A. H. A.; LAING, A. M.; HOSSAIN, A. 2021. Polyhalite Positively Influences the Growth, Yield and Quality of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in Potassium and Calcium-Deficient Soils in the Semi-Arid Tropics. *Sustainability*. 13(19): 10689. <https://doi.org/10.3390/su131910689>

CAI, J.; CHEN, L.; QU, H.; LIAN, J.; LIU, W.; HU, Y.; XU, G. 2012. Alteração da alocação de nutrientes e expressão de genes transportadores em arroz sob deficiências de

N, P, K e Mg. *Acta Fisiologia Plantar*. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0890-x>

CHEN, X.; CHEN, X.; JIAO, J.; ZHANG, F.; CHEN, X.; LI, G.; SONG, Z.; SOKOLOWSKI, E.; IMAS, P.; MAGEN, H.; BUSTAN, A.; HE, Y.; XIE, D.; ZHANG, B. 2022. Towards balanced fertilizer management in south china: enhancing wax gourd (*Benincasa hispida*) yield and produce quality. *Sustainability*. 14(9): 5646. <https://doi.org/10.3390/su14095646>.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). 2022. Observatório agrícola. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar, v.8 – Safra 2021/22 n.1 – Primeiro levantamento, 2021. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana> > Acesso em: 13 jun. 2022.

COSTA, C. T. S.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L.; FERREIRA, D. T. D. R. G.; GONÇALVES, E. R. 2011. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. *Caatinga* [S.I.], 24(3): 56-63.

DAL MOLIN, S. J.; NASCIMENTO, C. O.; TEIXEIRA, P. C.; BENITES, V. M. 2019. Polyhalite as a potassium and multinutrient source for plant nutrition. *Arch agron soil sci*, 12. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1631451>

DEGRYSE, F.; DA SILVA, R. C.; BAIRD, R.; BEYRER, T.; BELOW, F.; MCLAUGHLIN, M. J. 2018. Uptake of elemental or sulfate-S from fall- or spring-applied co-granulated fertilizer by corn—A stable isotope and modeling study. *Field Crops Research*, 221:322–332. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.015>

HERRERA, W.F.B.; ARRUDA, B.; CARVALHO, H.W. P.; PAVINATO, P. S. 2022. Improving potassium use efficiency of sugarcane through the use of polyhalite. *CABI Agriculture and Bioscience*. 55(3): 1-11. <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00124-4>

JAMAL, A.; MOON, Y.S.; ABDIN, M.Z. 2010. Sulphur—a general overview and interaction with nitrogen. *Australian Journal of Crop Science*. 4 (7): 523-529.

KOVAR, J. L.; GRANT, C. A. Nutrient cycling in soils: Sulfur. In *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture*; U.S. Department of Agriculture: Lincoln, Nebraska, 2011; pp. 103–115.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS.

MANNING, D. A. C. 2017. Innovation in resourcing geological materials as crop nutrients. *Natural Resources Research*, 27:217-227. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9347-2>

MARIN, F. R.; MARTHA, G. B. Jr.; CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P. 2016. Perspectivas para o aumento da produção de cana-de-açúcar e bioetanol na área de cultivo existente no Brasil. *Biociência*, 66: 307-316. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw009>

MELGAR, R. J.; VENTIMIGLIA, L.; FIGUEROA, E.; CENTURIONS, O.; VALE, F. 2018. Polyhalite for grain in soybean-based production systems in Argentina and Paraguay. *Int Potash Inst.* 1(55): 3–12

MELLO, S. C.; PIERCE, F. J.; TONHATI, R.; ALMEIDA, G. S.; NETO, D. D.; PAVULURI, K. 2018. Potato response to Polyhalite as a potassium source fertilizer in Brazil: Yield and quality. *Hort Science.* 53(3): 373–379. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12738-17>

MENGEL, K., KIRKBY, E. A.; KOSEGARTEN, H.; APPEL, T. 2001. *Principles of Plant Nutrition.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 481–511. <https://doi.org/10.1093/aob/mch063>

PRADO, R. M. Nutrição de plantas. 2008. São Paulo: Editora Unesp, 407.

ORLANDO FILHO, J. O.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. 1996. Relações K, Ca e Mg de solo, areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. *Stab. Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 14(5): 13-17.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. 2010. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [S.I.], 34(4): 1137-1145. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400013>

OTTO, R.; ALTARUGIO, L. M.; SANCHES, G. M. 2019. Atualizações sobre exigências nutricionais da cana-de-açúcar para fins de manejo da adubação. *Informações Agronômicas NPCT*, 3: 1-20.

PAVINATO, P. S.; CORÁ, J. E.; SANTOS, A. C.; HERRERA, W. F. B.; PAVULURI, K.; PIERCE, F. J. 2020. Sugarcane response to polyhalite fertilizer in Brazilian Oxisols. *Agronomy Journal.* 112(6): 5264–5278. DOI: 10.1002/agj2.20452

PAVULURI, K.; MALLEY, Z.; MZIMBIRI, M.K.; LEWIS, T.D.; MEAKIN, R. 2017. Evaluation of polyhalite in comparison to muriate for corn grain yield in the Southern Highlands of Tanzania. *African Horuanl of Agronomy.* 5(3):325–332.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. 2001. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: *Instituto Agronômico*, 285.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. 1997. (Eds.) Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: *Instituto Agronômico*, 285. (Boletim Técnico, 100).

SILVA, L. D. R.; SANTOS, J. P. O.; FERREIRA FILHO, D. V.; ALMEIDA, L. J. M.; NASCIMENTO, R. R. A.; SILVA, J. A. O. 2019. Efeito da calagem no diâmetro de colmos de variedades de cana-de-açúcar no brejo paraibano. *Revista Craibeiras de Agroecologia.* 4(2):1-5.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

USDA. 2024. USDA Agricultural Projections to 2031. Disponível em: <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/USDA-AgriculturalProjections-to-2031.pdf> >. Acesso em maio de 2024.

VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; ALTRAN, W. S. 2016. Nutrição e Adubação. In: SANTOS, F.; BORÉM, A. Cana-de-açúcar: do plantio à colheita. Viçosa: *Editora UFV*, 66-93.

YERMIYAHU, U.; ZIPORI, I.; FAINGOLD, I.; YUSOPOV, L.; FAUST, N.; BAR-TAL, 2017. A. Polihalita como Fertilizante Multi Nutriente - Potássio, Magnésio, Cálcio e Sulfato. Israel J. *Plant Sei.* 64: 3-4. <https://doi.org/10.1163/22238980-06401001>

ZHAO, S.; ZHANG, Q.; LIU, M.; ZHOU, H.; WANG, P. 2021. Regulation of plant responses to salt stress. *International Journal of Molecular Sciences.* 22: 4609.

## 6. CAPÍTULO II

*Artigo redigido e formatado conforme norma da Revista Brasileira Ciência do Solo*

### **EFEITO RESIDUAL NO SOLO DO USO DE POLIHALITA NA ADUBAÇÃO DE SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇUCAR**

#### **RESUMO**

A polihalita pode ser uma fonte alternativa para fornecer potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) para a cana-de-açúcar e, graças à menor solubilidade, pode atuar como fertilizante de baixa liberação e, talvez proporcionar efeito residual aos cultivos subsequentes. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito residual no solo da polihalita, comparada ao uso de cloreto de potássio (KCl), após dois ciclos de adubação potássica da soqueira da cana-de-açúcar. O estudo foi feito a partir de amostras de solo coletadas ao término do 2º ano de um experimento de campo, conduzido no município de Jataí, GO, Brasil, em um Latossolo Vermelho distrófico, que comparou fontes de K. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram compostos pelo tratamento controle sem adubação potássica, e pelas fontes de K, aplicadas de forma isolada (KCl e polihalita) ou associadas (blend de polihalita + KCl na proporção 25/75). Os resultados (p-valor < 0,05 teste Tukey) indicaram na avaliação de pH do solo (00-20 cm), que a adubação com KCl reduziu o pH quando comparado ao tratamento controle. O fertilizante polihalita apresentou os maiores teores de K na camada de 0-20 cm após dois ciclos de cultivo de cana-de-açúcar. Para o teor de S, houve diferença entre os fertilizantes polihalita e KCl, em função da

profundidade do perfil de solo avaliada, com maior teor de S, na camada de 00-20 cm e 20-40 cm, a partir do uso de polihalita. Já o aporte de Ca e Mg pela polihalita não parece ter sido suficiente para resultar em teores mais altos desses nutrientes no solo, uma vez que não houve qualquer diferença entre as fontes avaliadas.. De todo modo, os resultados evidenciam interessante efeito residual da polihalita, em especial para S e K, sobretudo nas camadas superficiais, podendo ser benéfico para a cultura da cana-de-açúcar ou quaisquer cultivos subsequentes, colocando-a como potencial alternativa, ou mesmo complemento, ao uso do KCl.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum*; fertilidade do solo; potássio; enxofre; cloreto de potássio.

## . CHAPTER II

Article written and formatted according to the standards of the Brazilian Journal of Soil Science

### RESIDUAL EFFECT ON SOIL OF THE USE OF POLYHALITE IN SUGARCANE RATOON FERTILIZATION

#### ABSTRACT

Polyhalite can be an alternative source to supply potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulfur (S) to sugarcane and, due to its lower solubility, it can act as a low-release fertilizer and perhaps provide a residual effect to subsequent crops. In view of the above, the objective was to evaluate the soil residual effect of polyhalite, compared to the use of potassium chloride (KCl), after two cycles of potassium fertilization of sugarcane ratoon. The study was carried out using soil samples collected at the end of the second year of a field experiment conducted in the municipality of Jataí, GO, Brazil, in a dystrophic Red Latosol, which compared K sources. The experimental design used was a randomized block design with four treatments and five replicates. The treatments consisted of a control treatment without potassium fertilization and the K sources applied alone (KCl and polyhalite) or associated (polyhalite + KCl blend in a 25/75 ratio). The results (p-value < 0.05, Tukey test) indicated that KCl fertilization reduced the pH of the soil (00-20 cm) when compared to the control treatment. The polyhalite fertilizer presented the highest K levels in the 0-20 cm layer after two sugarcane cultivation cycles. For S content,

there was a difference between polyhalite and KCl fertilizers, depending on the evaluated soil profile depth, with higher S content in the 00-20 cm and 20-40 cm layers, from the use of polyhalite. However, the contribution of Ca and Mg by polyhalite does not seem to have sufficient to result in higher levels of these nutrients in the soil, since there was no difference between the sources evaluated. In any case, the results show an interesting residual effect of polyhalite, especially for S and K, especially in the surface layers, which may be beneficial for sugarcane crops or any subsequent crops, placing it as a potential alternative, or even complement, to the use of KCl.

Keywords: *Saccharum officinarum*; soil fertility; potassium; sulfur; potassium chloride.

## 6.1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar tem elevada importância para a economia global, representando cerca de 21% da produção agrícola mundial no período de 2000 a 2021 (FAOSTAT, 2024). A cana-de-açúcar é uma cultura de ciclo longo que requer reposição adequada de nutrientes durante os anos de cultivo, principalmente nas fases de soqueira (BHATT *et al.*, 2021). As áreas destinadas ao cultivo da cana-de-açúcar, na maioria, são caracterizadas por apresentar baixa fertilidade natural do solo, portanto a reposição de nutrientes a partir da adição de fertilizantes é essencial para a maximização da produção de forma sustentável (MARIN *et al.*, 2016).

O nutriente com maior taxa de absorção e exportação pela cultura é o potássio (K) (CAVALCANTE *et al.*, 2015), principalmente durante o ciclo de soqueira (KORNDÖRFER e OLIVEIRA, 2005). As funções do K estão relacionadas ao transporte de açúcares (KERBAUY, 2012), absorção e transporte de água, ativação enzimática, osmorregulação e neutralização de carga (PRADO, 2020). No Brasil, a fonte de K mais utilizada é o KCl, que contém 60% de K<sub>2</sub>O.

A polihalita é caracterizada por ser multinutriente, composta por K, Ca, Mg e S (KEMP *et al.*, 2016). A ocorrência natural na forma mineral possibilita o uso na agricultura. Além disso, possui aproximadamente 14% de K<sub>2</sub>O, e pode ser associada a outras fontes de K, como o KCl (YERMIYAHY *et al.*, 2017; MELLO *et al.*, 2018). Em comparação as demais adubações potássicas, como KCl, a polihalita apresenta menor solubilidade (DAL MOLIN *et al.*, 2019).

Alguns trabalhos têm investigado a liberação de nutrientes a partir da polihalita. Lewis *et al.* (2019), por exemplo, compararam diferentes formas físicas de polihalita (pó,

brita e grânulos) com o KCl quanto ao movimento de K, S, Mg e Ca através de uma coluna de lixiviação, e constataram que, após 4500 mm de chuva simulada, a polihalita na forma de grânulos apresentou a maior liberação de Ca, Mg e S na forma de sulfato. Para o K, todas as formas de polihalita tiveram maior liberação do que o KCl. Já Huang *et al.* (2020), em um experimento com lisímetros contendo solo arenoso e argiloso, compararam a polihalita aplicada na superfície com sais de sulfato solúveis. A polihalita, desde que tenha chuva em condição adequada, levou ao aumento da produtividade da cenoura, principalmente pela absorção aumentada de Ca, sobretudo na condição em solo arenoso. Em ambos os solos, a polihalita comportou-se como um fertilizante de disponibilidade prolongada, com mais nutrientes retidos na camada superior do solo e não lixiviado abaixo da zona da raiz.

Pavinato *et al.* (2020) observaram que a cana-de-açúcar responde a altas taxas de K, por causa da alta demanda de cana-de-açúcar e ao baixo K trocável, que muitas vezes é pobre em solos altamente intemperizados. Dessa forma, a finalidade para o uso de polihalita como fonte de K e outros nutrientes como Ca, Mg e S, devido aos seus solos pouco férteis tipicamente intemperizados, juntamente com o grande consumo de fertilizantes. Dada a importância de K, Ca, Mg e S para a produção agrícola, a polihalita pode ser bem adequada para a cana-de-açúcar no Brasil. No entanto, a resposta da cana-de-açúcar a polihalita como fonte de K em relação aos fertilizantes convencionais comumente usados no Brasil, como o KCl, é desconhecida.

Diante do exposto, testou-se as hipóteses de que a polihalita pode ser um fertilizante alternativo para fornecer K, Ca, Mg e S para a cana-de-açúcar e, por causa da menor solubilidade, pode atuar como fertilizante de baixa liberação, e proporcionar efeito residual no cultivo subsequente. Neste cenário, este estudo é necessário para avaliar o efeito residual no solo da polihalita (POLY4) no solo quando utilizada na adubação de soqueiras de cana-de-açúcar, sobretudo em relação ao KCl, o principal fertilizante potássico utilizado na cultura.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

### *Local e caracterização da área experimental*

O estudo foi realizado a partir da coleta de amostras de solo em um experimento – que avaliava fontes potássicas na adubação de soqueira da cana-de-açúcar – conduzido por duas safras, em condições de campo, em área da Fazenda São Thomé Barro Branco

(área fornecedora para a Raízen), localizada no município de Jataí (17° 38' 37" S - 51° 34' 31" W), GO, Brasil.

A saber, na região a precipitação média anual é de 1600 mm, a temperatura média anual é de 23°C e a altitude é de 891 m. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), textura argilosa, fase cerrado (SANTOS *et al.*, 2018), Ferralsols (WRB), Oxisols (Soil Taxonomy).

O talhão no qual o estudo foi realizado contava com a variedade de cana-de-açúcar CTC4, plantada em 2015 e com densidade de 20 gemas m<sup>-1</sup>. O experimento com fontes de K foi iniciado em outubro de 2019 (adubação da 4ª soqueira). Nessa mesma época, o solo foi amostrado nas camadas de 00–20 e 20–40 cm, e analisado quanto às características básicas de fertilidade (pH, MO, P, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, K, Ca, Mg, Al<sup>+3</sup>, H+Al e micronutrientes) e granulometria (Tabela 1).

**Tabela 1.** Atributos básicos químicos e texturais do solo da área experimental. Jataí – GO, 2019.

Camada cm	pH CaCl <sub>2</sub>	P ---- mg dm <sup>-3</sup> ----	S -----	K -----	K -----	Ca -----	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	Al -----	H+Al -----	CTC -----	V% ---- % ----	m -----
00-20	4,70	5,02	13,3	25	0,06	1,74	0,45	0	4,95	7,21	31,4	0
20-40	4,86	3,87	14,1	19	0,05	1,36	0,31	0	4,68	6,4	26,9	0

Camada cm	M.O. g dm <sup>-3</sup>	Fe -----	Mn -----	Cu mg dm <sup>-3</sup> -----	Zn -----	B -----	Argila -----	Silte g kg <sup>-1</sup> -----	Areia -----
00-20	32,7	26,2	6,94	1,63	6,68	0,27	384	85	531
20-40	28,8	15,1	2,04	1,38	1,80	0,24	369	55	576

### ***Tratamentos e delineamento experimental***

O delineamento experimental do ensaio base para esse estudo era de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram compostos pelo tratamento controle sem adubação potássica, e pelas fontes de K, aplicadas de forma isolada (KCl e polihalita) ou associadas (blend de polihalita + KCl (25/75)). Na composição do blend, 25% do K<sub>2</sub>O era fornecido pela polihalita e 75% pelo KCl. Como fonte de polihalita utilizou POLY4<sup>®</sup>, nome comercial de um fertilizante granulado (obtido a partir da rocha moída e posteriormente granulada), que contém 19% de S, 14% de K<sub>2</sub>O, 12,1% de Ca e 3,6% de Mg.

A adubação potássica da soqueira, nas duas safras em que o experimento foi conduzido, foi realizada com base na reposição de 1,3 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para cada tonelada de colmos produzida na safra anterior. As produtividades médias do ensaio na 3<sup>a</sup> e na 4<sup>a</sup> soqueira foram, respectivamente, de 100 e 80 toneladas de colmos por hectare. Nesse cenário, a adubação potássica da 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> soqueira contou, respectivamente, com 130 e 104 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. A quantidade aportada de nutrientes por cada um dos tratamentos nas duas safras acompanhadas é apresentada na tabela 2.

**Tabela 2.** Quantidade de fertilizantes e nutrientes aportados pelos tratamentos (adubação de 4<sup>a</sup> soqueira + adubação da 5<sup>a</sup> soqueira) Jataí – GO, Brasil.

Tratamentos	-- Fertilizantes --		----- Nutrientes -----			
	Polihalita	KCl	K <sub>2</sub> O	S	Ca	Mg
----- kg ha <sup>-1</sup> -----						
Controle	.	.	.	.	.	.
KCl	.	390	234	.	.	.
Polihalita	1672,5	.	234	317,5	203	60,5
Polihalita+KCl (25/75)	417,8	292,5	234	79,4	50,8	15,1

Ademais, todas as parcelas, em ambas as safras, receberam igualmente uma adubação com P (40 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de MAP) e N (130 kg ha<sup>-1</sup> N, na forma de MAP e ureia). Os fertilizantes foram distribuídos manualmente, em superfície e linha por linha. A saber, a unidade experimental era composta por 5 linhas, espaçadas a 1,5 m entre si e com 8 m de comprimento.

#### ***Amostragem de solo e análises***

A amostragem de solo para fins do estudo foi realizada após a colheita da 5<sup>a</sup> soqueira da cana-de-açúcar, em agosto de 2021. A amostragem foi realizada utilizando trado “tipo sonda”, sendo amostrados três pontos em cada unidade experimental (dois na entrelinha e um na linha de cultivo) nas camadas de 00–20, 20–40 e 40–60 cm. As amostras foram devidamente identificadas, processadas e analisadas quanto ao pH, matéria orgânica, P, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Al<sup>+3</sup>, H+Al, K, Ca e Mg e B, conforme procedimentos descritos em Raij *et al.* (2001).

O potencial hidrogeniônico (pH) das amostras de solo foi determinado utilizando um pHmetro e uma solução de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ )  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  como solução extratora. A fim de determinar os teores de fósforo (P) e potássio (K) trocáveis disponíveis no solo, foi utilizado o método Mehlich de extração ( $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ ), e a determinação dos teores nos extratos foi realizada utilizando, respectivamente, espectrofotômetro UV-VIS e fotômetro de chama.

Na extração de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis, foi utilizada uma solução de sal neutro (cloreto de potássio ( $\text{KCl}$ ,  $1 \text{ mol L}^{-1}$ )) e a determinação dos teores no extrato foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica. Para determinar a acidez total do solo, a extração foi feita utilizando uma solução tamponada  $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  1N pH7,0 e a determinação foi feita por meio da titulação alcalimétrica dos extratos.

A extração do alumínio (Al) foi realizada utilizando solução de cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e a determinação foi feita por espectrofotômetro de absorção atômica. A extração de íons sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) nas amostras de solo foi realizada a partir de uma solução de hidrogenofosfato de cálcio ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) como extrator e a disponibilidade foi determinada por espectrofotômetro UV-VIS. A determinação de boro foi realizada por espectrofotômetro pelo método da azometina-H. O teor de matéria orgânica do solo foi extraído pela oxidação a  $\text{CO}_2$  por íons dicromato em meio fortemente ácido, e a determinação foi feita utilizando titulação dos íons dicromato em excesso, com íons  $\text{Fe}^{+2}$ .

### *Análise estatística dos dados*

Os dados foram analisados pela estatística descritiva para obtenção das medidas de tendência central, dispersão e verificação da presença de dados discrepantes. Após a análise exploratória, foram verificadas a normalidade dos erros, a homocedasticidade das variâncias e a independência dos erros, por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Bartlett e Durbin Watson, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Após aceitas as pressuposições, foi realizada a análise de variância, e quando constatado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). A comparação das médias dos tratamentos foi feita dentro de cada uma das camadas de solo amostradas, de modo que não há comparação estatística entre as camadas de solo.

## **6.3 RESULTADO**

### *Efeito residual no solo*

Em termos de fertilidade química do solo, após dois ciclos de cultivo de cana-de-açúcar, houve efeito significativo dos tratamentos apenas no teor de S nas camadas de 00–20 e 20-40 cm, e no valor de pH e teor de K na camada de 00–20 cm (Tabela 3). Os demais parâmetros avaliados não diferiram entre os tratamentos aplicados na adubação da quarta e quinta soqueira de cana-de-açúcar, independente da profundidade do solo.

Na avaliação de pH do solo após dois ciclos de experimentação, a adubação exclusiva com KCl resultou na redução do pH do solo em 2,72%, na camada de 00-20 cm e quando comparada com o tratamento controle.

**Tabela 3.** Atributos de fertilidade do solo, nas camadas 00-20, 20-40 e 40-60 cm, após duas safras de uso continuado de fontes de potássio (K) na adubação da soqueira de cana-de-açúcar. Jataí – GO, 2021.

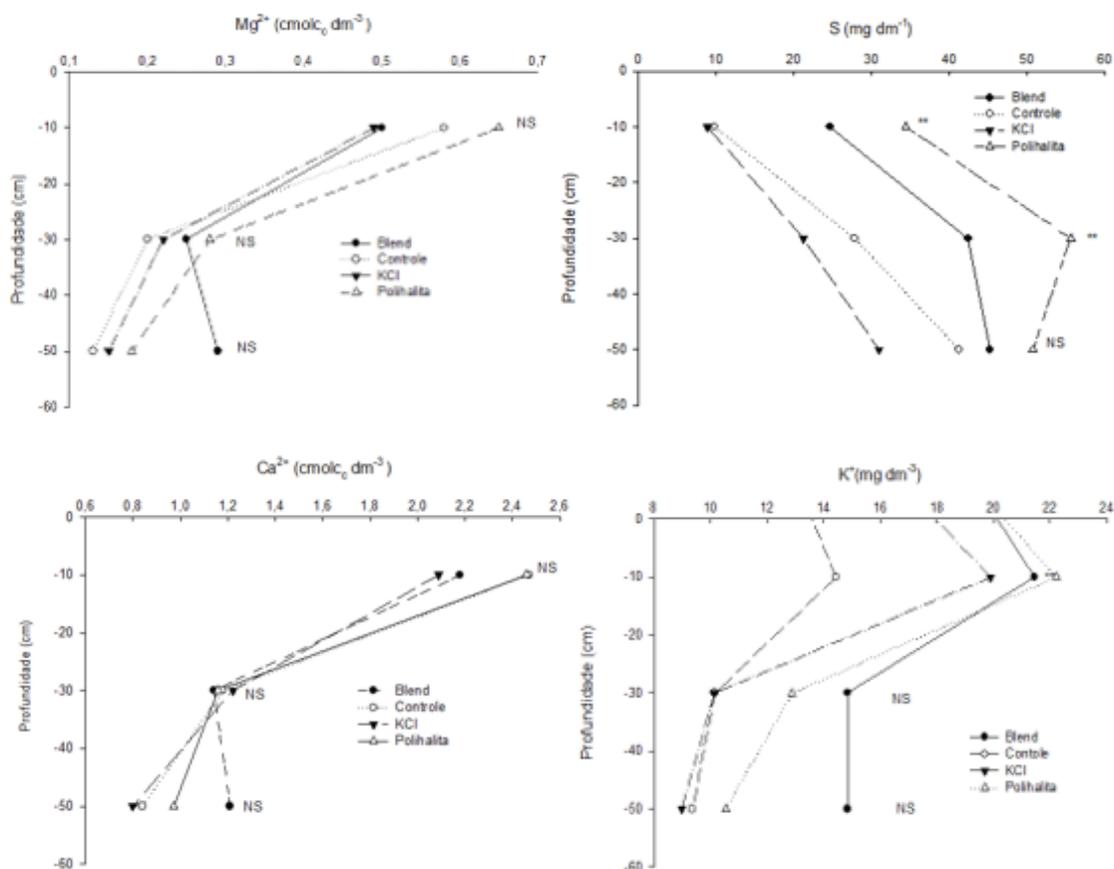
Profundidade / Fontes de K	pH	M.O	P	S	B	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	m	V
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>		----- mg dm <sup>-3</sup> -----					cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%	g kg <sup>-1</sup>
0-20 cm													
Blend	4,71 ab	39,11	8,33	24,71 ab	0,10	0,055 ab	2,18	0,49	5,23	2,73	7,97	8,94	34,35
Controle	4,78 a	36,45	13,64	9,85 b	0,13	0,037 b	2,47	0,58	4,72	3,09	7,81	6,35	39,46
KCl	4,65 b	32,60	6,64	8,97 b	0,11	0,051 ab	2,09	0,48	5,04	2,63	7,68	9,50	34,35
Polihalita	4,73 ab	40,22	9,08	34,54 a	0,13	0,057 a	2,46	0,65	5,15	3,16	8,32	6,73	38,10
20-40 cm													
Blend	4,69	29,00	3,36	42,50 ab	0,10	0,038	1,13	0,25	4,51	1,42	5,94	16,70	24,42
Controle	4,69	26,63	2,20	27,94 b	0,12	0,026	1,18	0,19	4,22	1,41	5,64	17,10	24,55
KCl	4,75	25,39	2,40	21,31 b	0,09	0,026	1,21	0,22	4,11	1,46	5,58	10,15	26,12
Polihalita	4,80	27,88	3,12	55,74 a	0,10	0,033	1,15	0,28	3,96	1,47	5,44	9,71	27,20
40-60 cm													
Blend	4,90	26,03	2,00	45,27	0,08	0,038	1,20	0,15	3,25	1,09	5,27	7,15	24,70
Controle	4,94	26,81	2,04	41,29	0,09	0,024	0,83	0,09	3,37	1,00	4,37	6,31	23,47
KCl	4,95	25,30	1,20	30,97	0,07	0,023	0,80	0,14	3,20	0,97	4,18	5,67	23,26
Polihalita	4,93	23,11	2,04	50,84	0,06	0,027	0,96	0,17	3,31	1,17	4,49	6,17	26,43

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas, na coluna e para cada variável indicam diferença significativa para o efeito do tratamento pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A fim de facilitar o entendimento dos resultados, na figura 1 estão apresentados os teores de Ca, Mg, K e S (nutrientes fornecidos pela polihalita) ao longo do perfil do solo.

Após dois ciclos de cana-de-açúcar, os teores de Ca e Mg no solo não diferiram entre tratamentos nas três camadas avaliadas (Figura 1A). Reitera-se, entretanto, que

esses nutrientes estavam, pelo menos na camada superficial, dentro dos limites de teores adequados para o Cerrado (SOUZA e LOBATO, 2004). Em relação ao teor de K na camada 00-20 cm, este foi mais alto no tratamento polihalita, embora não tenha diferido dos tratamentos blend ou KCl (Tabela 3). Já quanto aos teores de S nas camadas 00-20 cm e 20-40 cm, os maiores valores foram observados nos tratamentos com polihalita e polihalita+KCl (Tabela 3). Ficando evidente que mesmo sem diferenças estatísticas na camada mais profunda (40-60 cm), os teores de K e S mostraram-se mais altos em todo o perfil de solo avaliado quando do uso da polihalita (Figura 1B e 1D).



**Figura 1** Teores de magnésio (A), enxofre (B), cálcio (C) e potássio (D) trocáveis no perfil do solo após duas safras de uso continuado de fontes de potássio na adubação da soqueira da cana-de-açúcar. Jataí – GO, 2021.

\* NS: diferença não significativa; \*\* Camada de solo com diferença significativa entre tratamentos, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## 6.4 DISCUSSÃO

A fonte de K que se aplica ao solo como fertilizante tem relação direta com a disponibilidade deste nutriente para absorção pelas plantas. Lewis *et al.* (2019), em estudos com colunas de lixiviação e diferentes formas físicas de polihalita (pó, brita e

granulada), observaram que em comparação ao KCl, o multinutriente na forma de grânulos resultou na maior liberação de Ca (183,6 µg grânulo de polihalita e 153,5 µg no KCl), Mg (40,1 µg em grânulos de polihalita e 28,4 µg em KCl) e S (na forma de sulfato) (358,4 µg grânulo de polihalita e 67,3 µg KCl). A forma de polihalita granulada do ensaio de Lewis *et al.* (2019) é a mesma utilizada no presente estudo.

Barbier *et al.* (2017), também constataram a liberação mais rápida de K da polihalita quando comparado a muriato de potássio, sulfato de potássio e sulfato de potássio e magnésia, em colunas de solo. E, no solo arenoso, a polihalita liberou mais rapidamente o K do que as outras fontes em um ensaio de lixiviação em colunas de solo arenoso.

O K encontra-se em diferentes formas no solo, tais como K trocável, não trocável, solúvel e ligado a minerais, sendo que esta última representa cerca de 90-98% de todo o K disponível nos solos (BARBER,1995). Essas formas de K estão em equilíbrio, e o resultado dessa relação determina a quantidade de K disponível na solução do solo. Se por um lado isso representa o K que efetivamente as plantas poderão absorver, essa forma de K também está sujeita a perdas por lixiviação, principalmente em solos com baixa CTC, ou seja, com menor chance dos íons  $K^+$  aderirem aos colóides do solo (BIJAY-SINGH *et al.*, 2004).

Um fator importante que afeta a dinâmica do K no sistema é a textura do solo. Solos mais arenosos perdem K mais facilmente, em relação a solos argilosos, são mais sujeitos à percolação de água em seu perfil, exigindo a aplicação de maiores doses de nutriente ou lançar mão de fertilizantes de eficiência aumentada (menos solúveis) no intuito de alcançar altas produtividades e manter balanço positivo de K disponível às plantas (ROSOLEM e STEINER, 2017). Além de mitigar potenciais problemas com lixiviação de K, a polihalita pode também reduzir o estresse salino, em função das características de baixa concentração de cloreto e liberação mais lenta dos nutrientes (YERMIYAHU *et al.*, 2019).

Em relação ao teor de S presente na camada de 00-20 cm, observou-se que o tratamento com polihalita isolada resultou em maior teor deste nutriente, em comparação aos tratamentos KCl e controle (Tabela 3). Este resultado justifica-se pela composição do fertilizante polihalita utilizado apresentar 19% de S, conforme já relatado por outros autores, como Yermiyahu *et al.* (2017), que constataram que o uso do fertilizante polihalita resultou em maior residual de S no solo, em comparação a outras fontes de sulfato. Além disso, esses autores verificaram que os nutrientes fornecidos pela polihalita

apresentam menor lixiviação no solo após a aplicação, evidenciando que o efeito residual na cultura subsequente (trigo) foi maior do que a aplicação equivalente de sais de sulfato.

O S é considerado um elemento com alto potencial de lixiviação pela baixa capacidade de retenção no solo, sendo que a maior parte do  $\text{SO}_4^{2-}$  retido pelo solo é passível de remoção por meio de sucessivas extrações com água (CURTIN; SYERS, 1990). O potencial de lixiviação do sulfato é altamente influenciado pela textura do solo e volume de água drenados por ele. Estimativas de perda de S por lixiviação foram realizadas por Jones; Martin e Willians (1968), em que 80% do S aplicado no solo, na forma de gesso, foi perdido durante um ano de cultivo em solos com baixa capacidade de adsorção. Portanto, o uso de fertilizantes de liberação gradativa, pode ser vantajoso, pois disponibilizam os nutrientes no solo ao longo de um período maior, tornando-os disponíveis para a cultura durante o ciclo produtivo (FANQUIN, 2005).

Diante do exposto, recomenda-se que para atender as proporções necessárias de Ca, Mg e K da planta, a dose de polihalita deve ser baseada nos teores de Ca e Mg, e fertilizantes adicionais devem ser usados como fonte de K para suprir adequadamente a necessidades nutricionais das plantas (YERMIYAHU *et al.*, 2017). Ainda, experimentos com maior duração, e que considerem a dinâmica e o balanço do K no perfil do solo, são necessários.

## 6.5 CONCLUSÃO

O uso do fertilizante polihalita como alternativa, ou em complemento ao KCl, parece ser boa estratégia de adubação para o sistema, sobretudo pelo potencial efeito residual constatado no trabalho. Esse efeito é mais evidente para K e S.

Após duas safras (4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> soqueira), o uso de polihalita resultou em maiores teores de K na camada de 00-20 cm e de S nas camadas de 00-20 e 20-40 cm. No caso do S, o uso do blend de polihalita com KCl também resulta em maior residual no solo do que o uso isolado de KCl. Esse efeito ocorre pela menor solubilidade da polihalita em comparação ao KCl, e ao fato de a fonte fornecer altas quantidades de S.

Tais resultados, associados ao fato de a cultura ter produzido igual ou mais com o uso da polihalita (dados não apresentados), reforçam o grande potencial de uso na fonte para adubação da cana-de-açúcar.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem a Fazenda São Thomé Barro Branco pela disponibilização da área e apoio operacional, à Cibra Fertilizantes, pelo apoio financeiro na execução desse projeto, e à Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão da bolsa para a execução do projeto.

### 6.6 REFERÊNCIAS

- Barbarick KA. Aplicação de polihalita em sorgo-sudão e lixiviação em colunas de solo. *Ciém. Solo*, 151: 159-166, 1991.
- Barber SA. *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanical Approach*, 2nd ed.; Wiley: New York, NY, USA, 1995
- Barbier M, Li YC, Liu G, He Z, Mylavarapu R, Zhang S. Characterizing polyhalite plant nutritional properties. *Agricultural Research & Technology*, 6(3), 1-9, 2017.
- Bhatt R, Singh P, Ali OM, Abdel Latef AAH, Laing AM, Hossain A. Polyhalite Positively Influences the Growth, Yield and Quality of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in Potassium and Calcium-Deficient Soils in the Semi-Arid Tropics. *Sustainability*. 2021; 13:10689. <https://doi.org/10.3390/su131910689>
- Bijay S, Yadvinder S, Imas P, Xie J. Potassium nutrition of the rice-wheat cropping system. *Adv. Agron.* 81,203–259, 2004.
- Cavalcante VS, Prado RM, Almeida HJ, Cruz FJ. R, Santos DMM. Gaseous exchanges, growth and foliar anatomy of sugarcane plants grown in potassium (K) deprived nutrient solution. *Aust. J Crop Science.* 9: 577-584, 2015.
- Huang C, Yermiyahu U, Shenker M, Ben-Gal A. Efeito de eventos de lixiviação no destino de minerais nutrients de polihalita usados para fertilização de culturas. *J Plant Nutrit.* 2020.
- Curtin D, Syers JK. Extractability and adsorption of sulfate in soils. *J. of soil sci.* 41: 305-312, 1990.
- Dal Molin SJ, Nascimento CO, Teixeira PC, Benites VM. Polyhalite as a potassium and multinutrient source for plant nutrition. *Arch agron soil sci*, 12, 2019. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1631451>
- Elkhatib EA, Hern JL. Kinetics of phosphorus desorption from Appalachian soils. *Soil Sci.*, 145: 222-229, 1988.

- Ernani PR., Bayer C, Almeida JA. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. *R. Bras. Ci. Solo*, 31: 393-402, 2007a.
- Fanquin, V. Nutrição mineral de plantas. Curso de pós-graduação, UFLA, 1:186, 2005.
- FAOSTAT. (2024). Fao.org. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Jones MB, Martin WE, Willians WA. Behavior of sulfate sulfur and elemental sulfur in three California soils in lysimeters. *Soil science society American proceedings*. 32:535-540, 1968.
- Kemp SJ, Smith FW, Wagner D, Mounteney I, Bell CP, Milne CJ, Pottas TL. An improved approach to characterize potash bearing evaporite deposits, evidenced in North Yorkshire, United Kingdom. *Ec. Geology*. 111: 719–742. 2016.
- Kerbaudy, G. B. Fisiologia vegetal. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2012, pág. 43
- Kordörfer GH, Oliveira LA. O potássio na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). Potássio na agricultura brasileira Piracicaba: ESALQ/USP. 469-490, 2005.
- Lewis TD, Hallett PD, Paton GI, Harrold L. Retention and release of nutrients from polyhalite to soil. *Soil Use and Management*, 36(1), 117-122, 2019.
- Li T, Liang J, Chen X, Huoyan W, Zhang S, Pu Y, Xu X, Li H, Xu J, Wu X, Liu X. The interacting roles and relative importance of climate, topography, soil Properties and mineralogical composition on soil potassium variations at a national scale in China. *Catena* 196, 104875, 2021.
- Marin FR, Martha GBJr, Cassman KG, Grassini P. Perspectivas para o aumento da produção de cana-de-açúcar e bioetanol na área de cultivo existente no Brasil. *Biociência*, 66: 307-316, 2016. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw009>
- Mello SC, Pierce FJ, Tonhati R, Almeida GS, Neto DD, Pavuluri K. Potato response to Polyhalite as a potassium source fertilizer in Brazil: Yield and quality. *Hort Science*. 53:373–379, 2018. <https://doi.org/10.21273/hortsci12738-17>
- Otto R, Vitti GC, Luz PHC. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [S.I.], 34(4): 1137-1145, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400013>
- Pernes-Debuyser A, Pernes M, Velde B, Tessier D. Soil mineralogy evolution in the INRA 42 plots experiment (Versailles, France). *Clay and Clay Minerals*. 51:577-584, 2003. <https://doi.org/10.1346/000986003322584820>
- Prado RM. Nutrição de plantas (2rd ed.). Jaboticabal: Editora UNESP; 2020.

Raij BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996. 285p.

Raij BV, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico. 285, 2001.

Rosolem CA, Steiner F. Effects of soil texture and rates of K input on potassium balance in tropical soil. *European Journal of Soil Science*. 68:658-666, 2017. <https://doi.org/10.1111/ejss.12460>

Simonsson M, Hillier S, Öborn I. Changes in clay minerals and potassium fixation capacity as a result of release and fixation of potassium in long term field experiments. *Geoderma*, Amsterdam. 151(3-4):109-120, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.03.018>

Yermiyahu U, Zipori I, Faingold I, Yusopov L, Faust N, Bar-Tal A. A Polihalita como Fertilizante Multi Nutriente - Potássio, Magnésio, Cálcio e Sulfato. *Israel J. Plant Sei*. 64: 3-4, 2017. <https://doi.org/10.1163/22238980-06401001>

Yermiyahu U, Zipori I, Omer C, Beer Y. Solubility of granular polyhalite under laboratory and field conditions. *Electron. Int.Fertil. Corresp. e-ifc*, 58, 3–9, 2019.

## APÊNDICES

**Apêndice A.** Resumo da análise de variância dos parâmetros mensurados no ensaio (cana-soca – ano 1).

----- Parâmetros biométricos -----			
	Altura	Diâm colmo	N entrenós
F calc	2,855	7,659	1,137
Pr > Fc	0,081	0,004	0,374
C.V. (%)	5,98	3,50	4,91
valor médio	-	-	17
----- Parâmetros produtivos -----			
	Num colmos	TCH	
F calc	1,113	11,529	

Pr > Fc	0,383	0,000
C.V. (%)	9,84	15,4
valor médio	235.810	-

----- Variáveis industriais -----

	Fibra	° Brix	Pol	Pureza	ATR
F calc	1,832	3,291	0,817	0,917	2,382
Pr > Fc	0,195	0,058	0,509	0,461	0,120
C.V. (%)	3,89	2,48	2,48	1,57	2,29
valor médio	13,5	-	21,0	90,6	18,7

C.V.: coeficiente de variação.

**Apêndice B.** Resumo da análise de variância dos parâmetros nutricionais mensurados no ensaio (cana-soca – ano 2).

----- Macronutrientes -----

	N	P	K	Ca	Mg	S
F calc	0,668	0,150	1,383	0,452	3,295	4,651
Pr > Fc	0,588	0,938	0,295	0,720	0,058	0,022
C.V. (%)	11,2	9,00	13,9	15,4	14,2	5,10
média	23,8	1,93	11,9	3,54	1,27	-

----- Micronutrientes -----

	Fe	Cu	Mn	Zn	B
F calc	0,827	0,110	8,407	0,350	1,285
Pr > Fc	0,504	0,953	0,003	0,790	0,323
C.V. (%)	18,2	8,66	8,73	18,5	17,5
média	73,4	7,79	-	13,9	15,4

C.V.: coeficiente de variação.

**Apêndice C.** Resumo da análise de variância dos parâmetros biométricos, produtivos e industriais mensurados no ensaio (cana-soca – ano 2).

----- Parâmetros biométricos e produtivos -----					
	Altura planta	Diâm colmo	N entrenós	Num colmos	TCH
F calc	1,358	6,498	1,560	1,744	1,932
Pr > Fc	0,302	0,007	0,250	0,211	0,178
C.V. (%)	9,15	2,97	10,7	11,6	18,0
valor médio	1,61	-	12,1	113.000	62,1
----- Variáveis industriais -----					
	Fibra	° Brix	POL	Pureza	ATR
F calc	1,396	2,339	2,388	2,116	2,694
Pr > Fc	0,292	0,125	0,112	0,151	0,093
C.V. (%)	2,53	4,74	3,78	1,29	4,31
valor médio	13,5	19,6	17,8	90,7	159,4

C.V.: coeficiente de variação.