

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-
GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA
CAMPUS RIO VERDE**

LUCAS JORGE DOS SANTOS

**POLIHALITA COMO FONTE DE POTÁSSIO NA
ADUBAÇÃO DO SISTEMA DE SUCESSÃO SOJA-
MILHO**

**RIO VERDE, GO
2021**

LUCAS JORGE DOS SANTOS

**POLIHALITA COMO FONTE DE POTÁSSIO NA ADUBAÇÃO DO
SISTEMA DE SUCESSÃO SOJA–MILHO**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias – Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi.

RIO VERDE, GO

2021

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

SL933p Santos, Lucas Jorge dos Santos
POLIHALITA COMO FONTE DE POTÁSSIO NA ADUBAÇÃO DO
SISTEMA DE SUCESSÃO SOJA-MILHO / Lucas Jorge dos
Santos Santos; orientador Gustavo Castoldi Castoldi;
co-orientador Carlos Ribeiro Rodrigues Rodrigues
Rodrigues. -- Rio Verde, 2021.
24 p.

Dissertação (Mestrado em Dissertação (Mestrado em
Mestrado em Ciências Agrárias -Agronomia)) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. Glycine max. 2. Zea mays. 3. cloreto de
potássio. 4. balanço de nutrientes. I. Castoldi,
Gustavo Castoldi, orient. II. Rodrigues, Carlos
Ribeiro Rodrigues Rodrigues, co-orient. III. Título.



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

Ata nº 47/2021 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA Nº/188 BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos trinta e um dias do mês de maio do ano de dois mil e vinte e um, às 14:00h (quatorze horas), reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Orientador), Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues (Avaliador interno), Prof. Dr. Diego Oliveira Ribeiro (Avaliador externo), sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada por vídeo conferência do IF Goiano – Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **LUCAS JORGE DOS SANTOS** 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 ao autor da Dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, 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 Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE 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 Dissertação, 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 Dissertação 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 Dissertação de Mestrado, e para constar, eu, Vanilda Maria Campos, secretaria do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora em duas vias de igual teor.

Prof. Dr. Gustavo Castoldi (Presidente)

Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues (Avaliador interno)

Prof. Dr. Diego Oliveira Ribeiro (Avaliador externo)

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 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

<input type="checkbox"/> Tese	<input type="checkbox"/> Artigo Científico
<input checked="" type="checkbox"/> Dissertação	<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:

Matrícula:

Título do Trabalho:

Restrições de Acesso ao Documento
Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: ___/___/___

O documento está sujeito a registro de patente? Sim NãoO documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não
DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

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

Rio Verde, 31/07/2021.
Local Data


Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por permitir a oportunidade deste momento.

Aos meus pais, Sebastiana José dos Santos e João Jorge do Carmo, pelo amor e incentivo em todos os momentos de minha vida.

À minha amada esposa Alexandra Almeida Gléria, por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada. Obrigado por permanecer ao meu lado, mesmo sem os carinhos rotineiros, sem a atenção devida e depois de tantos momentos de lazer perdidos. Obrigado pelo presente de cada dia, pelo seu sorriso e por saber me fazer feliz. Amo-te.

Ao meu filho Gabriel Santos Gléria por estar presente em minha vida e me ensinado ser um pai melhor a cada dia. Amo-te.

Ao meu orientador Dr. Gustavo Castoldi, pela oportunidade, confiança, paciência, apoio, ensinamentos e contribuições para o meu futuro profissional e pessoal desde meu ingresso no mestrado.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, pela oportunidade de qualificação profissional e crescimento pessoal.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Iporá e à unidade de produção da fazenda escola, em especial ao Dr. Estênio Moreira Alves pela co-orientação na condução do meu experimento e crescimento pessoal e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa.

Agradeço aos professores Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues e Dr. Diego Oliveira Ribeiro, por terem aceitado participar da minha banca.

À minha professora, amiga, colega de classe Thamires Moura Marques pela companhia durante todas as viagens juntos, por estudarmos durante o percurso de Iporá a Rio Verde, por me ajudar nas minhas dificuldades, em meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu professor Dr. Renato Lara de Asis, por me orientar no estágio em docência e contribuir no meu aprendizado tanto profissional e pessoal. Forte abraço.

Aos meus amigos: Aldo Max Custódio e Karen Terossi pela a estadia em suas residências no período de realização dos meus créditos. Sem a sua ajuda de vocês não teria conseguido.

A todos que me ajudaram, em especial: Thomas Cavalcante, Alice Albert, Gabriel Castoldi, Gabriel Peres, João Sevilla, Diego Ribeiro, Lukia Brito, Amanda Oliveira.

À empresa Cibra Fertilizantes, por todo o apoio na realização deste trabalho.

E a todos que de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, para a conclusão deste trabalho.

Obrigado!

“Permanecer indiferente perante os desafios é imperdoável. Se o objetivo é nobre seja ele realizado ou não durante nossa vida é o mais irrelevante. O que devemos fazer, portanto é nos esforçar, perseverar e nunca desistir.”

Dalai Lama

BIOGRAFIA DO AUTOR

Lucas Jorge dos Santos nasceu em Jussara–GO, em 03 de outubro de 1994, filho de João Jorge do Carmo e Sebastiana José dos Santos. Coursou Engenharia Agrônoma no Instituto Federal Goiano- Campus Iporá, entre 2014 e 2018. Em março de 2019 ingressou no IF Goiano– Campus Rio Verde, no programa de pós-graduação *Stricto Sensu*, Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia, com linha de pesquisa em tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água. Atualmente é Técnico em Agropecuária da Universidade Federal de Goiás/EVZ.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - Distribuição mensal de chuvas durante o período de condução do ensaio. Rio Verde, GO. Safra 2019/20.....23
- FIGURA 2 - Balanço simplificado de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em um sistema de sucessão soja-milho em função da adubação (base soja e residual no milho) com combinações e fontes de K.....24
- FIGURA 3 - Concentração de cálcio (A), magnésio (B), potássio (C) e enxofre (D) no solo após o cultivo do sistema de sucessão soja-milho, em função da adubação (base soja e residual no milho) com combinações e fontes de K.....24

LISTA DE TABELA

TABELA 1 - Atributos básicos químicos e texturais do solo por ocasião da implantação do ensaio.....	19
TABELA 2 - Tratamentos utilizados no ensaio com adubação do sistema soja– milho.....	19
TABELA 3 - Quantidade de fertilizante, época de aplicação, e quantidade de nutrientes aportados por cada um dos tratamentos.....	19
TABELA 4 - Altura de planta, número de ramos laterais, e número de nós reprodutivos na haste principal e nos ramos laterais em plantas de soja em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2021.....	19
TABELA 5 - Número total de vagens e de grãos, peso de 1000 grãos e produtividade de grãos de soja em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2021.....	20
TABELA 6 - Teor de macro e micronutrientes nos grãos de soja em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2021.....	20
TABELA 7 - Exportação total de macro e micronutrientes pelos grãos de soja em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2021.....	20
TABELA 8 - Número de fileiras por espiga, grãos por fileira, total de grãos, peso de 1000 grãos e produtividade de grãos de milho (cultivado em sucessão à soja) em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2021.....	21
TABELA 9 - Produtividade de grãos do sistema soja–milho em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2021.....	21
TABELA 10 - Teor de macro e micronutrientes nos grãos de milho (cultivado após soja) em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO.	21
TABELA 11 - Exportação total de macro e micronutrientes pelos grãos de milho (cultivado após soja) em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2021.....	22

LISTA DE SIGLAS

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 ₂ O	- Óxido de Potássio
LSD	- Diferença de significância menor
MAP	- Fosfato Monoamônico
Mg	- Magnésio
MgO	- Óxido de Magnésio
MO	- Matéria Orgânica
MS	- Massa seca
N	- Nitrogênio
S	- Enxofre
SOP	- Sulfato de Potássio
P	- Fósforo
P ₂ O ₅	- Pentóxido de fósforo
pH	- Potencial hidrogênico
V	- Saturação por bases

RESUMO

SANTOS, LUCAS JORGE DOS. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, maio 2021. **Polihalita como fonte de potássio na adubação do sistema de sucessão soja–milho.** Orientador: Dr. Gustavo Castoldi; Coorientador: Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues.

No Brasil o principal sistema de produção de grãos é o de soja-milho, e o cloreto de potássio (KCl) é a principal fonte de fertilizante utilizada no manejo da adubação potássica, muito por escassez de opções no mercado. A polihalita é um fertilizante natural, que pode ser disponibilizada na forma de grânulos, tem solubilidade e efeito salino menor que o KCl, e que além de K, apresenta em sua composição S, Ca e Mg. Nesse contexto, objetivou-se com o trabalho avaliar tais fontes no manejo de K na adubação de soja e milho cultivados em sucessão. O estudo foi conduzido em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura arenosa. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, e os tratamentos foram dados pela combinação de fontes de K (KCl, polihalita e um blend KCl/Polihalita), fornecidas em dose total antes da semeadura da soja, ou parcelada antes da soja e antes do milho, além de um tratamento controle, sem adubação potássica. Não foram observadas diferenças para a produtividade de grãos da soja, mesmo tendo os tratamentos com polihalita apresentado maiores valores de peso de grão. Para o milho, o tratamento controle apresentou uma produtividade de 160 sacas ha^{-1} , sendo similar a quantidade produzida em áreas da região com solo não corrigido. Os demais tratamentos apresentaram valores superiores, inclusive quando em blend (KCl/Poli) de cerca de 200 sacas ha^{-1} . O tratamento controle apresentou menor produtividade de grãos ($12.387 \text{ Kg } ha^{-1}$) enquanto a maior produtividade foi encontrada quando em Blend ($14.715 \text{ Kg } ha^{-1}$). O uso exclusivo da polihalita como fonte de K resultou em balanços positivos de Ca, S e Mg. Os benefícios na utilização de polihalita em sistemas de cultivos, em uso exclusivo ou em blend com KCl, pode viabilizar a antecipação da adubação potássica, mesmo em um solo de textura mais leve.

Palavras-chave: *Glycine max*, *Zea mays*, cloreto de potássio, balanço de nutrientes.

ABSTRACT

SANTOS, LUCAS JORGE DOS. Goiano Federal Institute, Rio Verde Campus, Goiás State (GO), Brazil, May 2021. **Polyhalite as a potassium source in the fertilization of the soybean-corn succession system.** Advisor: Prof. Dr. Castoldi, Gustavo. Co-advisor: Prof. Dr. Rodrigues, Carlos Ribeiro.

In Brazil, the main grain production system is soybean-corn, and potassium chloride (KCl) is the main fertilizer source used in management of potassium fertilization, due to scarcity of options on the market. Polyhalite is a natural fertilizer, which can be made available as granule. In addition to K, it has a lower solubility and saline effect than KCl and has S, Ca, and Mg in its composition. In this context, this paper aimed to evaluate such sources in the K management for soybean and corn fertilization cultivated in succession. The study was carried out in a dystrophic Red-Yellow Latosol with a sandy texture. The experiment was in a randomized block design, and treatments were done by a combination of K sources (KCl, polyhalite, and KCl/Polyhalite blend), provided in total dose before soybean sowing, or splitted before soybean and before corn, in addition to a control treatment without potassium fertilization. No differences were observed in soybean grain yield, even though the polyhalite treatments had showed higher grain weight values. For corn, the control treatment had a productivity of 160 bags ha⁻¹, what is similar to the amount produced in parts of the region with uncorrected soil. The other treatments showed higher values, even when blending about 200 bags ha⁻¹ of KCl/Poli. The control treatment had lower grain yield (12,387 Kg ha⁻¹) whereas the highest yield was found when blending 14,715 Kg ha⁻¹. The exclusive use of polyhalite as a K source resulted in positive balances of Ca, S, and Mg. The benefits of using polyhalite in cropping systems, either in exclusive use or blendind with KCl, can enable the anticipation of potassium fertilization, even in a lighter textured soil.

Keywords: *Glycine max.* *Zea mays*. Nutrient balance. Potassium chloride.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELA.....	IX
LISTA DE SIGLAS	X
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.2 SISTEMA DE SUCESSÃO SOJA-MILHO	1
1.3 MANEJO DE K NO SISTEMA SOJA-MILHO	1
1.4 POLIHALITA E SEU USO NA AGRICULTURA.....	5
1.5 REFERÊNCIAS.....	6
2. OBJETIVOS.....	9
3. CAPÍTULO I.....	10
3.2 INTRODUÇÃO	12
3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.3.1 Caracterização da área experimental.....	13
3.3.2 Delineamento experimental e tratamentos	13
3.3.3 Implantação e condução dos ensaios e avaliações realizadas.....	13
3.3.4 Avaliações realizadas.....	13
3.3.5 Análise estatística.....	14
3.4 RESULTADOS.....	14
3.4.1 Cultivo da soja: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes..	14
3.4.2 Cultivo do milho: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes.....	14
3.4.3 Produção total de grãos do sistema soja-milho.....	14
3.4.4 Balanço simplificado de nutrientes no sistema soja-milho	14
3.4.5 Teores de Ca, Mg, K e S no solo.....	15
3.5 DISCUSSÃO	15
3.5.1 Cultivo da soja: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes..	16
3.5.2 Cultivo do milho: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes.....	16
3.5.3 Produção total de grãos do sistema soja-milho.....	16
3.5.4 Balanço simplificado de nutrientes no sistema soja-milho	16
3.5.5 Teores de Ca, Mg, K e S no solo.....	17
3.6 CONCLUSÕES	17
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Sistema de sucessão soja–milho

Um sistema de sucessão de culturas é representado por uma sequência preestabelecida de culturas dentro de um ano agrícola, tais como soja-milho, milho-soja, capim-soja, dentre outras (Souza et al. 2012). O sistema composto pelo cultivo da soja no verão e do milho em subsequência, na segunda safra ou “safrinha”, é um dos principais sistemas agrícolas do país, principalmente em áreas de cerrado.

A produção mundial de soja na safra 2019/20 foi de 337,9 milhões de toneladas (FAO 2020), e o Brasil foi responsável por 124.845 milhões de toneladas, o equivalente a 36,95%. No Centro-Oeste, a soja é normalmente semeada entre setembro a novembro, ocorrendo variações entre esses meses em função do início das chuvas. Já para o milho segunda safra, o plantio ocorre em meados de janeiro a março, ficando condicionado à data da colheita e semeadura da cultura de verão, que normalmente é a soja (Nóia júnior et al. 2020).

O cultivo do milho de segunda safra em sequeiro está naturalmente sujeito a um maior risco em função da redução das chuvas nessa época. Além de eventuais problemas com déficit hídrico, nesse período o potencial de rendimento de grãos é reduzido em função da menor quantidade de radiação solar durante o período de enchimento de grãos e à maior incidência de doenças foliares e de colmo (Fiorini et al. 2018).

1.2 Manejo de potássio no sistema Soja-Milho

O potássio (K) é um macronutriente indispensável para o desenvolvimento das plantas, pois participa de diversas atividades e processos fisiológicos, tais como regulação osmótica, ativação de enzimas, absorção de água do solo, formação de amido e síntese proteica, dentre outros (Taiz et al. 2017).

Uma das principais funções do K na planta é a ativação das enzimas produtoras de proteínas e açúcares. Outro papel de extrema importância é a sua função na regulação da turgescência celular. É por meio da concentração de K no ambiente celular que ocorre a entrada ou a saída de água na célula, resultando na abertura ou fechamento dos estômatos (Ipi, 2013).

Os sintomas visuais de deficiência de K nas plantas se dão pelo amarelecimento nas margens das folhas superiores, que podem avançar para clorose. Nos caules é comum o aspecto delgado e fraco seguido por entrenós curtos. Já as folhas podem se enrolar e enrugar (Taiz et al. 2017).

No solo, o cátion K (K^+) pode ser encontrado em quatro formas diferentes: dissolvido em água disponível na solução do solo; forma trocável, aderido à superfície de partículas do solo; forma não trocável, fixado nas frações internas das partículas do solo; e na forma mineral, compondo a estrutura química dos minerais do solo (Liao et al. 2018). O K^+ tem menor força de atração às cargas negativas do solo, pois tem uma valência menor em comparação á outros cátions, como Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} . Solos argilosos, normalmente têm CTCs mais altas, de modo que é maior a possibilidade do nutriente ficar ligado às cargas negativas dos colóides; já em solos de textura média e arenosa, o K^+ é mais facilmente lixiviado, devido a CTC desses solos ser comumente baixa (Sousa & Lobato 2004).

Atualmente, as principais fontes de fertilizantes contendo K, no mundo, são: cloreto de potássio (KCl) – 58 a 60% de K_2O ; sulfato de potássio (K_2SO_4) – 48 a 53% de K_2O e 17 a 18% de enxofre (S); sulfato de potássio e magnésio ($K_2SO_4.2MgSO_4$) – 21-22% de K_2O , 10-11% de Mg e 21-22% de S; e nitrato de potássio (KNO_3) ou salitre potássico – 13% de N e 44-46% de K_2O (Reetz 2017). No Brasil, a principal fonte de K utilizada na agricultura é o KCl, que contém de 58 a 60% de K_2O (Yamada e Roberts 2005; Martins et al. 2008).

O índice salino do KCl é 116, e pode ser considerado alto quando comparado ao do padrão nitrato de sódio ($NaNO_3$), que é 100 (Mapa, 2016). O índice salino mais elevado do fertilizante pode prejudicar a germinação ou o crescimento inicial das plantas, particularmente quando aplicado muito próximo das sementes (Raij 2011; Das et al. 2019).

Para a adubação da soja, a recomendação de K varia de 40 a 100 kg K_2O ha^{-1} , em função da produtividade esperada. Em solos arenosos é recomendável o parcelamento da dose total de K a fim de aumentar sua eficiência. Quanto à forma de aplicação, é preferível realizar a adubação via a lanço sobre o solo (desde que o teor de K no solo esteja acima do nível crítico), para não ocasionar danos às sementes, tais como redução do vigor e diminuição do enraizamento em função da concentração presente na solução do solo (Sousa e Lobato 2004). A presença de sal em excesso no solo eleva a pressão osmótica, dificultando a absorção de água pelas sementes e

radicelas (Tavares et al. 2013).

Em decorrência dos riscos de estiagem e possíveis atrasos na semeadura da segunda safra, a cultura do milho pode sofrer com quedas da produtividade (Garcia et al. 2018). Em meio a essas condições tem-se intensificado a antecipação das práticas de adubação no sistema soja-milho em área de textura argilosa, adotando normalmente a aplicação do K requerido para a soja e para o milho em uma única aplicação, a lançar antes da semeadura da soja. Com essa estratégia ocorre aumento no rendimento da semeadura do milho, reduzindo ou eliminando o tempo gasto com reabastecimento do fertilizante (Lago, 2018). Entretanto, antecipar a adubação pode levar redução no desempenho do sistema soja-milho em virtude das perdas do K para camadas mais profundas, especialmente áreas com solos de textura média-arenosa e arenosas (Oltmans e Mallarino (2015).

Os restos culturais também são uma importante fonte de nutrientes para o sistema, que podem ser disponibilizados para a cultura subsequente. A velocidade com que esses resíduos são decompostos, e então os nutrientes disponibilizados, depende de fatores climáticos, tais como precipitação e temperatura, atividade macro e microbiológica do solo, quantidade e qualidade do material de resíduo, dentre outros (Oliveira et al. 2002; Pariz et al. 2011a; Mendonça et al. 2015).

Em um ensaio comparando o sistema de plantio direto com o sistema convencional, por exemplo, a produção da palhada de milho do sistema convencional foi de 4.306 kg ha⁻¹, contendo 47 kg ha⁻¹ de K; já na área de sistema de plantio direto, a produção de palhada foi de 9.161 kg ha⁻¹, com 87 kg ha⁻¹ de K (Oliveira Junior et al. 2015).

Em um estudo com Latossolo vermelho-amarelo, foi avaliado a decomposição e a liberação de nutrientes de diferentes resíduos de culturas para subsequente o cultivo da soja; a produtividade de palhada de milho e de milho consorciado com a braquiária foi, respectivamente, de 14.176 e 11.907 kg ha⁻¹, resultando, respectivamente, em 162 e 172 kg ha⁻¹ de K acumulados. Aos 28 dias após a colheita, a quantidade de palhada de milho reduziu para 12.568 kg ha⁻¹, e do milho consorciado com braquiária para 9.731 kg ha⁻¹, bem como o K acumulado decresceu para 105 e 60 kg ha⁻¹, respectivamente. Os autores concluíram que a palhada de milho é capaz de fornecer ao menos 150 kg ha⁻¹ de K, que é aproximadamente a necessidade requerida pela a cultura da soja (Cavalli et al. 2018). Para otimizar a ciclagem de nutriente é necessário estabelecer um sincronismo do nutriente a ser liberado da palhada com a demanda da cultura cultivada (Braz et al.

2004;).

Embora a extração de K pelo milho seja alta, a maior parte desse K (60-75%) é acumulada na palha (colmos, folhas, espigas e palha), de modo que as exportações de K pelos grãos são relativamente baixas, o que faz do milho um excelente cicladador de K. Para um rendimento de grãos de 9,2 toneladas ha^{-1} , por exemplo, a exportação de K é de 42 kg ha^{-1} , além de 138, 33, 4 e 15 kg ha^{-1} de N, P, Ca e Mg, respectivamente (Coelho 2006).

De acordo com Duarte et al. (2018), a exportação de nutrientes pelo milho, para uma produtividade de grãos de 10 toneladas ha^{-1} , é de 150, 50 e 45 kg ha^{-1} de N, P, K, valores semelhantes aos encontrados por Resende et al. (2018), que para uma mesma produção de grãos (10 toneladas ha^{-1}) encontrou valores de exportação de 140, 42 e 37 kg ha^{-1} de N, P, K. Atualmente, no manejo da fertilidade dos solos, tem-se adotado a recomendação de adubação baseada na entrada e saída do nutriente no sistema. Daí a importância de informações como as acima apresentadas.

A quantidade de nutrientes absorvida pela cultura de soja é variável em função de diversos fatores, podendo-se citar principalmente as condições do solo, adubação fornecida e o potencial de produção de grãos. Para produzir 1.000 kg de grãos ha^{-1} , por exemplo, diferentes cultivares de soja podem extrair 63 a 93, 4,7 a 8,5, 29 a 62, 15 a 30, 9 a 11 e 3,6 a 4,7 kg ha^{-1} de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente (Oliveira junior et al. 2016, Resende et al. 2018). O manejo da adubação, no entanto, geralmente tem como base a quantidade de nutrientes exportados pelos grãos, pelo menos para as áreas com níveis adequados de nutrientes no solo. Para K, Ca, Mg e S é sabido que esse valor varia entre 19-20, 2,6-2,8, 1,6-2,2 e 2,2-2,8 kg para cada tonelada de grão produzida (Oliveira junior et al. 2016, Mendonça et al. 2015).

Segundo Lange et al. (2015), é possível suprir toda a demanda de K da cultura da soja apenas com o K reciclado da palhada do milho cultivado anteriormente. No trabalho, os autores mencionam que os restos culturais do milho (produzindo 14 toneladas ha^{-1} de palhada) podem reciclar de $\sim 138 \text{ kg ha}^{-1}$ de K^+ mineralizado na solução do solo, de modo que a soja cultivada sobre essa palhada não respondeu à adubação potássica. Em 7.360 kg ha^{-1} de palhada de milho foram encontradas 154,6 kg de K, de modo que 60% desse K foi mineralizado em 135 dias (Calonego et al., 2012).

1.3 Polihalita e seu uso na agricultura

O uso da polihalita como fertilizante foi inicialmente testado por Fraps e Schmidt, no ano de 1932, buscando avaliar a disponibilidade de K em ensaios com milho e sorgo, nos EUA (Fraps and Schimidt 1932). Os pesquisadores sustentaram a hipótese de que o grânulo de polihalita continha 96% de K prontamente disponível.

A polihalita é um fertilizante natural, que além de K (14% K_2O), apresenta também em sua composição sulfato (19% S), Ca (17% CaO) e Mg (6% MgO), além de traços de micronutrientes essenciais, e a maior mina do mundo está localizada em North Yorkshire, Reino Unido (Kemp et al., 2016). A polihalita é disponibilizada na forma de grânulos e moída, em pó, e tem uma solubilidade menor (27 g L^{-1}) do que o KCl (360 g L^{-1}). Essas características são interessantes e podem ser de extrema valia para o refinamento do manejo do K em sistemas de produção. É importante ainda salientar quanto à época de fornecimento do fertilizante potássico, tanto do ponto de vista técnico e de eficiência de uso (que está relacionado diretamente aos teores do nutriente no solo, cultura antecessora e sistema de produção) quanto do ponto de vista da logística de aplicação, que tem relação com o clima, e com a disponibilidade de máquinas e homens para a operação.

Atualmente, a polihalita vem sendo testada em diversas culturas, tais como trigo (Yermiyahu et al. 2017), batata (Mello et al. 2018a), tomate (Mello et al. 2018b), soja (Melgar et al. 2018a), kiwi (Zhao et al. 2020), pimenta do reino (Tien et al. 2020), café (Tien et al. 2020), alfafa (Bernadi et al. 2018) arroz (Yeo et al. 2019), dentre outras culturas. De acordo com Bernadi et al. (2018), a polihalita aumentou a absorção de K e a produção da biomassa da alfafa, devido a sua mais lenta liberação dos nutrientes no solo. Já Tien et al. (2020), afirmam que o uso de polihalita é equivalente ao KCl em termos de produtividade, mas que no entanto, a polihalita também corrige os níveis de Ca, Mg e S no solo. Mesmo assim, há ainda poucas informações a respeito da eficiência da polihalita em comparação a outras fontes de fertilizantes comerciais (Mello et al. 2018a).

1.4 Referências

- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). 2021. Acompanhamento da safra brasileira: grãos – Safra 2020/21- N.4 – Quarto levantamento, Brasília, 8:1-85.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2021. Embrapa Soja. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acessado em 10 de fevereiro de 2021.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. DEBIASI, H. FRANCHINI, J. C. PRIETO, J. DE MORAES, M.T. WERNER, F. FERREIRA, A. S. 2018. Crescimento e distribuição de raízes de soja em diferentes densidades de plantas. *Revista de Ciências Agroveterinárias*. 17:12-22.
- NÓIA JÚNIOR, R, S. FRAISSE, C.W. KARREI, M.A.Z. CERBARO, V.A. PERONDI, D. 2020. Effects of the El Niño Southern Oscillation phenomenon and sowing dates on soybean yield and on the occurrence of extreme weather events in southern Brazil, *Agricultural and Forest Meteorology*, 1:1-290.
- FIORINI, I.V. PEREIRA, C.S. PEREIRA, H.D. MEDEIROS, A.L DE. PIRES, L.P.M. 2018. Produtividade e seus componentes segundo épocas de semeadura de milho safrinha no Norte de Mato Grosso. *Journal of Bioenergy and Food Science*, 5: 54-65.
- SOUZA, C. M. PIRES, F. R. PARTELLI, F. L. ASSIS, R. L. 2012. Adubação verde e rotação de culturas. Viçosa, MG. Ed. UFV 1-108.
- AZEVEDO, P. V. SABOYA, L. M. F. NETO, J. D. OLIVEIRA, F. S. BEZERRA, J. R. C. & FARIA, C. H. A. 2014. Disponibilidade energética para a cultura da cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18: 1031-1038, 2014.
- IPI (INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE). 2013. Potássio, o elemento de qualidade na produção agrícola. Disponível em <http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/qualidade_booklet_portuguese_web.pdf> Acesso em 26 Fev 2021.
- LIAO, Y.L. LU, Y.H. XIE, J. YANG, Z.P. ZHOU, X. NIE, J. 2018. Effects of Long-Term Application of K Fertilizer and Rice Straw on Yields, Crop K Uptake, and Soil K Supply Capacity in Double Rice Cropping Systems on Reddish Paddy Soils. *IPI- International Potash Institute* 1:1- 10.
- REETZ, H.F. 2017. Fertilizantes e o seu uso eficiente. *ANDA*, 1-178.
- MALAVOLTA, E. VITTI, G. C. OLIVEIRA, S. A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1-319.
- MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO). 2016. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 46, DE 22 DE NOVEMBRO DE 2016. 1-16.
- RAIJ, B. V. 2011. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: IPNI, 2011. 1-420.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 2017. Mitos sobre a calagem do solo. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/26031195/mitos-sobre-a-calagem-do-solo>> Acesso em: 28/02/21.
- DAS, D. DWIVEDI, B.S. DATTA, S.P. DATTA, S.C. MEENA, M.C. AGARWAL, B. K. SHAHI, D.K. SINGH, M. CHAKRABORTY, D. JAGGI, S. 2019. Potassium supplying capacity of a red soil from eastern India after forty-two years of continuous cropping and fertilization. *Geoderma*, 341:76-92.
- NOVAIS, R. F. ALVAREZ, H. V. BARROS, N. F. FONTES, R. L. F. CANTARUTTI, R. B. NEVES, J. C. L. 2007. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 1002-1017.

- GARCIA, R.A. CECCON, G. SUTIER, G.A. DA S. DOS SANTOS, A.L.F. 2018. Soybean-corn succession according to seeding date. *Pesq. Agropec. Bras.* 53, 22–29. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000100003>.
- LAGO, B. C. 2018. Época da aplicação de potássio no sistema de produção soja- milho segunda safra. Tese (Doutorado)- UPS. Piracicaba, 1- 64.
- OLTMANS, R.R. MALLARINO, A. P. 2015. Potassium uptake by corn and soybean, recycling to soil, and impact on soil test potassium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 79, 314–327. <https://doi.org/10.2136/2014.07.0272>.
- BRAZ, A. J. B. P, SILVEIRA, P. M, KLIEMANN, H. J. ZIMMERMANN, F.J.P. 2004. Acumulação de nutrientes em folhas de milho e dos capins braquiária e mombaça. *Pesq Agropec Bras.* 34 (2): 83-7.
- OLIVEIRA, T.K. CARVALHO, G.J. MORAES, R.N.S. 2002. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. *Pesq Agropec Bras.* 37:1079-1087.
- PARIZ, C.M. ANDREOTTI, M. BUZETTI, S. BERGAMASCHINE, A.F. ULIAN, N.A. FURLAN, L.C. MEIRELLES, P.R.L. CAVASANO, F.A. 2011a. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop-livestock system. *R Bras Ci Solo.* 35:2029-2037.
- VERIDIANA, Z. M. Mello, L. M. M. Andreotti, M. PARIZ, C. M. YANO, E. H. LAGES, F.C.B. 2015. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 39:183-193.
- CALONEGO, J.C. FOLONI, J.S.S. ROSOLEM, C.A. 2005. Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estágios de senescência após a dessecação química. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 29 (1):99-108. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000100011>.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. BORIN, A.L.D.C. 2016. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. *Informações Agronômicas*, 156: 1-17.
- RESENDE, A. V. BORGHI, E. GONTIJO NETO, M. M. ABREU, S. C. SANTOS, F. C. COELHO, A. M. 2018. Manejo de nutrientes no cultivo de milho segunda safra na região do cerrado. *Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola*, Passo Fundo 28 (166) 19-29.
- COELHO, A.M. 2006. Nutrição e adubação do milho. *Embrapa*, 78:1-10.
- DUARTE, A. P. ABREU, M.F. FRANCISCO, E. A.B. GITTI, D.C. BARTH, G. KAPPES, C. 2018. Concentração e exportação de nutrientes nos grãos de milho. *Informações Agronômicas*, (163): 1-5.
- FRAPS, G.S. 1932. Availability to plants of potash in polyhalite. *Agric Mech Coll Texas Bulletin No.* 449:05–16.
- KEMP, S.J. SMITH, F.W. WAGNER, D. MOUNTENEY, I. BELL, C.P. MILNE, C.J. GOWING, C.J.B. POTTAS, T.L. 2016. An improved approach to characterize potash-bearing evaporite deposits, evidenced in North Yorkshire, United Kingdom *Econ. Geol.* 111: 719-742.
- YERMIYAHU, U. ZIPORIA, I. FAINGOLDA, I. YUSOPOVA, L. FAUSTA, N. BARTALB, A. 2017. Polyhalite as a multinutrient fertilizer – potassium, magnesium, calcium and sulfate. *Israel J Plant Sci.* 64(3–4):145–157.
- MELLO, S.C. TONHATI, R. NETO, D.D. DARAPUNENI, M. PAVULURI, K. 2018b. Response of tomato to polyhalite as a multi- nutrient fertilizer in southeast Brazil. *J Plant Nutr.* 41(16):126–2140.
- MELLO, S.C. PIERCE, F.J. TONHATI, R. ALMEIDA, G.S. NETO, D.D. PAVULURI, K. 2018a. Potato response to Polyhalite as a potassium source fertilizer in Brazil: Yield and quality. *Hort Science.* 53(3):373–379.
- MELGAR, R.J. VENTIMIGLIA, L. FIGUEROA, E. CENTURION, O. Vale, F. 2018.

- Polyhalite for grain in soybean-based production systems in Argentina and Paraguay. IPI- International Potash Institute, 1(55): 3–12.
- ZHAO, N. GUO, H. SUO, J. LEI, Y. LI, G. IMAS, P. MAGEN, H. 2020. Impact of Alternative Polyhalite Fertilizers on 'Xu Xiang' Kiwifruit Yield and Quality in Shaanxi Province, China. IPI- International Potash Institute, 1(62):1-11.
- TIEN, T.M, QUI, T.T.M. TRUC, H.C, TU, T.C. 2020. Fertilizer Agronomic Efficiency of KCl and Polyhalite Combinations in Black Pepper Cultivation in Central Highlands, Vietnam (2016-2018). IPI- International Potash Institute, 1(60): 1-11.
- TIEN, T.M, QUI, T.T.M. TRUC, H.C, TU, T.C. 2020. Polyhalite Effects on Coffee (*Coffea robusta*) Yield and Quality in Central Highlands, Vietnam. IPI- International Potash Institute, 1 (61):1-11.
- BERNARDI, A.C.C. SOUZA, G.B. VALE, F. 2019. Polyhalite Compared to KCl and Gypsum in Alfalfa Fertilization. IPI- International Potash Institute, 1(52):1-7.
- YEO, L.P. IMAS, P. Optimizing Rice Fertilization with Polyhalite in Karawang, Indonesia. IPI- International Potash Institute, 1(58): 1-7.
- YAMADA, T. ROBERTS, T. L. 2005. Potássio na Agricultura Brasileira . Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, Piracicaba-SP, 836-841.
- MARTINS, E. S. OLIVEIRA, C.G. RESENDE, A.V. MATOS, M.S.F. 2008. Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Mineraias Alternativas de Potássio para a Agricultura. Rochas e Mineraias Industriais – CETEM 1-15.
- TAVARES, L. C. TUNES, L. M. BRUNES, A. P. FONSECA, D. A. R. RUFINO, C. A. BARROS, A. C. S. A. 2013. Potássio via recobrimento de sementes de soja: efeitos na qualidade fisiológica e no rendimento. *Ciência Rural*, Santa Maria, 43 (7): 1196-1202.
- PACHECO, L.P. MONTEIRO, M.M.S. SILVA, R.F. SOARES, L.S. FONSECA, W. L. NÓBREGA, J. C.A. PETTER, F.A. ALCÂNTARA NETO, F. OSAJIMA, J. A. 2013. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura no cerrado piauiense. *Bragantia*, Campinas, 72(3): 237-246.
- OLIVEIRA JUNIOR, R.C. SOUSA NETO, T.L. TAKETOMI, Y. C. OLIVEIRA, D.R. SOUSA, D.B. TANABE, C.S. 2015. Quantificação de restos culturais e concentração de nutrientes na cultura do milho no Município de Belterra/PA. In. XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, p. 1-5.
- LANGE, A. BEDIN, I. CAVALLI, E. CAVALLI, C. BELONI JUNIOR, O. 2015. Nutrientes na palhada de milho e efeito residual na cultura da soja. In. XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1-5.
- SPAIN, J. M.; SALINAS, J. G. 1985. A reciclagem de nutrientes nas pastagens tropicais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16. 1984, Ilhéus. Anais. Ilhéus: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, 259-299.
- CALONEGO, J.C. GIL, F.C. ROCCO, V.F. SANTOS, E.A. 2012. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. *Biosci. J. Uberlândia* 28(5): 770-781.
- CAVALLI, E. LANGE, A. CAVALLI, C. BEHLING, M. 2018. Decomposition and release of nutrients from crop residues on soybean-maize cropping systems. 13(2);1-9.

2. OBJETIVOS

Geral: Avaliar os efeitos do manejo do fornecimento de K (KCl, polihalita e blend KCl/Polihalita) na produção de soja e milho cultivados em sucessão.

Específicos: Mensurar parâmetros biométricos, produtivos e exportação de nutrientes pela soja; Mensurar parâmetros biométricos, produtivos e exportação de nutrientes pelo milho; Calcular a produtividade acumulada e o balanço simplificado de K, Ca, Mg e S no sistema; Determinar o efeito residual dos tratamentos nos teores de K, Ca, Mg e S no solo.

3. CAPÍTULO I

Artigo formatado nos moldes da revista Journal of Soil Science and Plant Nutrition

Polihalita como fonte de potássio na adubação do sistema de sucessão soja–milho

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o manejo do fornecimento de K na produção de soja e milho cultivados em sucessão. O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura arenosa, com alto teor de K na camada superficial. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, e os tratamentos foram dados pela combinação de manejo de K (KCl, polihalita e blend KCl/Polihalita), sendo fornecida a adubação total da dose antes da semeadura da soja ou adubação parcelada antes da soja e antes do milho, além de um tratamento controle, sem adubação potássica. A antecipação total de K na forma KCL, apresentou resultados negativos para produtividade de grãos acumulados no sistema (soja + milho). Já o uso exclusivo de polihalita para o manejo de K resultou em quantidades excedentes de S ($> 150 \text{ kg ha}^{-1}$) e Ca ($>100 \text{ kg ha}^{-1}$), além de fornecer Mg em quantidade suficiente para o sistema. Conclui-se que a adubação potássica é fundamental para a produtividade de grãos de soja e milho, e que a aplicação da polihalita em blend ou isolada pode viabilizar a adubação de sistemas de produção, promovendo a antecipação de toda a adubação potássica para a semeadura da soja, mantendo altos índices de produtividade de soja e do milho cultivado em subsequencia. Por outro lado, a antecipação de todo o K na forma de KCl apresentou resultado negativo para a produtividade do milho, particularmente por se tratar de solo de textura mais leve.

Palavras-chave: *Glycine max.* *Zea mays.* Cloreto de potássio. Adubação de sistema.

CHAPTER I

(Paper in line with the Journal of Soil Science and Plant Nutrition)

Polyhalite as a potassium source in the fertilization of the soybean-corn succession system

ABSTRACT

This paper aimed to evaluate the K supply management in the yield of soybean and corn cultivated in succession. The experiment was carried out in a dystrophic Red-Yellow Latosol with a sandy texture and high K content in the surface layer. The experimental design was in randomized blocks. The treatments were done by the combination of K management (KCl, polyhalite, and KCl/Polyhalite blend), and the total fertilization of the dose was provided before soybean sowing or fertilization split before soybean and before corn, in addition to a control treatment without potassium fertilization. The K total anticipation in the KCl form had negative results for grain yield accumulated in the system (soybean + corn). The exclusive use of polyhalite for K management resulted in excess amounts of S ($>150 \text{ kg ha}^{-1}$) and Ca ($>100 \text{ kg ha}^{-1}$), in addition to provide enough amount of Mg to the system. It is concluded that potassium fertilization is fundamental in the soybean and corn grains yield, and that the polyhalite application blended or isolated can enable the fertilization of production systems, promoting the anticipation of all potassium fertilization for the soybean sowing, maintaining high productivity rates for soybeans and corn cultivated in a subsequence. On the other hand, the anticipation of all K in KCl form had a negative result for corn yield, especially because it is a lighter textured soil.

Keywords: *Glycine max.* *Zea mays*. Fertilizing system. Potassium chloride.

3.2 Introdução

O sistema de sucessão de culturas representado pelo cultivo da soja no verão, e do milho em subsequência na safrinha, ou em segunda safra, é um dos principais sistemas de produção de grãos no Brasil (Alvares et al. 2013; Lago 2018), particularmente na região Centro-Oeste, devido a curta janela de plantio o qual a soja é semeada no início do período chuvoso, em meados de setembro a outubro, e o milho logo após a colheita da soja, entre os meses de janeiro a fevereiro.

A cultura de segunda safra, em especial o milho, é estabelecida dentre um período de menor disponibilidade hídrica, aumentando os riscos de perda de produção (Garcia et al. 2018). A partir da antecipação da adubação potássica a lancha ocorre redução do número de operações e do tempo dessas, proporcionando plantios antecipados, o que reduz os riscos de perda de produção por déficit hídrico (Lago 2018).

O cloreto de potássio (KCl) é o principal fertilizante potássico utilizado na agricultura no mundo todo, sendo que os principais produtores são Canadá e Rússia (Lopes 2005; Lago 2018). É comum a antecipação da adubação de K em solo argiloso, devido a capacidade de fixação deste nos colóides do solo, já em solos arenosos não é comumente aplicado em razão da baixa ou nenhuma fixação destes nos colóides. Além do elevado potencial de lixiviação, este fertilizante apresenta alto índice salino, o que pode prejudicar a germinação e conseqüentemente o estande de plantas e a produtividade de grãos. O KCl aumenta o potencial osmótico da solução do solo dificultando a absorção da água, ou mesmo aumentando a absorção de K e Cl, que em grandes quantidades pode causar desequilíbrio nutricional (BORKERT et al. 2005).

Outra alternativa de fertilizante como fonte de K para os sistemas de cultivos é a polihalita, que é um fertilizante extraído da rocha natural contendo K (14% K_2O), S (19%), Ca (17% CaO) e Mg (6% MgO), todos na forma de sulfato. Em comparação ao KCl, o índice salino do polihalita é menor (76), bem como é menos solúvel, na ordem de 27 g L^{-1} (a do KCl é de 360 g L^{-1}), o que resulta em uma liberação mais lenta de seus nutrientes no solo. Um estudo realizado em solo franco arenoso comparando a inclusão da polihalita juntamente com o KCl em proporções de 1:1 ficou evidenciado que os tratamentos em que continham a polihalita possibilitaram as maiores produtividades de grãos de milho, com variações de 8 a $8,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto para o tratamento controle produziu $5,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tien et al. 2020).

A disponibilidade dos nutrientes presentes nos grânulos de polihalita é mais lenta ao se comparar com as demais fontes disponíveis de K. A inclusão de 63%; 78% e 84% de polihalita com Map não alterou a produção de grãos do milho, mas resultou em incremento significativo da produtividade de grãos da soja devido maior disponibilidade de K e S no solo, potencializou a substituição completa do KCl pela polihalita (Melgar et al. 2018a). Embora alguns esforços tenham sido feitos, ainda pouco se sabe sobre a utilização da polihalita na adubação de sistemas de produção, tais como o de soja-milho. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo comparar polihalita, KCl e um blend entre ambos, bem como a época de fornecimento desses fertilizantes, na produção de soja e de milho cultivado em sucessão.

3.3 Material e métodos

3.3.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido a campo, na Fazenda Bauzinho, no município de Rio Verde, GO. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura arenosa (Santos et al. 2013). Antes do plantio do experimento foram coletadas amostras para a caracterização química e granulométrica (Tabela 1) utilizando os extratores: CaCl_2 (Cloreto de Cálcio); Oxidação; Mehlich⁻¹, KCl 1 mol L^{-1} ; acetato de cálcio $0,5\text{ mol L}^{-1}$ para determinar pH, M.O; P e K; Al, Ca e Mg; H+Al, conforme procedimentos descritos por (Raij et al. 2001). Os dados de precipitação (mm) durante a condução do trabalho foram obtidos através de pluviômetro instalado na propriedade (Figura 1).

3.3.2 Tratamentos e Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 7 tratamentos, combinando com três fontes de K (KCl – 62% de K_2O , polihalita (14% K_2O , 19% S, 3.6% Mg e 12% Ca) e o blend KCl+Polihalita), aplicadas a lanço (em superfície) em dose total (140 kg ha^{-1} de K_2O) antes da semeadura da soja, ou divididas entre semeadura da soja (80 kg ha^{-1}) e semeadura do milho (60 kg ha^{-1}), além de um tratamento controle, sem adubação potássica.

Como fonte de polihalita, foi utilizado o fertilizantes Poly4®. No tratamento com blend de KCl e polihalita, 80% da dose de K_2O foram fornecidos via KCl, e os outros 20% via polihalita. Os tratamentos foram aplicados em superfície, e o cálculo da dose dos fertilizantes ajustado para aplicar 80 kg ha^{-1} K_2O para a soja, e 60 kg ha^{-1} K_2O para o milho (140 kg ha^{-1} K_2O para a sucessão soja–milho).

3.3.3 Implantação e condução experimento

Cada parcela foi constituída de 8 linhas, espaçadas 0,5 m entre cada, por 6 m de comprimento, totalizando 24 m^2 de área total. A soja, cultivar FOCCO Ipro (Brasmax), foi semeada mecanicamente para a obtenção da população de 300.000 plantas ha^{-1} . Além da adubação referente aos tratamentos, foi aplicado $120\text{ kg P}_2\text{O}_5\text{ ha}^{-1}$, utilizando o monoamônio fosfato (MAP) (52% de P_2O_5 e 11% de N), aplicado na linha de semeadura. Os demais tratos culturais foram realizados conforme necessidades da cultura.

A cultura do milho foi semeada em subsequência à colheita da soja. O híbrido LG 36790 PRO3 foi semeado para a obtenção da população de 60.000 plantas ha^{-1} . Juntamente com a adubação dos tratamentos, foi aplicado $80\text{ kg P}_2\text{O}_5\text{ ha}^{-1}$, utilizando o MAP; por ocasião do estágio V3, foram aplicados 100 kg N ha^{-1} , utilizando uréia como fonte (45% de N). Os demais tratos culturais foram realizados conforme necessidades da cultura.

3.3.4 Avaliações realizadas

Na cultura da soja, por ocasião da colheita (estádio R8), 10 plantas de cada parcela útil foram amostradas, e determinou-se a altura e o número de nós reprodutivos da haste principal, e o número de ramos laterais e de nós reprodutivos nos ramos laterais.

Para obtenção da produtividade da soja foram amostradas manualmente 3 metros das 4 linhas centrais de cada parcela, (total de 6 m^2). Essas amostras foram trilhadas mecanicamente, em seguida foi determinada a umidade dos grãos e então foi estimada a produtividade (kg ha^{-1}), com a umidade corrigida para 13%. O peso de mil grãos foi obtido a partir da contagem e pesagem de 8 subamostras de 100 grãos de cada uma das parcelas.

Na cultura do milho, por ocasião da colheita (estádio R6), foi determinado o número de fileiras/espiga, grãos/fileira e grãos/espiga a partir da mensuração de 10 espigas por parcela. Para a avaliação da produtividade, as espigas foram colhidas manualmente numa área de 6 m^2 , sendo essas trilhadas, os grãos pesados e posteriormente foi feita a aferição da umidade. A produtividade de grãos (kg ha^{-1}) foi estimada com a umidade ajustada para 13%. O peso de mil grãos foi determinado a partir da contagem e pesagem de 8 subamostras de 100 grãos de cada uma das parcelas.

Amostras de grãos da soja e do milho foram secas em estufa de circulação forçada de ar a $65 - 70^\circ\text{C}$ até peso constante, e em seguida moídas em moinho tipo Willey, e destinadas a análises químicas de tecido vegetal para a obtenção dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), K, cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (Silva, 2009). Com base nos dados dos teores dos nutrientes nos grãos e da produtividade foram estimados os valores da exportação dos nutrientes.

Após a colheita do milho, o solo foi amostrado com trado tipo sonda em quatro pontos por parcela,

nas profundidades de 0 a 0,2; 0,2 a 0,4 e de 0,4 a 0,6 m. As amostras de solo foram secas ao ar, tamisadas em peneiras de 2 mm sendo feita a análise química para obtenção dos teores de K, Ca e Mg trocáveis e sulfato ($S-SO_4^{2-}$) (Silva, 2009).

3.3.4 *Análise estatística*

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância. Quando detectado efeito significativo dos tratamentos pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste t (LSD) ao nível de 5% de probabilidade. Para os resultados de solo, a comparação entre tratamentos foi realizada somente dentro da mesma camada de solo, não havendo comparação entre as camadas amostradas.

3.4 Resultados

3.4.1 *Cultivo da soja: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes*

Na cultura da soja, não houve alteração da altura de plantas, número de ramos laterais, número de nós reprodutivos na haste principal e nos ramos laterais (Tabela 4), número total de vagens e de grãos por planta (Tabela 5). Tais resultados corroboram as observações de campo, quando foi observada ausência de diferença visual entre as plantas da soja nos diferentes tratamentos. O peso de mil grãos (PMG) diferiu dentre os tratamentos, e conseqüentemente foi o componente da produção de grãos da soja que influenciou na produtividade (Tabela 5). O maior peso de mil grãos foi obtido com aplicação da polihalita, tanto em dose total antes da soja, quanto dividida antes da soja e do milho, e o menor PMG foi obtido no tratamento controle (Tabela 5).

Quanto aos teores de macro e micro nutrientes nos grãos de soja, não foram observadas diferenças entre os tratamentos para N, K, B e Zn (Tabela 6). Já para P, Ca, Mg, S, Fe, Cu e Mn houveram diferenças. A maior produtividade de grãos foi obtida com a aplicação somente da polihalita antes do plantio de cada cultura ou em blend com o KCl aplicado 100% antes do plantio da soja (Tabela 5). A exportação de nutrientes seguiu um padrão de resultado semelhante ao da produtividade de grãos da soja (Tabela 7).

3.4.2 *Cultivo do milho: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes*

Na cultura do milho não foi observada diferença do número de fileiras por espiga e PMG (Tabela 8). Já para o número de grãos por fileira, número total de grãos por espiga e a produtividade de grãos, de maneira geral, os maiores valores foram apresentados pelos tratamentos adubados com o blend KCl/Polihalita, tanto em aplicação total antes da soja (adubação de sistema), quanto dividida entre soja e milho.

Não houve diferença entre os tratamentos para a exportação (pelos grãos de milho) de K, Ca, Mg, S, Cu e B (Tabela 10), resultado interessante, uma vez que dentre esses, estão os quatro nutrientes fornecidos pela polihalita. Para os demais nutrientes, as diferenças ocorreram principalmente em relação ao tratamento controle, que exportou N, P, Fe, Zn e Mn em menor quantidade, à exemplo do observado também para o tratamento com adubação de sistema com KCl (Tabela 10).

3.4.3 *Produção total de grãos do sistema soja-milho*

A produtividade total de grãos do sistema (produtividade soja + produtividade milho) diferiu dentre os tratamentos (Tabela 11), onde foram observados melhores resultados nos tratamentos com polihalita (em blend ou isolada, aplicada em dose total na soja ou dividida entre soja e milho) e no tratamento com adubação de KCl dividida entre soja e milho.

O resultado menos positivo ocorreu no tratamento controle, o que evidencia que uma condição de boa fertilidade na camada superficial, sem o fornecimento de nutrientes via fertilizantes, não é por si só suficiente para que as plantas expressem seu maior potencial produtivo. Resultado semelhante foi observado quando da adubação de sistema com KCl (Tabela 11).

3.4.4 *Balanco simplificado de K, Ca, Mg e S no sistema soja-milho*

O balanço simplificado de K no sistema resultou em valor negativo apenas para tratamento controle (-85,7 kg K ha⁻¹) (Figura 2A). Os demais tratamentos apresentaram balanços similares e positivos, ou seja, a quantidade de K fornecida via fertilizantes foi superior para atender a exportação de K pelas colheitas da soja e do milho, que em média foi, respectivamente, de 14,1 e 3 kg ha⁻¹. Para Ca e S (Figuras 2B e

2D), os balanços foram positivos nos tratamentos com polihalita, particularmente quando a mesma foi utilizada de maneira exclusiva, que resultou em grandes quantidades excedentes de S ($> 150 \text{ kg ha}^{-1}$) e Ca ($> 100 \text{ kg ha}^{-1}$) no sistema.

Após um ciclo do sistema soja-milho (Figura 2C) o balanço de Mg apresentou resultado positivo ($\sim 17 \text{ Kg ha}^{-1}$) nos tratamentos com adubação exclusiva com polihalita. Nos demais tratamentos, o balanço de Mg foi negativo. Ressalta-se, no entanto, que o déficit de Mg foi menor ($\sim 12 \text{ kg ha}^{-1}$) nos tratamentos com a polihalita utilizada em blend com KCl do que nos tratamentos controle e com uso exclusivo de KCl ($\sim -18 \text{ kg ha}^{-1}$), tratamentos esses que não fornecem Mg.

3.4.5 Teores de K, Ca, Mg e S no solo

Para o teor de K no solo após os cultivos da soja e milho (Figura 3A), observou-se diferença estatística entre os tratamentos somente na camada mais profunda, de 40-60 cm, com os maiores teores de K ocorrendo nos tratamentos com adubação total antes da soja, particularmente quando do uso isolado de KCl ou polihalita. Os menores teores de K nessa camada foram observados nos tratamentos com adubação dividida entre soja e milho e tratamento controle. Já para os nutrientes Ca (Figura 3B) e Mg (Figura 3D) não foi observada qualquer diferença entre os tratamentos, sendo evidenciado maior concentração desses nutrientes na camada superficial do solo (00-20 cm). Para o S foram encontradas diferenças significativas somente na camada superficial do solo, de modo que o maior teor de S foi observado no tratamento com Poli aplicado parte na soja e parte no milho (Figura 3C).

3.5 Discussão

3.5.1 Cultivo da soja: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes

É importante salientar que o solo da área experimental apresentava condições de boa fertilidade (à exceção do P) na camada superficial (00-20 cm), resultado da prévia aplicação de gesso agrícola e manejo da área em sistema de integração lavoura-pecuária. De modo geral, essa condição de boa fertilidade limitada à camada superficial, resultou em boa produtividade de grãos da soja (tratamento controle > 70 sacas ha^{-1}). Isso fica evidente quando se compara a produtividade do tratamento controle com a produtividade dos tratamentos que receberam adubação potássica.

Na prática, a condição propiciada pelo tratamento controle foi suficiente para que a planta crescesse, engalhasse e produzisse vagens e grãos. No entanto, a quantidade fornecida de nutrientes, particularmente K, foi insuficiente para o adequado enchimento desses grãos. Fica evidente então que mesmo em condições de adequado teor de K na camada superficial, o fornecimento de K via adubação é fundamental para que se possam elevar os níveis de produtividade da soja, que chegou a 84 sacas ha^{-1} quando da aplicação de 80 kg de $\text{K}_2\text{O ha}^{-1}$ via polihalita.

Na avaliação de peso de 1000 grãos (Tabela 5), é possível notar que os grãos mais pesados foram encontrados nos tratamentos com o polihalita aplicada exclusivamente, enquanto os grãos menos pesados ocorreram no tratamento controle, o que pode então explicar as diferenças encontradas quanto à produtividade.

Dentre os resultados para os tratamentos que receberam K, a menor produtividade foi observada nas parcelas que receberam em aplicação única e na forma de KCl a dose total de K para os dois cultivos. Uma hipótese para esse resultado é a de que o manejo pode ter elevado a salinidade no ambiente radicular a níveis limitantes.

Alguns trabalhos (Luchese et al. 2011; Pavuluri et al. 2017) mostram que ao utilizar polihalita como fonte de fertilizante de K para a cultura da soja e do milho, há um incremento positivo sobre os índices de produção em comparação ao tratamento controle utilizando KCL.

Em termos de exportação de nutrientes pela soja (Tabela 7), os resultados mostraram a seguinte ordem aferida: $\text{N} > \text{K} > \text{P} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{S}$; $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Mn} > \text{Cu}$. Embora cada cultivar, região, tipo do solo, manejo de adubação e condições climáticas adotadas possam influenciar na sequência de exportação dos nutrientes para o grão, outros autores encontraram resultados similares de ordem de exportação: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$ (Cordeiro et al., 1979); $\text{N} > \text{K} > \text{S} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca}$ (Kurihara, 2013a) e $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$ (Araújo, 2018).

3.5.2 *Cultivo do milho: Parâmetros produtivos e exportação de nutrientes*

A produtividade do tratamento controle foi de 8.102 kg ha⁻¹ (proveniente da alta fertilidade da área). Essa produção é superior a estimativa da produtividade no estado de Goiás que é de 4.535,00 kg ha⁻¹ (Conab, 2021). O uso KCl por sua vez resultou em alta produtividade de milho somente quando aplicado em blend com poli, ou quando isolado e fornecido antes do plantio do milho. No caso do fornecimento total de KCl por ocasião da semeadura da soja, a produtividade do milho cultivado em sucessão foi menor. É bem provável que esse resultado tenha relação com a maior solubilidade do KCl em comparação à polihalita, ou seja, quando se aplicou a dose total de KCl na cultura da soja, possivelmente todo o K ficou rapidamente disponível no solo e permaneceu por um período mais longo de tempo, passível de ser arrastado para camadas mais profundas. O insucesso da antecipação total de KCl na cultura da soja fica ainda mais evidente quando se sabe que essas perdas por lixiviação são maiores quanto mais arenoso for o solo, podendo chegar a 57% do K fornecido pelo fertilizante quando da ocorrência de precipitações equivalentes a 200% da capacidade de campo do solo (Mendes et al. 2016).

Esses resultados são reforçados por Tien et al. (2020), que obtiveram produtividade de 5.700 kg ha⁻¹ de milho ao utilizar somente KCl e 8.000,00 a 8.500,00 Kg ha⁻¹ utilizando uma mistura em proporção de 1:1 de muriato de Potássio - (MOP) + Polihalita. Já Pavuluri et al. (2017), estudando a produção do milho em função da adição da polihalita na adubação, em seis locais diferentes ao sul da Tanzânia, identificaram um incremento positivo na produtividade dos grãos em cinco locais, sempre em comparação com a adubação com KCl.

3.5.3 *Produção total de grãos do sistema soja-milho*

Estudo realizado na Argentina, em um chernossolo argilúvico de textura argila-arenosa, testaram a utilização da polihalita no sistema milho-soja utilizando os seguintes tratamentos: controle (apenas Map); Super fosfato simples; blend com Map + polihalita (34% + 66%; 37% + 63%; 22% + 78% e 16% + 84% respectivamente). Os tratamentos com polihalita apresentaram maiores resultados de produtividade de grãos de milho quando comparados com os outros tratamentos. Já para soja, foi observado que o tratamento blend, tanto com 22% + 78% quanto 16% + 84% resultaram em uma maior produtividade de grãos quando comparado com os demais tratamentos, totalizando uma produção de grãos no sistema milho-soja de 8.900 e 9.100 kg ha⁻¹ respectivamente (Melgar et al. 2018a).

Em um trabalho realizado em um nitossolo vermelho de textura argilosa no Paraguai, foram utilizados os seguintes tratamentos: controle (somente Map) com uma repetição; Map + Superfosfato simples + KCl com duas repetições (3 P₂O₅:1 K₂O e 2 P₂O₅:1 K₂O); Map + Superfosfato simples + Polihalita com duas repetições (3 P₂O₅:1 K₂O e 2 P₂O₅:1 K₂O). A produtividade do sistema soja-milho quando em 3:1 no tratamento que continha a polihalita foi de 7.805 kg ha⁻¹ e quando 2:1 de 8.271 kg ha⁻¹. Por fim, os autores afirmam que há vantagens em se utilizar a polihalita como parte da adubação no sistema, principalmente em solos deficientes de K e S, pois os tratamentos em que tinha a polihalita foram mais produtivos, bem como conseguiram corrigir a deficiência desses nutrientes no solo (Melgar et al. 2018a).

3.5.4 *Balanco simplificado de nutrientes no sistema soja-milho*

O balanço de K no sistema soja-milho foi negativo somente no tratamento controle (Figura 2 A), e nos demais tratamentos, a quantidade fornecida de K (140 kg K₂O ha⁻¹) foi superior à quantidade exportada para a formação dos grãos, sendo que esse saldo positivo de K foi similar entre os tratamentos. Sabe-se que o fornecimento de uma dose de K inferior à demanda da planta pode resultar em balanço negativo de K no sistema, o que foi evidenciado no tratamento controle. De acordo com Steiner et al. (2015) e Molin et al. (2019), o resultado negativo na exportação de nutrientes pode ser caracterizado como a falta e/ou indisponibilidade em quantidade adequada à exigência demandada pela planta desse nutriente, pois se houver nutriente em quantidade e prontamente disponível, pode resultar numa máxima produtividade.

A alta quantidade excedente de S (> 150 kg ha⁻¹) e Ca (>100 kg ha⁻¹) quando do uso exclusivo da polihalita (figura 2 B e D) se deve à quantidade de Ca e S presente na composição dos grânulos de polihalita (17% Ca e 19 % S). Os tratamentos com polihalita em blend com KCl também apresentaram saldos positivos de K, no entanto, da ordem de ~18 kg ha⁻¹ para S e ~12 kg ha⁻¹ para Ca. A presença de 6% de Mg na polihalita também contribuiu para um balanço mais favorável desse nutriente no sistema quando da inclusão da polihalita na adubação (Figura 2C). Esse resultado é de grande valia e está diretamente relacionado ao caráter multinutriente da polihalita.

Estudo realizado por Yermiyahu et al. (2017) mostrou que ao utilizar polihalita, houve um maior

residual de Ca, Mg e S no solo em comparação a outra fonte de sulfato testado. Além disso, foi verificado que a polihalita apresenta menor lixiviação de seus nutrientes no solo logo após a aplicação. Essa avaliação é relevante por proporcionar opções diversificadas para o fornecimento de nutrientes antes da semeadura da soja, o que é considerável em termos de logística. Essa prática é adotada para o fornecimento de P, e, aparentemente a polihalita isolada ou em blend, pode possibilitar a aplicação de K utilizando esse manejo.

3.5.5 Teores de Ca, Mg, K e S no solo

Os resultados encontrados para o K (Figura 3 A) podem estar relacionados com a própria dinâmica desse nutriente no solo, uma vez quando aplicado antes da soja passou mais tempo no solo, passível de ser lixiviado para as camadas mais profundas. Mesmo não apresentando diferenças estatísticas para as camadas mais superficiais é importante mencionar que em todo o perfil do solo, o menor teor de K-trocável foi observado no tratamento controle. É importante destacar o comportamento do teor de K no perfil do solo quando foi utilizado blend KCl/Polihalita, que mesmo após o milho, se manteve maior na camada 00-20 cm com valores menores nas camadas mais profundas. Numa interpretação muito superficial, poderia ser hipotetizado que a lixiviação do K nesses tratamentos com blend KCl/Polihalita foi retardada.

Ao analisarmos os dados de Ca e Mg (Figura 3B e 3D), era esperado que houvesse alguma diferença estatística, particularmente nos tratamentos com a aplicação exclusiva de polihalita, considerando que esses tratamentos aportaram ao solo (Tabela 3) 121,4 kg Ca ha⁻¹ e 36,2 kg Mg ha⁻¹. Esses números em valores totais são relevantes para o sistema, o que fica evidenciado nas figuras de balanço de Ca (Figura 2 B) e Mg (Figura 2 D). No entanto, se convertermos esse aporte de Ca e Mg em cargas para o solo, teríamos num cenário ideal um acréscimo de 0,30 cmol_c Ca dm⁻³ e 0,15 cmol_c Mg dm⁻³, considerando somente a camada de 20 cm, e não a diluição no perfil do solo. Em termos práticos, essas diferenças mínimas podem se confundir dentro do próprio erro experimental e/ou analítico.

Embora o S apresentou diferença significativa (Figura 2 C) apenas na camada 00-20 cm, esse resultado está dentro do previsto, uma vez que esse tratamento além de receber um significativo aporte de S, o recebeu (parte) mais recentemente, por ocasião da implantação do milho. É provável que o tempo de cultivo do milho e as chuvas ocorridas no período, não foram suficientes para que o S se deslocasse para as camadas mais profundas, mesmo em se tratando de um solo com altos teores de S (> 10 mg dm⁻³). Nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, mesmo não tendo havido diferença pelo teste de comparação de médias, é notável o maior teor desse nutriente nos tratamentos com polihalita, aplicado no sistema ou isoladamente em cada uma das culturas, o que é resultado direto do significativo aporte de S (190 kg S ha⁻¹) (Tabela 3) nos tratamentos com polihalita.

Estudo realizado na província de Sichuan (China), em Latossolo vermelho-amarelo de textura argilosa, testou o uso de polihalita versus sulfato de potássio, ambas na dose de 180 kg ha⁻¹, por um período de três anos. No terceiro ano de teste, houve um incremento de 15,1% na produção de chá, quando utilizada a polihalita. Além disso, foi observada maior troca de Ca, Mg e S no solo, o que não ocorreu com o sulfato de K. Para os tratamentos com polihalita, o pH se manteve mais próximo da neutralidade durante esses três anos. Isso pode ser resultado da alta adição de Ca e Mg por parte da polihalita em comparação com o sulfato de K (Zhou et al. 2019).

3.6 Conclusões

A adubação potássica utilizando qualquer fonte ou manejo, é primordial para a produtividade da soja e do milho, cultivados num solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura arenosa.

A utilização da polihalita isolada ou em blend com KCl, pode viabilizar a prática da adubação de sistemas, permitindo a antecipação total da adubação potássica por ocasião da semeadura da soja sem resultar em prejuízo à produtividade do sistema, semelhante do observado no sistema convencional, com fornecimento de KCl por ocasião de cada um dos cultivos. Quando da antecipação total do K na forma de KCl, no entanto, a produtividade de grãos acumulada no sistema (soja + milho) é afetada negativamente.

O uso exclusivo de polihalita como fonte de K para o sistema soja-milho resulta em grandes quantidades excedentes de S (> 150 kg ha⁻¹) e Ca (>100 kg ha⁻¹), bem como fornece Mg em quantidade suficiente para o sistema, sendo uma alternativa interessante ao uso exclusivo de KCl.

Agradecimentos

Os autores agradecem as empresas Fertigeo, pela disponibilização da área e apoio operacional, e Cibra Fertilizantes, pelo apoio financeiro na execução desse projeto.

3.7 Referências Bibliográficas

- ALVARES, C. A. STAPE, J. L. SENTELHAS, P. C. DE MORAES GONÇALVES, J. L. SPAROVEK, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol. Zeitschrift 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ARAÚJO, W.A. 2018. Acúmulo de matéria seca, marcha de absorção de nutrientes e componentes da produção em soja de crescimento determinado e indeterminado. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, 1-55.
- BATISTELLA FILHO, F. FERREIRA, M. E. VIEIRA, R. D. CRUZ, M. C. P. CENTURION, M. A. P. C. SYLVESTRE, T. B. RUIZ, J. G. C. L. 2013. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. Pesq. agropec. bras. Brasília, 48(7): 783-790.
- BERNARDI, A. C. C. de et al. 2009. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Tropical, Brasília, 39 (2) 158-167.
- CÉSAR, F. R. C. F. 2012. Efeito do enxofre elementar na eficiência de fosfatos naturais. Dissertação (Mestrado)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 1-90.
- COPPO, J. C. 2017. Manejo da adubação potássica na cultura da soja e efeito residual na cultura do milho em sistema plantio direto no oeste do paraná. Dissertação- (Mestrado)-Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon,1-71.
- CORDEIRO, D. S.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. & SILVEIRA, R. I. 1979. Extração de macronutrientes pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em função dos níveis de NPK. **Anais. ESALQ**, 36:551-604.
- COSTA, A. C, VASCONCELOS, C. V, MÜLLER, C. CASTOLDI, G. COSTA, A. M. BARBOSA, K. P. RODRIGUES, A. A. SILVA, A. A. 2020. Potential of calcium nitrate to mitigate the aluminum toxicity in *Phaseolus vulgaris*: effects on morphoanatomical traits, mineral nutrition and photosynthesis. *Ecotoxicology*. 30:1-14. <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02168-6>.
- EPSTEIN, E. BLOOM, A. J. 2006. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 1-403.
- FERREIRA, V. F. 2015. Adubação com potássio nas características agrônômicas e na qualidade de sementes de soja. TESE. UFLA, 1-105.
- GARCIA, R. A. CECCON, G. SUTIER, G. A. DA S. DOS SANTOS, A. L. F. 2018. Soybean-corn succession according to seeding date. Pesq. Agropec. Bras. 53, 22–29. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000100003>.
- KURIHARA, C. H.; ALVAREZ, V. H.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS R. F. 2013a. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Revista. Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 5, p. 690-698.
- LAGO, B. C. 2018. Época da aplicação de potássio no sistema de produção soja – milho segunda safra. Tese (Doutorado)– Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP. 1-65.
- LAMBERT, E. S. MEYER, M. C. KLEPKER, D. 2007. Cultivares de soja 2007/2008 Região Norte e Nordeste. Londrina: Embrapa Soja, 1-36 (Documento, 284).
- LEWIS, T. D. HALLETT, P. D. PATON, G. L. HARROLD, L. 2020. Retention and release of nutrients from polyhalite to soil. *Soil use manager*. 36: 117-122.
- LUCHESE, K. U. O. LEAL, A. J. F. KANEKO, F. H. VALDERRAMA, M. SEVERINO, U. A. 2011. Resposta da cultura da soja a doses de cloreto de potássio, revestido ou não com polímeros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Uberlândia. Anais. Viçosa: SBSCS, 1-33. CD-Rom.
- LUCHESE, K.U.O.; LEAL, A.J.F.; KANEKO, F.H.; VALDERRAMA, M.; SEVERINO, U.A. 2011. Resposta da cultura da soja a doses de cloreto de potássio, revestido ou não com polímeros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30-33.
- MALAVOLTA, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Ceres, 1-631.
- MELGAR, R. J. VENTIMIGLIA, L. FIGUEROA, E. CENTURION, O. Vale, F. 2018. Polyhalite for grain in soybean-based production systems in Argentina and Paraguay. IPI- International

- Potash Institute, 1(55): 3–12.
- MOLIN, S. J. D. NASCIMENTO, C. O. TEIXEIRA, P. C. BENITES, V. M. 2019. Polyhalite as a potassium and multinutrient source for plant nutrition. *Arch agron soil sci*, 66:5, 667-678, DOI: [10.1080/03650340.2019.1631451](https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1631451).
- MORAES, V. R, BRITO, O. R, FIORETTO, R. A, MOREIRA, A. 2016. Changes in chemical Alterações nas propriedades químicas de um latossolo vermelho devido à aplicação de gesso. *Comunicações em Solos e análise de plantas*, 47 (5), 571 - 580.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. de. CASTRO, C. de. PEREIRA, L. R. DOMINGOS, C. da S. 2016. Estádios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja. *Paiçandu: Fortgreen; Londrina: Embrapa Soja*, 2016. 1 cartaz, color. 70 cm x 100 cm. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1047123>. Acesso em: 18 março. 2021.
- PAVULURI, K. MALLEY Z. LEWIS T. MEAKIN R. 2017. Evaluation of polyhalite in comparison to muriate of potash for corn grain yield in the Southern Highlands of Tanzania. *Afric J Agron*. 5(3):325–332.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo, 285p. 2001.
- ROSA, R. P. PITTELKOW, F. K. VALE, F. 2020. Evaluation of Potassium and Sulfur Fertilizers for Soybean in Brazil. *e-ific* (59):1-7.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- SILVA, F. F. 2019. Uso de polihalita na adubação da soja e seu efeito residual na produção de milho. *Dissertação (Mestrado)- Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, GO*. 1-41.
- SOUSA, D. M. G. de LOBATO, E. 204. *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2. ed. Planaltina:Embrapa Cerrados, 1-416.
- STEINER, F. LANA, M.C. ZOZ, T. FRANDOLOSO, J.F. 2015. Changes in potassium pools in Paraná soils under successive cropping and potassium fertilization. *Semina*. 36(6): 4083– 4098.
- TIEN, T. M. TRANG, T. T. T. HA, P. T. N. CHIEN, D. T. THAI, T. T. THANG, D.T.THU, T.T.M. 2020. Polyhalite Effects on Winter Maize Crop Performance on Degraded Soil in Northern Vietnam. *e-ific* (62):1-10.
- VEIGA, A. D. PINHO, É. V. R. VEIGA, A. D. PEREIRA, P. H. A. R. OLIVEIRA, K. C. PINHO, R. G. 2010. Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, 34(4): 953-960.
- ZAMBIAZZI, E. V. BRUZI, A. T. CARVALHO, M. L. M. SOARES, I. O. ZUFFO, A. M. REZENDE, P. M. MIRANDA, D. H. 2014. Potassium Fertilization and Physiological Soybean Seed Quality. *Agricultural Sciences, Milan*, (5): 984-991.
- ZHOU, Z. CHEN, K. TU, H. CHEN, Q. WU, F. ZENG, X. TU, S. QIN, Y. MEAKIN, R. FAN, X. 2019. Changes in Tea Performance and Soil Properties after Three Years of Polyhalite Application. *Agron. J*. 111:1967–1976. doi:10.2134/agronj2018.06.0393.

Tabela 1 Atributos básicos químicos e texturais do solo por ocasião da implantação do ensaio.

Prof.	pH*	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V%	m
Cm	CaCl ₂	-----mg dm ⁻³ -----		----- cmol. dm ⁻³ -----							
00-20	5,3	5	49	0,15	7,7	2,3	0,0	3,6	13,7	74	0
20-40	4,8	1	18	0,08	0,7	0,3	0,1	3,2	4,3	25	10
40-60	5,0	1	23	0,07	0,5	0,2	0,2	1,9	2,8	30	18

Cm	M.O.	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Argila	Silte	Areia	
	g dm ⁻³	----- mg dm ⁻³ -----					----- % -----			
00-20	30	14	2,2	1,1	0,3	0,34	17,5	6,3	76,2	
20-40	17	15	1,8	1,1	0,0	0,13	21,6	4,7	73,7	
40-60	11	11	1,6	0,9	0,1	0,11	23,1	5,4	71,5	

*pH em CaCl₂; M.O. Matéria orgânica do solo (Walkley-Black); P e K (Mehlich⁻¹); Al, Ca e Mg (KCl 1 mol L⁻¹); H + Al (extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹); CTC a pH 7,0, capacidade de troca de cátions; V, saturação por bases.

Tabela 2 Tratamentos utilizados no ensaio com adubação do sistema soja–milho.

Nº Trat.	Fonte de K	Época de aplicação
1	Controle, sem adubação com K	-
2	KCl	100% antes soja (140 Kg ha ⁻¹)
3	KCl	80 Kg ha ⁻¹ antes soja + 60 Kg ha ⁻¹ antes milho
4	Polihalita	100% antes soja (140 Kg ha ⁻¹)
5	Polihalita	80 Kg ha ⁻¹ antes soja + 60 Kg ha ⁻¹ antes milho
6	Blend KCl/Poli (80/20)	100% antes soja (140 Kg ha ⁻¹)
7	Blend KCl/Poli (80/20)	80 Kg ha ⁻¹ antes soja + 60 Kg ha ⁻¹ antes milho

Tabela 3 Quantidade de fertilizante (cloreto de potássio -KCl) e polihalita (Poli), época de aplicação, e quantidade de nutrientes aportados por cada um dos tratamentos.

Trat.	Antes da Soja		Antes do Milho		Nutrientes aportados no sistema			
	KCl	Poli	KCl	Poli	K ₂ O	S	Ca	Mg
kg ha ⁻¹					kg ha ⁻¹			
1
2	233,3	.	.	.	140	.	.	.
3	133,3	.	100	.	140	.	.	.
4	.	1000	.	.	140	190	121,4	36,2
5	.	571,4	.	428,6	140	190	121,4	36,2
6	186,7	200	.	.	140	38	24,3	7,2
7	106,7	114,3	80	85,7	140	38	24,3	7,2

Tabela 4 Altura de planta, número de ramos laterais, e número de nós reprodutivos na haste principal e nos ramos laterais em plantas de soja em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2020.

Tratamento	Altura	Nós haste principal	Ramos laterais	Nós ramos laterais
	cm	num / planta	num / planta	num / planta
Controle	86,1	16,1	1,6	4,9
KCl sistema	86,1	16,2	1,4	4,9
KCl soja/milho	88,0	16,3	1,6	6,4
Poli sistema	88,6	16,0	1,4	4,9
Poli soja/milho	90,6	16,9	1,9	6,4
Blend KCl+Poli sistema	87,6	16,6	1,6	5,4
Blend KCl+Poli soja/milho	90,2	17,0	1,7	6,5

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Tabela 5 Número total de vagens e de grãos, peso de mil grãos e produtividade de grãos de soja em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2020.

Tratamento	Vagens total	Grãos total	PMG	Produtividade
	num / planta	num / planta	g	kg ha ⁻¹
Controle	52	129	155,4 b	4.285,3 c
KCl sistema	51	130	159,9 ab	4.477,7 bc
KCl soja/milho	55	138	157,7 ab	4.791,1 ab
Poli sistema	52	132	163,3 a	4.808,0 ab
Poli soja/milho	56	144	163,3 a	5.056,0 a
Blend KCl+Poli sistema	52	129	159,6 ab	4.902,8 a
Blend KCl+Poli soja/milho	59	150	162,0 ab	4.663,6 abc

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Tabela 6 Teor de macro e micronutrientes nos grãos de soja em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2020.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Controle	57,5	5,55 ab	16,1	2,67 ab	2,56 ab	2,38 ab
KCl sistema	57,9	5,32 cd	16,2	2,71 ab	2,54 ab	2,25 b
KCl soja/milho	59,1	5,48 abc	15,9	2,54 b	2,43 b	2,32 ab
Poli sistema	58,2	5,48 abc	15,8	2,56 b	2,48 b	2,53 a
Poli soja/milho	56,9	5,28 d	15,9	2,54 b	2,50 ab	2,18 b
Blend KCl+Poli sistema	58,4	5,40 bcd	16,8	2,85 a	2,70 a	2,44 ab
Blend KCl+Poli soja/milho	58,1	5,65 a	16,6	2,73 ab	2,62 ab	2,56 a
	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
mg kg ⁻¹						
Controle	123,8 a	11,2 ab	39,6	23,6 ab	26,0	

KCl sistema	104,9 b	10,8 ab	39,4	24,0 ab	25,2
KCl soja/milho	109,3 ab	10,6 b	40,4	22,5 b	26,9
Poli sistema	124,2 a	11,4 ab	41,4	24,0 ab	26,4
Poli soja/milho	115,5 ab	11,4 ab	41,1	24,4 a	25,2
Blend KCl+Poli sistema	115,5 ab	11,7 a	40,8	24,0 ab	26,7
Blend KCl+Poli soja/milho	123,2 a	11,6 ab	41,2	24,4 a	27,8

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade

Tabela 7 Exportação total de macro e micronutrientes pelos grãos de soja em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2020.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
----- kg ha ⁻¹ -----						
Controle	214,3 c	20,6 c	59,9 c	9,95 b	9,58 c	8,88 bc
KCl sistema	225,8 bc	20,8 bc	63,0 bc	10,6 b	9,90 bc	8,80 c
KCl soja/milho	246,3 ab	22,9 ab	66,4 abc	10,6 b	10,1 bc	9,68 abc
Poli sistema	243,9 ab	22,8 abc	66,4 abc	10,7 b	10,4 abc	10,6 a
Poli soja/milho	250,2 a	23,2 a	70,2 ab	11,2 ab	11,0 ab	9,58 abc
Blend KCl+Poli sistema	248,9 a	23,2 a	71,7 a	12,1 a	11,5 a	10,4 ab
Blend KCl+Poli soja/milho	236,2 abc	22,9 ab	67,6 abc	11,1 ab	10,7 abc	10,3 abc
----- g ha ⁻¹ -----						
	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
Controle	461 ab	41,9 c	148 c	87,8 c	97,0 b	
KCl sistema	409 b	42,1 bc	154 bc	93,4 bc	98,4 ab	
KCl soja/milho	456 ab	44,4 abc	169 abc	93,8 bc	112 ab	
Poli sistema	519 a	47,8 ab	173 ab	100 ab	111 ab	
Poli soja/milho	506 a	50,2 a	181 a	107 a	111 ab	
Blend KCl+Poli sistema	493 a	49,9 a	174 ab	102 ab	114 a	
Blend KCl+Poli soja/milho	499 a	46,9 abc	167 abc	99,0 ab	112 ab	

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Tabela 8 Número de fileiras por espiga, grãos por fileira, total de grãos, peso de 1000 grãos e produtividade de grãos de milho (cultivado em sucessão à soja) em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2020.

Tratamento	Fileiras	Grãos	Grãos total	PMG	Produtividade
	num / espiga	num / fileira	num / espiga	g	kg ha ⁻¹
Controle	16	32 b	519 b	311,2	8.102 b
KCl sistema	16	34 ab	571 ab	320,6	9.039 ab
KCl soja/milho	16	35 ab	571 ab	320,1	9.730 a
Poli sistema	16	35 ab	564 ab	337,3	9.609 ab
Poli soja/milho	16	34 ab	572 a	339,4	9.304 ab
Blend KCl+Poli sistema	16	36 a	585 a	331,4	9.723 a
Blend KCl+Poli soja/milho	16	36 a	596 a	337,1	10.052 a

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Tabela 9 Teor de macro e micronutrientes nos grãos de milho (cultivado após soja) em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2020.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g kg ⁻¹ -----						
Controle	12,4	2,68 ab	3,63 a	0,048 a	0,98	1,12
KCl sistema	13,6	2,52 b	3,35 ab	0,045 ab	0,90	1,06
KCl soja/milho	13,1	2,52 b	3,32 ab	0,042 ab	0,92	1,16
Poli sistema	13,5	2,72 ab	3,62 a	0,042 ab	0,96	1,01
Poli soja/milho	14,2	2,92 a	3,50 ab	0,035 b	1,00	1,13
Blend KCl+Poli sistema	12,8	2,60 ab	3,25 b	0,035 b	0,88	1,07
Blend KCl+Poli soja/milho	14,0	2,65 ab	3,38 ab	0,040 ab	0,96	1,04
----- mg kg ⁻¹ -----						
	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
Controle	24,9	2,25 a	23,8 a	4,35	6,78	
KCl sistema	25,4	1,95 ab	22,0 ab	4,20	7,20	
KCl soja/milho	29,2	2,10 ab	21,5 ab	4,05	6,38	
Poli sistema	30,9	1,80 b	21,7 ab	3,90	5,70	
Poli soja/milho	24,4	1,95 ab	20,6 b	4,20	6,25	
Blend KCl+Poli sistema	28,6	1,95 ab	20,4 b	3,90	6,05	
Blend KCl+Poli soja/milho	26,8	1,95 ab	22,1 ab	4,35	6,70	

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Tabela 10 Exportação total de macro e micronutrientes pelos grãos de milho (cultivado após soja) em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2020.

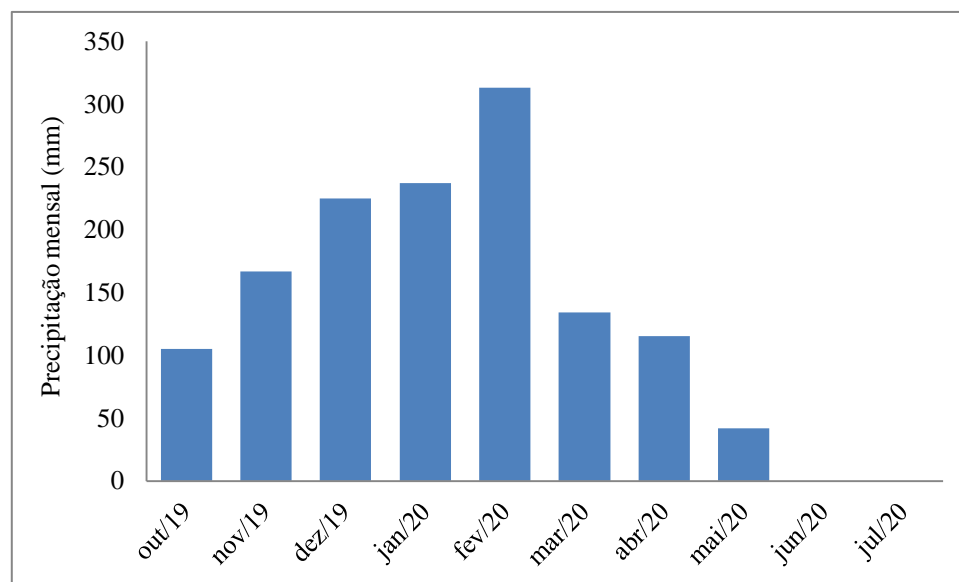
Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
Controle	87,5 b	19,4 b	25,8	0,32	7,02	7,85
KCl sistema	105,6 ab	19,9 ab	26,2	0,35	7,08	8,40
KCl soja/milho	111,0 a	21,4 ab	28,2	0,35	7,75	9,72
Poli sistema	111,7 a	23,2 ab	30,6	0,35	8,10	8,52
Poli soja/milho	114,5 a	23,8 a	28,4	0,28	8,15	9,25
Blend KCl+Poli sistema	108,2 a	21,7 ab	27,3	0,30	7,42	9,02
Blend KCl+Poli soja/milho	122,6 a	23,2 ab	29,5	0,32	8,40	9,12
	Fe	Cu	Zn	Mn	B	
	g ha ⁻¹					
Controle	171 b	16,1	165 b	31,0 b	46,4	
KCl sistema	199 ab	15,4	173 ab	33,2 ab	56,8	
KCl soja/milho	246 a	17,8	182 ab	34,5 ab	53,7	
Poli sistema	262 a	15,0	182 ab	32,7 ab	47,8	
Poli soja/milho	197 ab	15,8	167 ab	34,0 ab	50,5	
Blend KCl+Poli sistema	242 a	16,4	172 ab	32,8 ab	51,8	
Blend KCl+Poli soja/milho	234 ab	17,1	192 a	38,1 a	58,3	

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

Tabela 11 Produtividade de grãos do sistema soja–milho em função do manejo da adubação potássica. Rio Verde, GO. 2020.

Tratamento	Produtividade kg ha ⁻¹
Controle	12.387 b
KCl sistema	13.517 ab
KCl soja/milho	14.521 a
Poli sistema	14.417 a
Poli soja/milho	14.360 a
Blend KCl+Poli sistema	14.625 a
Blend KCl+Poli soja/milho	14.715 a

Médias seguidas por letras diferentes, na coluna e para cada variável, diferem entre si pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

**Figura 1** Distribuição mensal de chuvas durante o período de cultivo da soja e do milho em sucessão. Rio Verde, GO. Safra 2019/20.

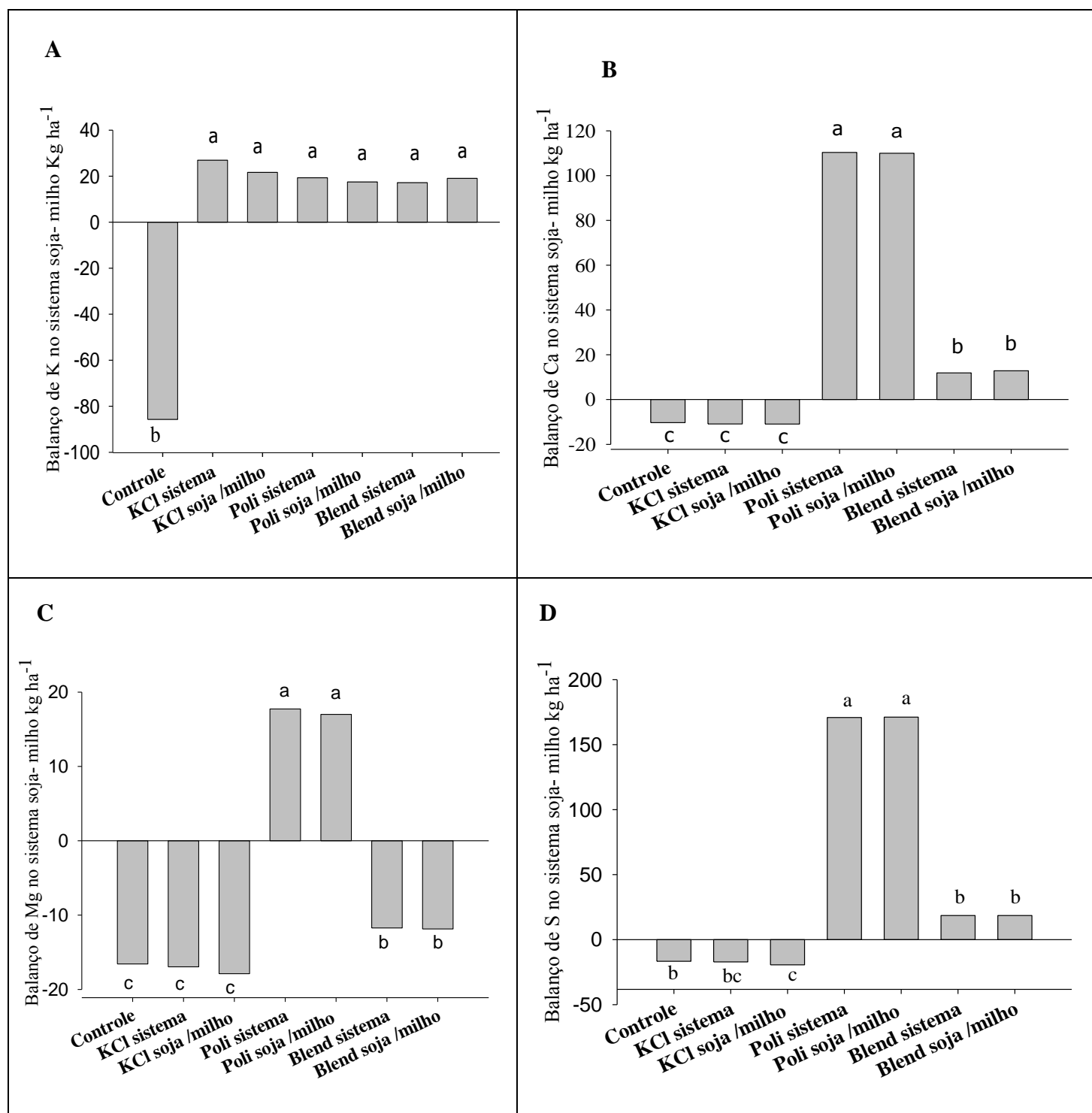


Figura 2 Balanço simplificado de potássio (K) (a), cálcio (Ca) (b), magnésio (Mg)(c) e enxofre (S) (d) no solo após o cultivo do sistema de sucessão soja-milho, em função do manejo da adubação potássica (fontes: polihalita, KCl ou blend; e época de aplicação: total antes soja (sistema) ou dividida entre soja e milho) .

*Balanço = Nutriente fornecido via adubação – Nutriente exportado grãos.

*Barras com letras diferentes (em cima ou abaixo) diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

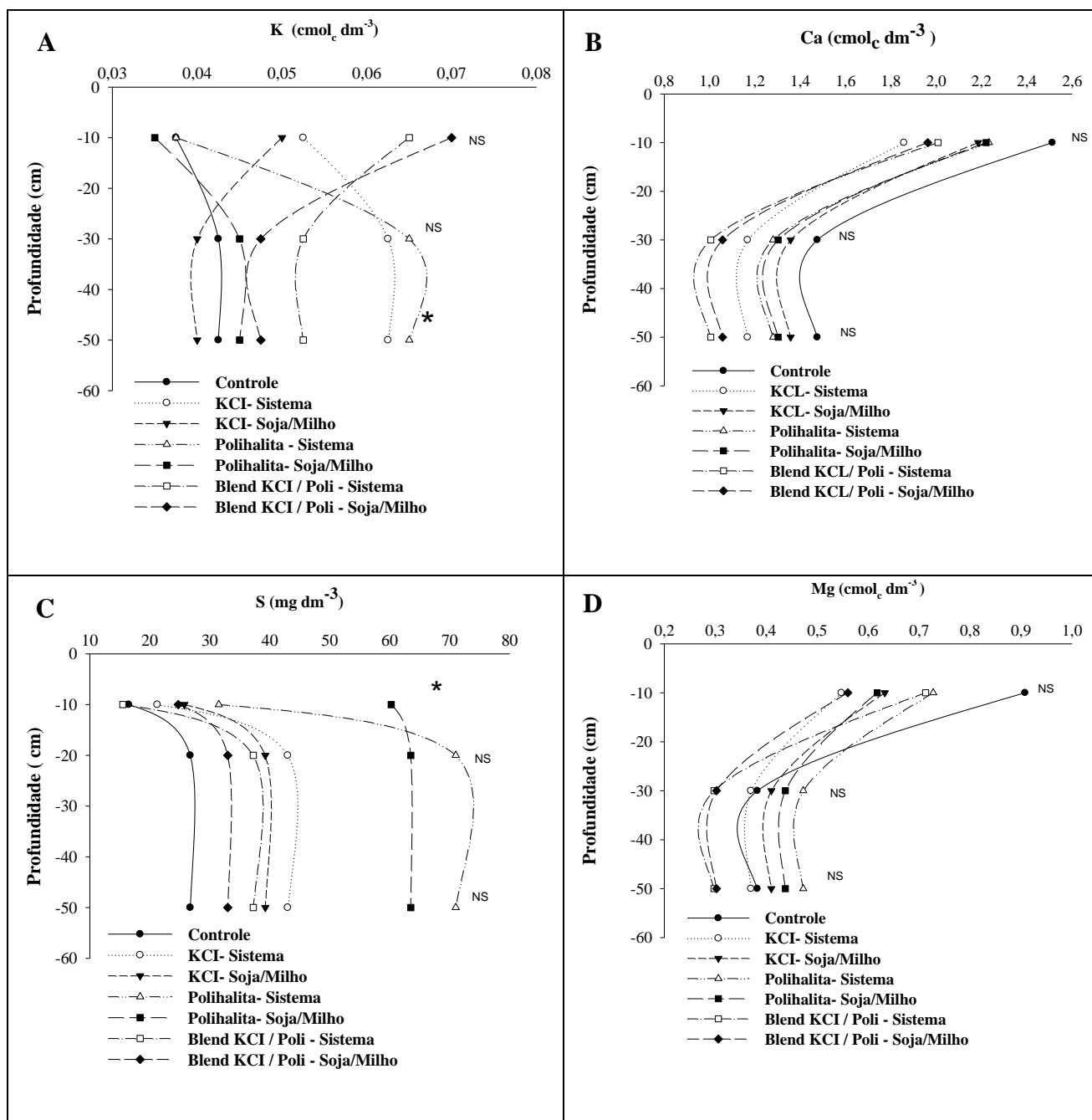


Figura 3 Teores de potássio (A), cálcio (B), enxofre (C) e magnésio (D) no solo após o cultivo do sistema de sucessão soja-milho, em função do manejo da adubação potássica (fontes: polihalita, KCl ou blend; e época de aplicação: total antes soja (sistema) ou dividida entre soja e milho).

*Barras na horizontal representam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias pelo teste TUKEY a 5% de probabilidade.

NS: diferença não significativa.