

## Uso do pó de rocha nefelina-sienito como fonte alternativa de potássio no cultivo da soja

*Use of nepheline-syenite rock dust as an alternative source of potassium in soybean cultivation*

**Yarlla Brunna Dourado Freire<sup>1</sup>, Isabela Silva Fonseca<sup>2</sup>, Renato Aparecido Santos<sup>3</sup>, Romano Roberto Valicheskí<sup>4</sup>, Silvia Sanielle Costa de Oliveira<sup>5</sup>, Sidinei Leandro Klockner Stürmer<sup>6</sup>**

**RESUMO:** O agronegócio brasileiro é de expressiva magnitude, porém dependente de insumos externos, com destaque para o potássio, 96% importado. No Brasil há vários tipos de rochas que podem ser utilizadas para esta finalidade, porém pouco exploradas. Objetivou-se avaliar a resposta da soja a fontes de potássio (pó de rocha nefelina-sienito e KCl) e doses de  $K_2O$  (0, 25, 50, 100, 200 e 400  $kg\cdot ha^{-1}$ ), quanto a aspectos biométricos, fisiológicos e produtivos. O trabalho foi desenvolvido na safra 2021/2022 na Fazenda Bonança, Montes Claros de Goiás-GO, em blocos ao acaso com quatro repetições. No estágio R1 determinou-se teor de clorofila nas folhas, diâmetro do caule, altura de plantas, e massa seca da parte aérea. Já na colheita foi determinado estande de plantas, umidade dos grãos, peso de mil sementes e produtividade. Independente da fonte de potássio utilizada, houve resposta da soja até 100  $kg\ ha^{-1}$  de  $K_2O$ . Menor teor de umidade dos grãos na colheita foi obtido com a aplicação de pó de rocha nefelina-sienito. Seu uso foi promissor como fonte de potássio para soja, uma vez que proporcionou produtividade similar a obtida com a aplicação de KCl, podendo vir a ser uma importante fonte alternativa de potássio para a região.

**Palavras-chave:** Rochagem. Teor de clorofila. Atributos biométricos da soja. Produtividade.

**ABSTRACT:** Brazilian agribusiness is of significant magnitude, but dependent on external inputs, with emphasis on potassium, 96% imported. In Brazil there are several types of rocks that can be used for this purpose, but little explored. The objective was to evaluate the response of soybean sources of potassium (nepheline-syenite rock powder and KCl) and  $K_2O$  doses (0, 25, 50, 100, 200 and 400  $kg\cdot ha^{-1}$ ) regarding biometric, physiological and productive aspects. The study was carried out in the 2021/2022 harvest at Fazenda Bonança, Montes Claros de Goiás-GO, in randomized blocks, with four replications. At the R1 stage, chlorophyll content in the leaves, stem diameter, plant height, and shoot dry mass were determined. At harvest, plant stand, grain moisture, weight of a thousand seeds and productivity were determined. Regardless of the potassium source used, soybeans responded to up to 100  $kg\cdot ha^{-1}$  of  $K_2O$ . Lower grain moisture content at harvest was obtained with the application of nepheline-syenite rock powder. Its use was promising as a source of potassium for soybean, since it provided productivity similar to that obtained with the application of KCl, and could become an important alternative source of potassium for the region.

**Keywords:** Rocking. Chlorophyll content. Biometric attributes of soybean. Productivity.

<sup>1</sup> Discente do Curso de Bacharelado em Agronomia, Laboratório de Solo, IF Goiano Campus Iporá, Iporá (GO), Brasil.

<sup>2</sup> Discente do Curso de Bacharelado em Agronomia, Laboratório de Solo, IF Goiano Campus Iporá, Iporá (GO), Brasil.

<sup>3</sup> Mestre em Bioenergia e Grãos pelo IF Goiano Campus Rio Verde, Rio Verde (GO), Brasil.

<sup>4</sup> Mestre e Doutor em Produção Vegetal (UENF). Docente permanente do Programa de Pós-graduação em Bioenergia e Grãos, IF Goiano Campus Rio Verde e IF Goiano Campus Iporá, Iporá (GO), Brasil.

<sup>5</sup> Mestre e Doutor. Docente permanente do Programa de Pós-graduação em Bioenergia e Grãos, IF Goiano Campus Rio Verde, IF Goiano Campus Iporá, Iporá (GO), Brasil.

<sup>6</sup> Doutor em Ciência do Solo (UFRGS). Docente efetivo do IF Catarinense, Campus Rio do Sul, Rio do Sul (SC), Brasil.

**Autor correspondente:** Yarlla Brunna Dourado Freire  
E-mail: yarllafreire99@gmail.com

Recebido em: 26/02/2023  
Aceito em: 27/06/2023

## INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil ocupa o posto de maior produtor e exportador mundial de soja, com produção na safra 2020/2021 de 135,912 milhões de toneladas do grão, 38,532 milhões de hectares cultivados e produtividade média aproximada de 3,5 t.ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2021). O país lidera também a exportação mundial do grão, sendo a soja uma das principais commodity brasileira e a cultura que mais cresceu nas últimas três décadas (Colussi *et al.*, 2016).

Para obtenção satisfatória de ganho na produtividade é necessário conhecer as exigências nutricionais de cada cultura. Para soja, após o nitrogênio, o potássio é o segundo macronutriente mais requerido pelas plantas. Assim para cada 1000 kg de grãos produzidos, 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<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca, Mg e S, com exportação de K, Ca, Mg e S entre 19-20; 2,6-2,8; 1,6-2,2 e 2,2-2,8 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Gonçalves Júnior *et al.*, 2010).

Segundo dados da Associação Nacional de Difusão de Adubos – ANDA, em 2021 o consumo nacional de fertilizantes foi de 45,85 milhões de toneladas, sendo 85% importados. Somadas as demandas de fertilizantes das culturas da soja, milho e cana-de-açúcar, juntas estas responderam por 73% do consumo anual. Dentre os principais fertilizantes importados está o cloreto de potássio, sendo 96% do volume utilizado oriundo de outros países. No ano de 2021, o Brasil importou cerca de 12,8 milhões de toneladas de cloreto de potássio (KCl), sendo 32,60% oriundo do Canadá, 28,2% da Rússia e 18,70% de Belarus, resultando em elevada dependência externa, fato que desfavorece a balança comercial nacional, e eleva custos de produção, pois no Brasil somente há uma mina para produção de KCl em operação, localizada em Rosário do Catete - SE, que atende somente 4% de toda demanda nacional (ANDA, 2021).

Dentre os adubos potássicos mais usuais o KCl apresenta elevada solubilidade, podendo em doses elevadas ser prejudicial a germinação de sementes, bem como no desenvolvimento de raízes em função do seu alto índice salino (Paula; Anjos; Freitas; Ribeiro, 2020). O potássio disponível no solo para as plantas está na forma catiônica K<sup>+</sup>, favorecendo sua perda por lixiviação (Duarte; Pereira; Korndörfer, 2013). Diante do exposto e da dependência brasileira de importações, a busca por fertilizantes alternativos como pó de rocha se torna cada vez mais

relevante, uma vez que o país possui grande diversidade geológica com potencial para esta finalidade (Duarte *et al.*, 2012).

A rochagem consiste na utilização de rocha moída para fertilização do solo, tendo liberação gradual de nutrientes, o que contribui para uma agricultura sustentável (Alovisi *et al.*, 2021), sendo sua eficiência também melhorada com a adição de microrganismos (Soumare; Sarri; Diédhiou, 2022). Para solos de climas tropicais pobres em nutrientes e com baixa capacidade de troca de cátions, o uso do pó de rocha torna-se uma alternativa interessante, pois em muitos casos, devido a formação de minerais de argila durante seu processo dissolução, proporciona aumento da CTC, fornecendo macro e micronutrientes para as plantas. No entanto esta técnica ainda não é amplamente utilizada por falta de conhecimento quanto a eficiência de sua aplicação, uma vez que vários tipos de rochas podem ser utilizados para este propósito, de incentivo da política a utilização de fontes alternativas, desinformação por parte dos produtores, falta de crédito para aquisição e transporte e regulamentação para a comercialização (Alovisi *et al.*, 2021).

Soumare *et al.* (2022), mencionam que os fertilizantes potássicos mais utilizados são o nitrato de potássio ( $KNO_3$ ), sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ), carbonato de potássio ( $K_2CO_3$ ) e o cloreto de potássio (KCl), dentre os quais o KCl, devido seu elevado poder salinizante no solo, deve ser usado com moderação. Além disso, seu elevado custos com transporte tem dificultado sua acessibilidade para maioria dos pequenos agricultores de baixa renda, tornando-se necessário o uso de fertilizantes provenientes de rochas silicáticas de baixo custo, porém a eficácia destes fertilizantes naturais, em muitas situações tem sido questionada devido sua baixa solubilidade, a qual pode ser melhorada com a inoculação de microrganismos e/ou fertilizantes orgânicos (Ramos *et al.*, 2021). Nas regiões tropicais, também devido as condições climáticas (altas temperaturas e elevada precipitação), associado a ação dos microrganismos e das plantas, a sua mineralização pode ser favorecida, o que torna vários tipos de rochas com adequadas para uso com fertilizantes ou corretivos de solo (Manning; Theodoro, 2020). Deste modo o uso da rocha nefelina-sienito como remineralizador do solo no Oeste de Goiás por ser um produto disponível na região, pode ser promissor devido seus menores custos, bem como por possibilitar reduzir demanda de fertilizantes solúveis e os impactos e gerados pelo seu consumo excessivo (Ramos *et al.*, 2021).

Em 2020 no município de Montes Claros de Goiás, começou a ser extraída a rocha nefelina-sienito, que após britagem e peneiramento, está sendo comercializada como fonte alternativa de potássio, sendo aplicada de forma corretiva visando elevar os teores de potássio

no solo, e também com adubação potássica de cobertura nas lavouras de soja da região. Apesar de seu uso como fonte de potássio já estar bem difundido, ainda há muitos questionamentos se o mesmo consegue atender toda a demanda das plantas em  $K^+$ , e principalmente, se sua aplicação pode substituir o uso de KCl na adubação de cobertura na soja.

Deste modo, este trabalho teve por objetivo avaliar os aspectos fisiológicos, biométricos e produtivos da soja utilizando duas fontes de potássio (pó de rocha nefelina-sienito e KCl) e seis doses de  $K_2O$  na adubação de cobertura, buscando gerar informações que venham orientar os produtores quanto a viabilidade do uso do pó de rocha nefelina-sienito como fonte alternativa de potássio frente ao KCl.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido durante a safra 2021/2022, na Fazenda Bonança, localizada na comunidade Sete Placas, município de Montes Claros de Goiás (GO), coordenadas  $15^{\circ}45'31''S$  e  $51^{\circ}38'13''W$ . com altitude de 385m. O clima do local, segundo a classificação de Koppen, é tropical com inverno seco (Aw), caracterizado pelas estações de seca e chuvosa bem definidas. O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho (Santos *et al.*, 2018), de textura argilosa. Conforme laudo da análise química realizada em amostras coletadas na camada de 0,0-0,20m de profundidade antes da implantação do experimento, apresentava pH ( $CaCl_2$ ) = 5,7; teores de  $Ca = 3,1 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ,  $Mg = 1,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ,  $Al^{3+} = 0,00 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; P disponível (Mehlich 1) =  $27,0 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$ ,  $K = 65,5 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$ ;  $H+Al = 1,8 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ ; matéria orgânica =  $23,0 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ ; saturação por bases de 70,0% e teores de totais de argila, areia e silte, de respectivamente 415, 512 e  $73 \text{ g}.\text{kg}^{-1}$ .

Trata-se de uma área aberta na safra 2018/2019 para a produção de soja sob sistema de integração Lavoura-Pecuária, associado ao sistema de Plantio Direto (ILP-PD). Assim a soja é cultivada na safra principal (de novembro a início de março), e logo após sua colheita, cultivam-se plantas de cobertura de forma consorciada (mix de milho ADR 300, *Crotalaria spectabilis* e *Brachiaria ruziziensis*) visando a produção de forragem para alimentação animal e palhada para proteção ao solo. Na composição deste mix utiliza-se  $3,0 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$  de semente de milho,  $6,0 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$  de *B. ruziziensis* e  $3,0 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$  de *C. spectabilis* sendo a semeadura feita com semeadora Picetti, na qual é acoplada uma grade leve para cobrir as sementes.

Em todas as safras desde a abertura da área, quando as plantas de cobertura estão no tamanho adequado para pastejo (geralmente no final de junho), os animais são inseridos no

sistema produtivo, sendo a taxa de lotação determinada em função da fitomassa seca total produzida previamente determinada, permanecendo em pastejo até que seja atingido valor próximo a 1,5 t.ha<sup>-1</sup> de palhada remanescente na superfície do solo.

Com o início do período chuvoso e a rebrota das espécies forrageiras, em 25/10/2021 realizou-se a dessecação da área aplicando-se potencializador de herbicida Hidrogen (0,05 L.ha<sup>-1</sup>) + herbicidas a base de Flumioxazina (0,1 L.ha<sup>-1</sup>) + Glifosato (3,5 L.ha<sup>-1</sup>) + Clorimurrometílico (0,08 L.ha<sup>-1</sup>) + inseticida a base de Lambda-cialotrina (0,1 L.ha<sup>-1</sup>).

Durante a implantação do experimento, os tratamentos foram distribuídos no delineamento em blocos ao acaso no esquema fatorial 2 x 6, sendo testado como adubação de cobertura na soja duas fontes de potássio (pó de rocha nefelina-sienito e cloreto de potássio) com respectivamente 11,0 e 58,0% de K<sub>2</sub>O e seis doses de K<sub>2</sub>O (0, 25, 50, 100, 200 e 400 kg por hectare), com quatro repetições, totalizando 48 parcelas experimentais.

A semeadura da soja (cultivar Bônus – TS Fortenza Duo) foi realizada em 05/11/2021, utilizando 350 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 02-33-10 + micronutrientes como adubação de base no sulco de semeadura. Foi utilizado o espaçamento de 0,50 m entrelinhas, distribuindo-se 230 mil sementes ha<sup>-1</sup>. Em cada parcela com 5,0 m de largura x 10,0 m de comprimento, foram cultivadas 10 linhas de soja. Quando as plantas se encontravam no estágio fenológico V2/V3, momento em que os produtores da região geralmente fazem a adubação potássica de cobertura, em 27/11/2021, foi distribuído manualmente a lanço em toda superfície da parcela experimental a quantidade de KCl e do pó de rocha referentes aos tratamentos testados. Independente da dose ou fonte potássica testada, foi realizada uma única aplicação e sem incorporação ao solo.

Simultaneamente ao plantio realizou-se a inoculação da soja seguindo o protocolo padrão da Fazenda Bonança, que consistiu na aplicação de Nitragin Optimize Power soja<sup>®</sup> - *Bradyrhizobium japonicum* (0,22 L.ha<sup>-1</sup>) + Cell Tech - *Bradyrhizobium japonicum* cepas SEMIA 5079 e 5080 (1,8 L.ha<sup>-1</sup>) + Biomax azul - *Azospirillum brasilense* (AbV5) (0,2 L.ha<sup>-1</sup>) + Bio imune – *Bacillus subtilis* (0,5 L.ha<sup>-1</sup>) + Quimifol-cálcio (1,0 L.ha<sup>-1</sup>), via sistema Micron diretamente no sulco de semeadura.

A rocha nefelina-sienito utilizada foi extraída na região em mina localizada as margens da rodovia BR 070, município de Montes Claros de Goiás-GO, distante 12km da Fazenda Bonança. Conforme laudo mineralógico realizado pelo Centro Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – CRTI, usando técnicas de difração e fluorescência de Raios X, possui 43,58% de microclíneo, 22,1% de ortoclásio, 24,13% de nefelina, 6,14% de augita, 0,73% de albita, 0,61% de analcima e 2,71% de minerais acessórios. Quanto a sua

composição química, apresentou 11,0% de K<sub>2</sub>O, 0,79% de CaO, 0,5% de MgO, 0,05% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,3% de MnO, 56,2% de SiO<sub>2</sub>, 22,6% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2,8% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,5% de Na<sub>2</sub>O e 0,4% de TiO<sub>2</sub>. Em relação a sua composição granulométrica, nas peneiras com malha de 50; 60; 80; 100; 150; 270 e 325 Mesh, ficou retido respectivamente 5,66; 11,7; 31,7; 23,02; 13,58; 13,21 e 0,75% de suas partículas.

Em relação aos tratamentos fitossanitários e fertilizantes foliares utilizados durante o ciclo da soja, foram feitas quatro pulverizações sendo a primeira em 08/12/2021 com herbicida à base de glifosato (2,00 L.ha<sup>-1</sup>) + fungicida à base de Propiconazol e Difenconazol (0,15 L.ha<sup>-1</sup>) + inseticidas à base de Lufenuron (0,15 L.ha<sup>-1</sup>) + Lambda-cialotrina (0,10 L.ha<sup>-1</sup>). A segunda em 28/12/2021, com fungicidas à base de Epoxiconazol, Fluzaproxada e Piraclostrobina (0,80 L.ha<sup>-1</sup>) + Mancozeb (1,50 Kg.ha<sup>-1</sup>) + inseticidas à base de Tiametoxan e Lamba-cialotrina (0,30 L.ha<sup>-1</sup>) + Metoxifenoazida (0,15 L.ha<sup>-1</sup>) + Metomil (1,00 L.ha<sup>-1</sup>). A terceira pulverização foi em 18/01/2022, com fungicidas a base de Azoxistrobina, Maconzeb e Tebuconazol (2,00 Kg.ha<sup>-1</sup>) + inseticidas à base de Tiametoxan e Lambda-cialotrina (0,30 L.ha<sup>-1</sup>) + Lufenuron (0,15 L.ha<sup>-1</sup>) + Clorpirifos (1,00 L.ha<sup>-1</sup>) + composto nutricional com Co e Mo (0,20 L.ha<sup>-1</sup>), e a quarta em 07/02/2022, com fungicida à base de Difenconazol e Ciproconazol (0,30 L.ha<sup>-1</sup>) + Clorotalonil (1,00 L.ha<sup>-1</sup>) + inseticidas à base de Acefato (1,00 Kg.ha<sup>-1</sup>) + Metoxifenoazida (0,15 L.ha<sup>-1</sup>) + Lambda-cialotrina (0,10 L.ha<sup>-1</sup>) + Acetamiprido e Piriproxifem (0,30 L.ha<sup>-1</sup>).

Quando a soja se encontrava no estágio R1, determinou-se nas plantas o índice SPAD com clorofilômetro Falker, modelo ClorofiLog – CFL 1030. Neste momento, também foi determinado com paquímetro digital o diâmetro do caule a 0,05 m de altura do solo e a altura das plantas com régua graduada e coletou-se duas plantas (cortadas rente ao solo), para determinação da fitomassa seca produzida pela parte aérea. Além disso, foi coletado amostras foliar do terço superior das plantas (20 folhas/parcela) para determinação do teor de K. Para análise das amostras, utilizou-se a digestão sulfúrica, sendo o teor de potássio determinado em fotômetro de chamas Tedesco (1995).

Por ocasião da plantas estarem em senescência, no início do estágio R8 (em 05/03/2022), efetuou-se a dessecação da área com desfolhante à base de dicloreto de paraquat (1,50 L.ha<sup>-1</sup>) + óleo mineral (0,30 L.ha<sup>-1</sup>). Uma semana após, coletou-se as amostras de soja para avaliar os componentes de produção e produtividade. Foram coletados dois pontos amostrais de 4,0 metros lineares por parcela experimental, totalizando 8,0 metros lineares em cada unidade experimental. As plantas foram cortadas rente ao solo, acondicionadas em sacos plásticos e transportadas até o Campus, onde se efetuou a trilha em um batedor de cereais

tratorizado, Modelo TR 791 H, marca Triton. Posteriormente determinou-se a massa total de grãos em balança de precisão, o teor de umidade dos grãos (com medidor portátil Lemaqui, modelo AL-102 ECOR) e o peso de mil sementes (Brasil, 2009). De posse destes dados, calculou-se a produtividade para cada parcela experimental, sendo a umidade final dos grãos corrigida para 13,0%. Neste momento também foi coletado amostras de solo na camada de 0,0-0,20m de profundidade para análise química, sendo estes dados por limitação de espaço, apresentados em outro trabalho.

Após tabulação dos dados, realizou-se a análise de variância utilizando-se o programa estatístico SASm-Agri para verificar se houve ou não efeitos dos tratamentos ao nível de 5% de probabilidade. Quando significativo, os tratamentos qualitativos foram comparados por meio do teste de Tukey ( $P < 0,05$ ), já os quantitativos, por modelos de regressão linear ou polinomial conforme cada caso.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O uso do pó de rocha nefelina-sienito com adubação potássica em cobertura na soja proporcionou resultados similares ao KCl (exceto para umidade dos grãos e o teor de K nas folhas), o que sugere que mesmo com baixa solubilidade, sua aplicação foi eficiente no fornecimento de  $K^+$  para as plantas. Em relação as doses de  $K_2O$  testadas, houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para os valores de índice SPAD referente a clorofila a, clorofila b, clorofila total, massa seca da parte aérea e, altamente significativo ( $P < 0,01$ ) para altura de plantas, diâmetro do caule, umidade dos grãos, peso de mil sementes e produtividade. Já para a interação dos fatores, não foi observado efeito significativo para nenhuma das variáveis analisadas.

Analisando o efeito das doses de  $K_2O$ , independentemente da fonte utilizada, aplicações de até  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  proporcionaram nas plantas incrementos no índice SPAD (Tabela 1). Para os valores referentes a clorofila a, clorofila b e clorofila total, mesmo com a aplicação de  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de  $K_2O$  não foi possível chegar ao índice SPAD máximo, no entanto, conforme modelos de regressão obtidos, a aplicação desta dose proporcionou valores de respectivamente 36,4; 17,09 e 53,57, sugerindo que uma adequada nutrição potássica é fundamental para uma maior quantidade de pigmentos fotossintetizantes nas folhas da soja. Apesar de não ter sido alcançado o valor máximo com a aplicação de  $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , os obtidos para o índice SPAD foram

superior ao observado por Yokoyama *et al.*, (2018) para a soja em função da cultura da entressafra e da adubação nitrogenada.

A despeito deste incremento no índice SPAD das folhas em função da quantidade de potássio aplicado, para os valores referentes a clorofila a e clorofila total não houve diferença significativa nesta variável com doses entre 50 a 400 kg.ha<sup>-1</sup>, e para clorofila B, com doses entre 25 a 400 kg.ha<sup>-1</sup>, indicando que o uso de doses elevadas (200 e 400 kg.ha<sup>-1</sup>), pouco influenciaram na quantidade de clorofila nas folhas da soja, tornando agronomicamente pouco interessante sua aplicação, uma vez que pode resultar em elevadas perdas de potássio por lixiviação (Duarte *et al.*, 2013). Além disso, ao se comparar o índice SPAD referente ao teor de clorofila A, clorofila B e clorofila total das plantas com a aplicação de 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, estes foram respectivamente apenas 3,85; 5,71 e 3,88% superior ao índice SPAD observado nas plantas que receberam 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, não justificando o seu uso.

**Tabela 1.** Efeito isolado das doses de K<sub>2</sub>O para o índice SPAD referente ao teor de clorofila a (Clor. a), clorofila b (Clor. b) e clorofila total (Clor t.) das plantas de soja determinados no estágio R1, bem como modelo de regressão polinomial de 2ª ordem e R<sup>2</sup> para cada variável analisada. Montes Claros de Goiás, 2022

Dose	Clor. a	Clor. b	Clor. t
0	34,14 b	14,91 b	49,05 b
25	34,13 b	15,48 ab	49,60 b
50	35,09 ab	15,78 ab	50,89 ab
100	35,06 ab	15,51 ab	50,59 ab
200	35,56 ab	16,43 a	51,99 ab
400	36,41 a	16,40 a	52,81 a
mod. de regressão	y = -1E-05x <sup>2</sup> + 0,0096x + 34,19 R <sup>2</sup> = 0,9191	y = -1E-05x <sup>2</sup> + 0,009x + 15,094 R <sup>2</sup> = 0,8502	y = -2E-05x <sup>2</sup> + 0,0187x + 49,29 R <sup>2</sup> = 0,929

OBS. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada variável (coluna) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5,0%.

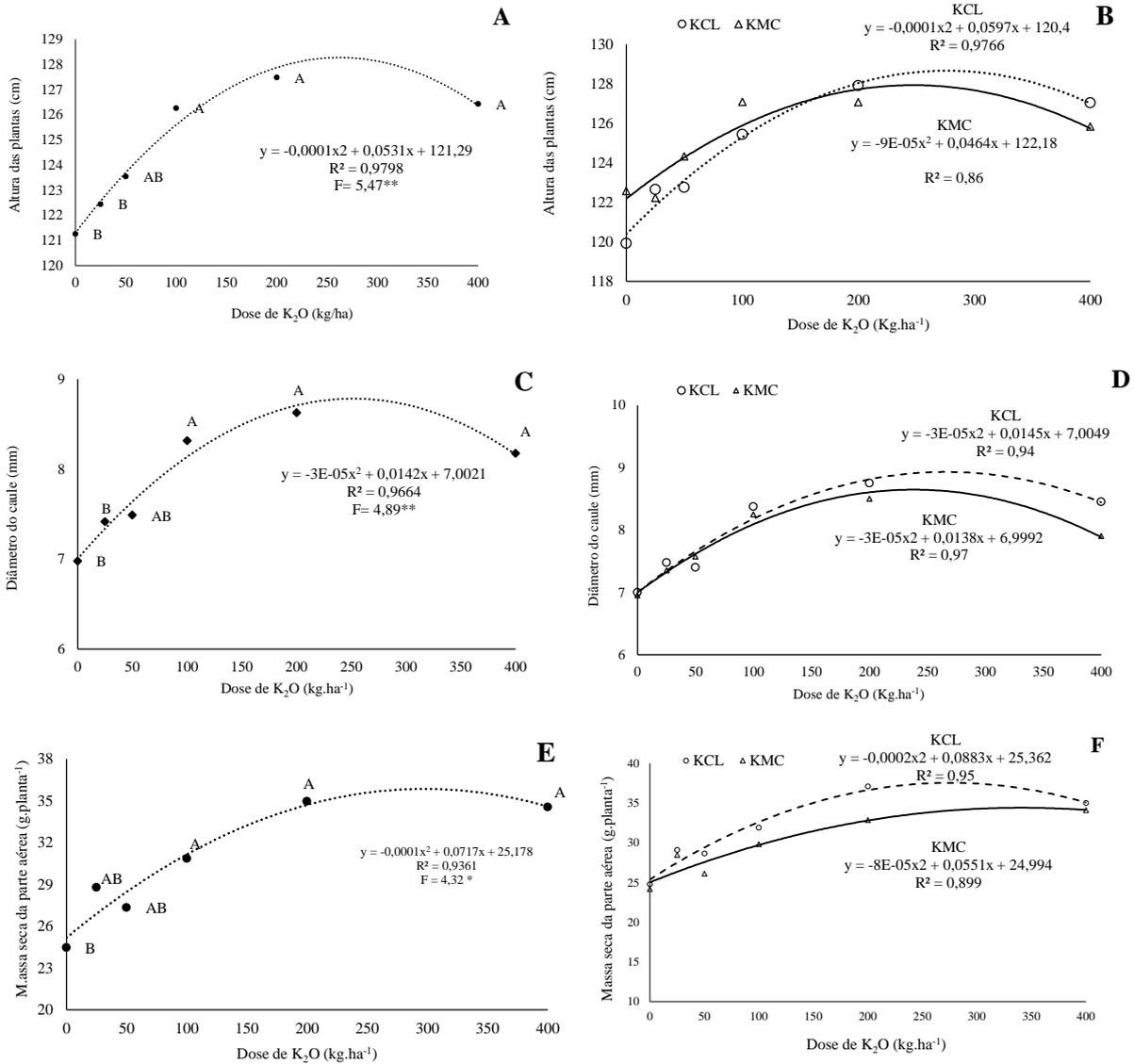
Desta forma para o índice SPAD, a ausência de efeito entre as fontes de potássio testadas nesta fase reprodutiva da soja sugere que a aplicação do pó de rocha, apesar de ser menos solúvel quando comparado ao KCl, está sendo eficiente em atender a demanda das plantas por K<sup>+</sup>. Para Viana *et al.* (2008), uma adequada disponibilidade de potássio para a soja estimula e otimiza o aproveitamento de N, elemento integrante de diversas enzimas que, associadas aos cloroplastos, participam da síntese das moléculas de clorofila, além de estar presente na estrutura dessas moléculas (Taiz *et al.*, 2017), fato que contribuiu para o incremento dos índices SPAD observados com o aumento das doses de potássio testadas. Por outro lado, Petter *et al.* (2012), relatam que não observaram incremento nos teores relativos de clorofila e fitomassa

seca nas plantas de soja em função das doses e épocas de aplicação de  $K^+$ , porém esta ausência de resposta foi associada aos elevados teores do elemento no solo.

Os dados deste estudo evidenciam uma correlação positiva entre a quantidade de potássio aplicada na cultura e o índice SPAD nas folhas da soja, remetendo a necessidade do adequado fornecimento deste elemento, principalmente na fase vegetativa e início da fase reprodutiva, em que há maior demanda das plantas por  $K^+$  (Sedyama, 2016).

As doses de potássio também influenciaram a altura das plantas (Figura 1A), o diâmetro de caule (Figura 1C) e massa seca da parte aérea (Figura 1E), resultando em incremento linear nestas variáveis como a aplicação de doses de até  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ , ocorrendo uma estabilização com doses mais elevadas ( $200$  e  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Este comportamento indica que em condições de solo e clima similares as que o experimento foi desenvolvido, doses de  $K_2O$  próximas a  $100 \text{ kg}$  por hectare são as mais adequadas, evitando-se elevar de forma substancial os custos de produção, e principalmente perdas deste elemento por lixiviação, uma vez que no decorrer do período da safra (de novembro de 2021 a março de 2022), na Fazenda Bonança houve uma precipitação acumulada de  $1.912\text{mm}$ , fato que pode ter ocasionado acentuadas perdas de  $K^+$  nas parcelas onde se aplicou  $200$  e  $400 \text{ kg.ha}^{-1}$  de  $K_2O$  usando  $KCl$ . Conforme modelos de regressão obtidos, o valor máximo para altura das plantas ( $128,33 \text{ cm}$ ), diâmetro de caule ( $8,68 \text{ mm}$ ) e massa seca da parte aérea ( $35,88 \text{ g.planta}^{-1}$ ) são obtidos com a aplicação de respectivamente  $260$ ,  $230$  e  $294 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ .



**Figura 1.** Efeito isolado das doses de K<sub>2</sub>O para altura das plantas (A), diâmetro de caule (C) e massa seca da parte aérea por planta (E) biométricas da soja e comportamento destas variáveis com o uso de Cloreto de Potássio e Pó de rocha — KMC (B, D e F). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5,0%. Montes Claros de Goiás, 2022

A respeito das quantidades elevadas de K<sub>2</sub>O para se atingir o valor máximo para estas variáveis, o uso destas doses não são justificáveis agronomicamente, pois ao se comparar seus pontos de máximo com o os obtidos com a aplicação de 100 kg/ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, as mesmas foram respectivamente apenas 1,62, 4,45 e 16,3% superior, corroborando com os dados apresentados por Petter *et al.* (2012), que verificaram incremento na altura das plantas até a dose de 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

O potássio (K) é o segundo elemento mais absorvido pelas plantas, porém, pelo elevado grau de intemperização dos solos da região do Cerrado, seu teor no solo em muitas situações é

insuficiente para suprir as quantidades extraídas pelas culturas e, portanto, torna-se necessário sua reposição ao solo via adubação. Fatores como o manejo da adubação potássica (fonte, doses, métodos e épocas de aplicação) são cruciais para melhorar a produtividade das culturas (Oliveira Junior *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2021). Deste modo, a ausência de efeito significativo entre as fontes de potássio sugere que a aplicação de pó de rocha nefelina-sienito em cobertura na soja está sendo promissor, pois devido sua composição química e menor solubilidade, no decorrer do ciclo da cultura possivelmente houve um fornecimento menos intenso deste elemento para solução do solo, porém contínuo, reduzindo suas perdas por lixiviação uma vez que foi um ano com elevada precipitação pluviométrica, bem como de outros macro e micronutrientes, pois em sua composição química, além de 11,0% de  $K_2O$ , há 0,79% de  $CaO$ , 0,5% de  $MgO$ , 0,05% de  $P_2O_5$ , 0,3% de  $MnO$ , 56,2% de  $SiO_2$ , 22,6% de  $Al_2O_3$ , 2,8% de  $Fe_2O_3$ , 0,5% de  $Na_2O$  e 0,4% de  $TiO_2$

Considerando os padrões de resposta das variáveis apresentadas nas Figuras 1B, 1D e 1F), independente da dose utilizada, as fontes de potássio apresentaram comportamento similar, sugerindo que a aplicação do pó de rocha nefelina-sienito em cobertura, associado ao teor inicial de  $K^+$  disponível no solo, está sendo suficiente para atender a demanda de  $K^+$  pela soja. Frente a situações de escassez e elevado custo de aquisição do  $KCl$ , este resultado torna atraente sua aplicação, principalmente para produtores próximos ao local de extração, os quais possuem baixo custo com frete, uma vez que na safra 2021/2022 na região a tonelada de  $KCl$  chegou a ser comercializada por R\$ 6.300,00, enquanto que o pó de rocha nefelina-sienito estava sendo comercializado por R\$ 315,00 a tonelada. No entanto, apesar destes resultados promissores com o seu uso, torna-se relevante a realização de trabalhos voltados para avaliar seu efeito residual no solo no decorrer dos cultivos, pois mesmo com aplicação da dose mais elevada de  $K_2O$ , que equivale a  $3,64 t \cdot ha^{-1}$  de pó de rocha, o teor foliar de  $K$  na soja em R1 foi de apenas  $18,49 g \cdot kg^{-1}$  (Tabela 2), indicando sua baixa solubilidade e lenta liberação de potássio para as plantas.

Em relação ao teor de potássio nas folhas da soja em R1 e a umidade dos grãos no momento da colheita, o uso de  $KCl$  proporcionou média geral estatisticamente superior a observada nas plantas que receberam a aplicação do pó de rocha nefelina-sienito (Tabela 2). Este resultado, pode estar associado a maior disponibilidade de  $K^+$  para as plantas com a aplicação de  $KCl$ , pois mesmo nas parcelas onde se utilizou doses elevadas de  $K_2O$  (100, 200 e  $400 Kg ha^{-1}$ ) fato que pode ter contribuído para maiores perdas de potássio por lixiviação, uma vez que este fertilizante é altamente solúvel, esta fonte associado a estas doses elevadas

garantiu melhor suprimento de potássio, prolongando a atividade fotossintética nas plantas, proporcionando a manutenção de hastes verdes e retenção das folhas por um maior tempo.

Nesta condição, mesmo realizando-se a dessecação da lavoura, as plantas em que se aplicou as maiores doses de KCl necessitaram de um período de tempo maior para reduzir a umidade dos grãos quando comparado com as que receberam a aplicação do pó de rocha, pois devido sua baixa solubilidade, resultou em menor teor de potássio nas folhas da soja, e conseqüentemente, em um processo de senescência mais acelerado das folhas nas plantas (observação visual a campo), contribuindo assim para reduzir de forma mais rápida a umidade dos grãos, considerando o momento da dessecação até a colheita das parcelas experimentais.

**Tabela 2.** Efeito isolado das fontes de potássio (KCl e pó de rocha KMC) e das doses de K<sub>2</sub>O para o teor de potássio nas folhas no estágio R1 e umidade dos grãos (U.G.) no momento da colheita da soja. Montes Claros de Goiás, 2022

Dose de K <sub>2</sub> O	KCl	KMC	Média	KCl	KMC	Média
	-----U.G. (%)-----			-----Teor de K na folha (g.kg <sup>-1</sup> )----		
0	14,7	14,2	14,43 b	13,07	13,71	13,39 c
25	15,5	15,1	15,29 b	14,66	12,75	13,71 bc
50	15,6	14,0	14,79 b	15,94	14,66	15,30 bc
100	18,0	15,3	16,61 a	17,53	15,30	16,42 b
200	18,4	15,2	16,81 a	19,44	16,26	17,85 ab
400	17,7	16,3	16,98 a	21,04	18,49	19,76 a
<b>Média</b>	16,65 A	14,99 B		16,95 A	15,19 B	
<b>Modelo de regressão</b>	y = -3E-05x <sup>2</sup> + 0,0191x + 14,503 R <sup>2</sup> = 0,8749			y = -4E-05x <sup>2</sup> + 0,0315x + 13,395 R <sup>2</sup> = 0,9824		

Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5,0%

Quanto a produtividade da soja, embora maior média geral tenha sido obtida com a utilização do KCl, não houve diferença estatística quando comparada com a produtividade média das plantas adubadas com o pó de rocha (Tabela 3). Nesta condição, considerando o teor inicial de potássio no solo na área experimental (65,5 mg.dm<sup>-3</sup>) e a adubação de realizada no momento do plantio (350 kg.ha<sup>-1</sup> do formulado 02-30-10), mesmo o pó de rocha nefelina-sienito apresentando baixa solubilidade e lenta mineralização, seu uso como fonte de potássio está sendo promissor no cultivo da soja, uma vez que proporcionou desenvolvimento das plantas e produtividade similar a obtida com a aplicação de KCl. Cabe salientar que um fato que contribuiu para esta ausência de resposta entre as fontes de potássio testadas foi a elevada precipitação pluviométrica durando o ciclo da soja (1.912 mm), que pode ter favorecido para maiores perdas de K<sup>+</sup> por lixiviação onde foi aplicado KCl e proporcionando condições mais favoráveis para uma melhor dissolução do pó de rocha nefelina-sienito.

Medeiros *et al.* (2021), utilizando como fonte de  $K^+$  pó de rocha de dacito aplicado em diferentes períodos antecedendo a semeadura da soja, observaram que sua aplicação de forma antecipada, bem como no momento do plantio resultou no incremento no número de vagens por planta, vagens com 3 grãos, peso de mil sementes e na produtividade, concluindo que seu uso como remineralizador do solo é promissor visando a substituição de fontes convencionais de nutrientes e redução do uso de fertilizantes de alta solubilidade, porém que necessita de mais estudos para avaliar seus efeitos a longo prazo, bem como quanto à viabilidade econômica.

Ao se considerar a produtividade em função das doses utilizadas, maior massa de grãos foi obtida com a aplicação das doses de 100, 200 e 400  $kg\ ha^{-1}$  de  $K_2O$ , as quais não diferiram entre si, porém foram estatisticamente superiores a produtividade observada para os tratamentos testemunha, 25 e 50  $kg\ ha^{-1}$ . Comparando-se a produtividade obtida nestes tratamentos, com a das parcelas em que se aplicou 100  $kg\ ha^{-1}$  de  $K_2O$ , esta foi respectivamente 15,9; 11,1 e 8,0% superior. Já para o peso de mil sementes (PMS), a resposta à aplicação de  $K_2O$  foi menos expressiva, uma vez que não se observou diferença significativa entre as doses testadas (25 a 400  $kg\ ha^{-1}$ ), porém quando comparado com a testemunha, a aplicação de doses de 100  $kg\ ha^{-1}$  ou mais proporcionou maior PMS.

Esper Neto *et al.* (2018), testando doses e épocas de aplicação de potássio na soja relatam que com maior disponibilidade de  $K^+$  as plantas exploram melhor seu ambiente. Segundo estes autores, as mudanças observadas na disponibilidade de  $K^+$  do solo pode ser usado para prever a produtividade, uma vez que as variáveis biométricas e a produção de grãos foram positivamente e significativamente correlacionados com doses de  $K_2O$  de até 160  $kg\ ha^{-1}$ , sendo estas diferenças mais evidentes em anos de baixa precipitação pluviométrica. Respostas positivas às doses de potássio também são relatadas por Antigo *et al.* (2020), os quais constataram que a adubação potássica afeta de forma diferenciada a altura da planta, peso de 1000 grãos, produção de matéria seca pela parte aérea e a produtividade.

**Tabela 3.** Efeito isolado das fontes de potássio (KCl e pó de rocha KMC) na produtividade e no peso de mil sementes (PMG) da soja cultivar Bonus. Montes Claros de Goiás, 2022

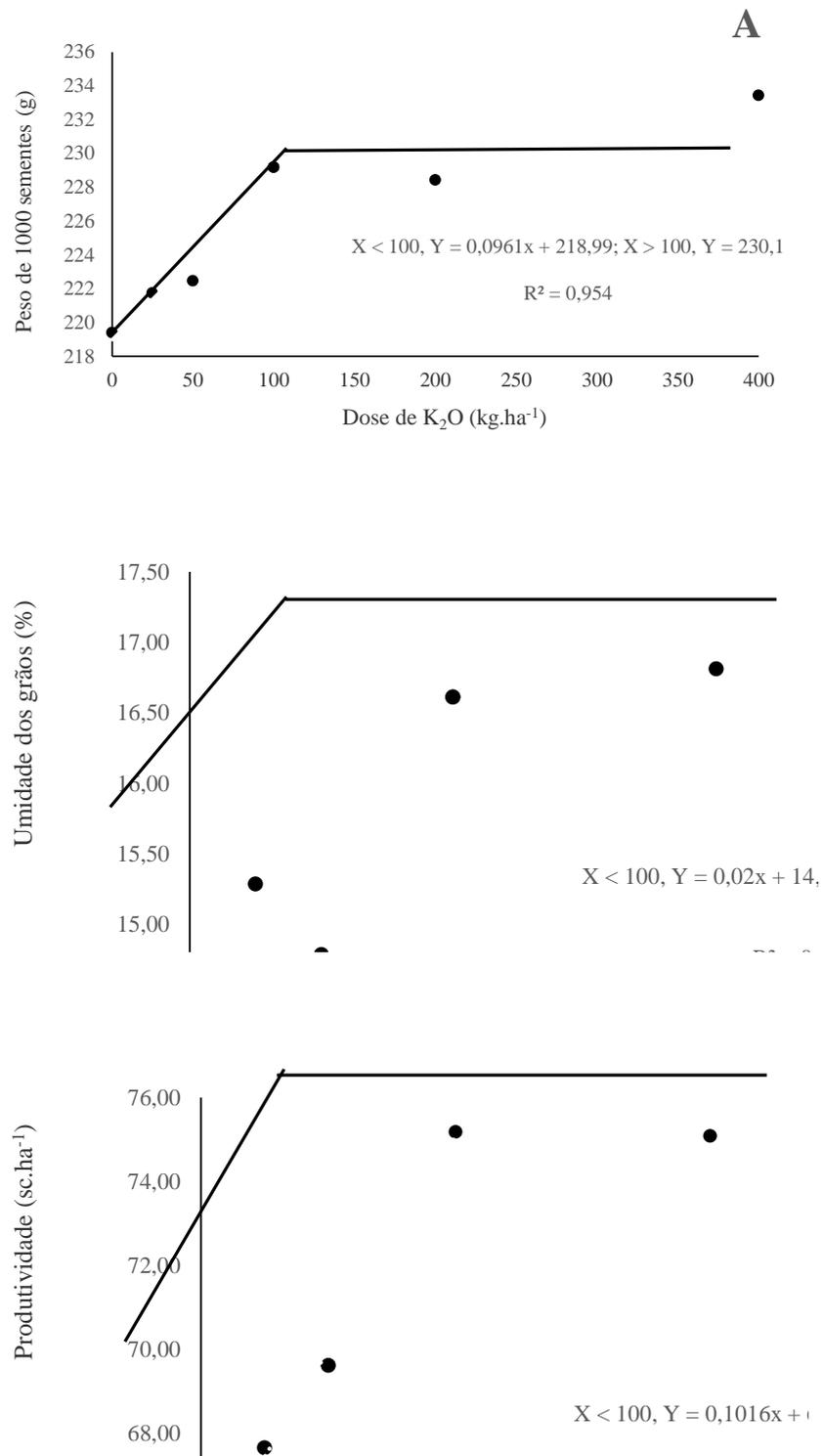
Dose K <sub>2</sub> O (kg.ha <sup>-1</sup> )	KCl	KMC	Média	KCl	KMC	Média
	---- Produtividade (sc.ha <sup>-1</sup> )----			-----PMS (g)-----		
0	65,8	64,0	64,9 c	216,2	222,6	219,4 b
25	67,6	67,7	67,7 bc	223,4	220,1	221,7 ab
50	69,1	70,2	69,6 b	223,1	221,8	222,5 ab
100	76,5	73,9	75,2 a	231,1	227,3	229,2 a
200	77,4	72,8	75,2 a	234,7	222,1	228,4 a
400	75,4	73,8	74,6 a	234,3	232,6	233,4 a
<b>Média</b>	71,9	70,4		227,1	224,5	
<b>Mod. de regressão</b>	y = -0,0002x <sup>2</sup> + 0,0903x + 65,619 R <sup>2</sup> = 0,9146			y = -9E-05x <sup>2</sup> + 0,0707x + 220,01 R <sup>2</sup> = 0,9009		

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5,0%

Para a produtividade, bem como para umidade dos grãos no momento da colheita e o peso de 1000 sementes, foi observado uma resposta quadrática em função do incremento das doses de K<sub>2</sub>O utilizadas. Conforme modelos de regressão (Tabela 2 e 3), os valores máximos calculados para PMS é de 233,8 g obtido com a aplicação de 392 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e de 17,5% para a umidade dos grãos obtido com a aplicação de 315 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Já para a produtividade máxima é de 75,6 sc.ha<sup>-1</sup>, obtido com a aplicação de 220 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Para estas três variáveis, a despeito do modelo polinomial ser adequado quando se visa identificar qual será a resposta máxima da soja em relação a adubação potássica, observa-se que há incremento linear com a aplicação de até 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, estabilizando a partir desta dose (Figura 2). Conforme modelos obtidos para doses de até 100 K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, independente da fonte de potássio, cada incremento de 10 kg de K<sub>2</sub>O aplicado em cobertura resultou no aumento de 0,865g no peso de mil sementes (Figura 2A), 0,18% na umidade dos grãos (Figura 2B) e de 0,944 sacas.ha<sup>-1</sup> na produtividade (Figura 2C).

Deste modo, considerando a escassez de fertilizantes potássicos e o seu elevado custo de aquisição, para a soja em condições de clima e solo similares as que o experimento foi desenvolvido, aplicar doses superiores a 100 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O em cobertura torna-se agronomicamente inviável, uma vez que não resultará em melhores condições para as plantas se desenvolverem, tampouco em incremento na produtividade que justifique sua aplicação.



**Figura 2.** Peso de mil sementes, umidade dos grãos no momento da colheita e produtividade da soja em função das doses de K<sub>2</sub>O testadas. Montes Claros de Goiás, 2022.

Além disso, ao aplicar doses elevadas de K<sub>2</sub>O utilizando fontes prontamente solúveis como KCl, faz com que grande parte deste elemento permaneça na solução do solo logo após sua aplicação, proporcionando maiores perdas de K<sup>+</sup> pelo processo de lixiviação quando comparado com fontes menos solúveis como o pó de rocha nefelina-sienito, principalmente em

anos de elevada precipitação pluviométrica como que ocorreu na região na safra 2021/2022. Duarte et al. (2013) ao avaliar a lixiviação de potássio em lisímetro usando como fontes de potássio KCl granulado, termopotássio farelado fino e termopotássio granulado) em dois tipos de solo (Neossolo e Latossolo), observaram que independentemente do tipo de solo, a lixiviação do potássio foi maior quando a fonte utilizada foi o KCl, o qual promoveu elevada concentração de  $K^+$  nas camadas mais profundas do solo, por outro lado, maior enriquecimento de potássio na camada de 0,0-0,20 m de profundidade do solo foi obtida com uso do termopotássio farelado devido sua dissolução mais lenta, resultando assim em menor lixiviação quando comparado com o KCl.

Com os dados deste trabalho e fazendo uma breve análise da viabilidade econômica somente do uso destas fontes potássicas como adubação de cobertura, considerando o preço do KCl (R\$ 6.300,00) e do pó de rocha (R\$ 315,00) por tonelada na época em que foi desenvolvido o experimento + o custo com o frete e distribuição na lavoura, a aplicação de 100 kg de  $K_2O$ .ha<sup>-1</sup> resultou em um custo total de R\$ 1.130,00 por hectare quando utilizado cloreto de potássio e de R\$ 427,00 quando utilizado pó de rocha nefelina-sienito. Assim com a produtividade obtida para esta dose de  $K_2O$ , para o KCl houve um custo de R\$ 14,77 por saca de soja produzida, enquanto que para o pó rocha nefelina-sienito, este foi de R\$ 5,77 com a adubação potássica de cobertura. Em relação a receita bruta total, levando em consideração a cotação da soja na região em março/2022 (R\$ 186,00), ao se aplicar KCl, esta foi de R\$ 14.229,00, enquanto com o uso do pó de rocha a receita bruta foi de R\$ 13.745,40. Deste modo, subtraindo da receita bruta o valor o custo de aquisição + frete + distribuição destas fontes potássicas, com a aplicação do KCl houve uma receita de R\$ 13.099,00 e com o pó de rocha de R\$ 13.318,00.

Estes resultados sugerem que o uso do pó de rocha foi economicamente viável no ano safra e nas condições em que o experimento foi desenvolvido, no entanto cabe salientar que é necessário a realização de mais estudos com o uso desta fonte de potássio, uma vez que foi um ano atípico devido a elevada precipitação pluviométrica, sendo necessário avaliar também seu efeito residual nos atributos químicos do solo no decorrer de vários cultivos.

#### **4 CONCLUSÕES**

O uso de pó de rocha nefelina-sienito como adubação de cobertura na soja proporcionou índice SPAD nas folhas, desenvolvimento das plantas, peso de mil sementes e produtividade semelhantes as obtidas com a aplicação do KCl, sendo economicamente atrativa sua utilização,

no entanto, torna-se necessário cautela no seu uso e que sejam desenvolvidos mais estudos a longo prazo para verificar seu efeito residual no solo.

Pelos benefícios que ocasionam ao desenvolvimento das plantas, e principalmente na produtividade da soja, tanto para o KCl quanto para o pó de rocha nefelina-sienito, em condições similares a que foi desenvolvido o experimento, doses de até 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O foram as mais promissoras, proporcionando maior produção de grãos por kg de potássio aplicado.

## 5 AGRADECIMENTOS

A Fazenda Bonança de Montes Claros de Goiás e a EDEM – Empresa de Desenvolvimento em Mineração no fornecimento de insumos para condução do experimento a campo e IF Goiano, na disponibilização do transporte, laboratórios, reagentes e equipamentos necessários para obtenção dos dados.

## REFERÊNCIAS

ALOVISI, A.M.T.; TEBAR, M.M.; VILLALBA, L.A.; MUGLIA, G.R.P.; SOARES, M.S.P.; TOKURA, L.K.; CASSOL, C.J.; SILVA, R.S.; TOKURA, W.I.; GNING, A.; KAI, P.M. Uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v.10, n.6, e33710615599, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15599>

ANDA – Associação Nacional de Difusão de Adubos. Principais indicadores do setor de fertilizantes. Disponível em: [https://anda.org.br/wp-content/uploads/2022/03/Principais\\_Indicadores\\_2021.pdf](https://anda.org.br/wp-content/uploads/2022/03/Principais_Indicadores_2021.pdf) . Acesso em: 20/03/2022.

ANTIGO, V.; MATIAS, R.F.; BIDO, G.S.; FELIPE, D.F.; MANNIGEL, A.R. Avaliação de parâmetros agronômicos da cultura soja em resposta a diferentes doses de adubação potássica. **Enciclopédia Biosfera**. v.17 n.32; p.113-121, 2020. DOI: 10.18677/EnciBio\_2020B9

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.

COLUSSI, J.; WEISS, C.R.; SOUZA, A.R.L.; OLIVEIRA, L. O agronegócio da soja: Uma análise da rentabilidade do cultivo da soja no Brasil. **Revista Espacios**, v.37, n.16, 2016. <https://www.revistaespacios.com/a16v37n16/16371623.html>. 25 Set. 2022.

CONAB – Companhia nacional de abastecimento de abastecimento. Acompanhamento safra brasileira de grãos, v.8– Safra 2020/21, n.12 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-97, 2021.

DUARTE, I.N.; SOUSA, R.T.X.; KORDORFER, G.H.; FONTOURA, P.R.; SOARES, R.A.B. Biotita: fonte de potássio para agricultura. **Bioscience Journal**, v. 28, Supplement 1, p. 98-103, 2012. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13241>. Acesso em 25 Set. 2022.

DUARTE, V.N.; PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 43, n. 2, p. 195-200, 2013. e-ISSN 1983-4063.

ESPER, N.M.; MINATO, E.A.; BENSON, M.R.; INOUÊ, T.T.; BATISTA, M.A. Biometric responses of soybean to different potassium fertilization management practices in years with high and low precipitation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2018; 42:e0170305 <http://doi.org/10.1590/18069657rbc20170305>.

GONÇALVES JUNIOR, A.C.; NACKE, H.; MARENGONI, N.G.; CARVALHO, E.A.; COELHO, G.F. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fosforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.3, p.660-666, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000300019>

MANNING, D.A., THEODORO, S.H. Enabling food security through use of local rocks and minerals. *The Extractive Industries and Society*. v.7, n.2, p. 480–487, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.002>

MEDEIROS, D.S.; SANCHOTENE, D.M.; RAMOS, C.G.; OLIVEIRA, L.F.S.; SAMPAIO, C.H.; KAUTZAMANN, R.M. Soybean crops cultivated with dacite rock by-product: A proof of a cleaner technology to soil remineralization. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v.9, n.6, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106742>.

OLIVEIRA JUNIOR, A.O., OLIVEIRA, F.A., CASTRO, C., JORDÃO, L.T. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. *Informações agronômicas* n.143, 2013. [https://www.researchgate.net/publication/283055647\\_Adubacao\\_potassica\\_da\\_soja\\_cuidados\\_no\\_balanco\\_de\\_nutrientes/link/562801c608ae04c2aead8255/download](https://www.researchgate.net/publication/283055647_Adubacao_potassica_da_soja_cuidados_no_balanco_de_nutrientes/link/562801c608ae04c2aead8255/download). 21 Set. 2022.

PAULA, R.H.R.; ANJOS, D.N.; FREITAS, P.H.G.; RIBEIRO, J.S. Efeito da salinidade do cloreto de potássio na emergência e no crescimento inicial de plântulas de soja. **Revista PesquisAgro**, v.3, n.1. 2020. <http://dx.doi.org/10.33912/pagro.v3i1.664>

PEREIRA, R.M.; SILVA, H.B.R.; OLIVEIRA, H.M.S.; RIBEIRO, D.O.; TOMAZ, R.G.; SILVA, G.P.; SILVA, A.J. Comparação de cultivares de soja em resposta a aplicação de diferentes doses de potássio. **Brazilian Journal of Development**. ISSN 2525-8761. Vol 7, N 1, 2021. DOI:10.34117/bjdv7n1-279

PETTER, F.A.; SILVA, J.A.; PACHECO, L.P.; ALMEIDA, F.A.; ALCÂNTERA NETO, F.; ALAN M.L., ZUFFO, A.M., LIMA, L.B. Desempenho agronômico da soja a doses e épocas de aplicação de potássio no cerrado piauiense. **Revista Ciências Agrárias**, v.55, n.3, p.190-196 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2012.057>

RAMOS, C.G.; HOWER, J.C.; BLANCO, E.; OLIVEIRA, M.L.S.; THEODORO, S.H. Possibilities of using silicate rock powder: an overview. **Geoscience Frontiers**. v.4, n.2, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101185>

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.Á.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SEDIYAMA, T. Produtividade da soja. Londrina: Macenas, 2016. 72p. ISBN: 9788589687188

SOUMARE, A.; SARRL, D.; DIÉDHIU, A.G. Potassium sources, microorganisms, and plant nutrition - challenges and future research directions: A review. **Pedosphere**. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.025>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p. ISBN: 9788582713662

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise do solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos – UFRGS, 1995.

VIANA, M.C.M.; FREIRE, F.M.; GONÇALVES, L.D.; MASCARENHAS, M.H.T.; LARA, J.F.R.; ANDRADE, C.L.T.; PURCINO, H.M.A. Índice de clorofila na folha de alface submetida a diferentes doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 86-90, 2008.

YOKOYAMA, A.H.; RIBEIRO, R.H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; ZUCARELI, C. Índices de área foliar e SPAD da soja em função de culturas de entressafra e nitrogênio e sua relação com a produtividade. **Revista de Ciências Agrárias** (Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal), v.1, n.4, p.953-962, 2018. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA18153>