



Doses and potassium partitioning methods in soybean production components in an Amazonian savanna

Doses e modos de parcelamento de potássio nos componentes de produção da soja na savana amazônica

Sandra Cátia Pereira Uchôa¹, Ronaldo Jaques Pain², José Maria Arcanjo Alves³, Deyse Cristina Oliveira Silva^{4*}, Valdinar Ferreira Melo¹, Samuel Silva⁴

Abstract: After nitrogen, potassium is the macronutrient most required by soybean. To meet soybean growth demands, it is necessary to use high K doses, which can lead to losses via leaching. The objective of the current study was to evaluate the effect of doses and methods of K fertilization on the components of soybean production, in the Yellow Latosol (Oxisol) of an Amazonian savanna. The experiment was conducted using randomized complete block design with four replicates. Plots consisted of two fertilization methods (M1 – fertilization on planting and at 35 days after emergence - DAE and M2 – on planting, then divided between 20 and 35 DAE). Subplots where five doses of potassium (K_2O at 0, 40, 80, 120 and 160 $kg\ ha^{-1}$) were randomized. Measured variables were: plant stand, plant height, height of first pod insertion, number of pods per plant, soybean mass per plant, and soybean yield. Because of the low exchangeable K content and medium texture of the study soil, deployed methodology consisting of plant fertilization and two applications to facilitate high soybean yields. Agronomic efficiency proved to be a good indicator for assaying the best K_2O dose, as it is sensitive to initial soil exchangeable K levels. The dose giving maximum agronomic efficiency was 88.5 $kg\ ha^{-1}$ of K_2O , converting each kg of K_2O in 14.3 kg of soybeans.

Key words: Fertilization. Coverage. Agronomic Efficiency. *Glycine max* (L.) Merrill.

Resumo: O potássio, depois do nitrogênio, é o macronutriente mais requerido pela soja. Para atender à demanda da soja é necessário a utilização de altas doses de K, o que pode provocar perdas por lixiviação. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de doses e modos de adubação do K nos componentes de produção da soja, em Latossolo Amarelo da savana amazônica. O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com 4 repetições. As parcelas consistiram de dois modos de adubação (M1 – plantio e cobertura aos 35 dias após a emergência - DAE e M2 – plantio e duas coberturas aos 20 e 35 DAE); e nas subparcelas foram aleatorizadas cinco doses de potássio em cobertura (0, 40, 80, 120 e 160 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O). As variáveis medidas foram: estande final, altura da planta, altura da inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, massa de grãos por planta e produtividade de grãos. Considerando as condições de baixo teor de K trocável no solo e textura média, o método que consiste em adubação de plantio e duas coberturas proporcionou maior produtividade de grãos de soja. A eficiência agrônômica revelou-se um bom indicador para definir a dose de K_2O , uma vez que é sensível aos teores iniciais de K trocável no solo. A dose que determinou a máxima eficiência agrônômica foi de 88,5 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O , convertendo cada kg de K_2O em 14,3 kg de grãos de soja.

Palavras-chave: Adubação. Cobertura. Eficiência Agrônômica. *Glycine max* (L.) Merrill.

*Corresponding author

Submitted for publication on 03/08/2018 and approved 22/12/2018

¹Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, CCA/UFRR. Emails: sandra.uchoa@ufr.br; valdinar@yahoo.com.br

²Curso de Especialização em Agro@ambiente, CCA/UFRR. Email: ronaldosolucoes@gmail.com

³Professor Doutor, Bolsista PET-Agro, Universidade Federal de Roraima, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia, Boa Vista-RR, Brasil. arcanjo.alves@ufr.br

⁴Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Emails: deyse_cris@hotmail.com; samuel.agr@hotmail.com

INTRODUCTION

Soybean, *Glycine max* (L.) Merrill, has the greatest sown area of any agricultural crop in Brazil, and is the main trade surplus-generating agricultural export product. During the 2017 harvest, an area of 33.9 million hectares was planted, yielding 114.1 million tons of grains, with an average yield of 3,366 kg ha⁻¹, a yield gain of 764 kg ha⁻¹ in a decade (CONAB, 2018). Among the factors responsible for this productivity increase are genetic improvements and balanced fertilization, which together have facilitated soybean productive potential maximization.

After nitrogen, potassium is the cation soybean requires in greatest quantity. It has a role in numerous plant physiological processes, such as enzymatic activation, photoassimilate transport and, especially, in photosynthetic activity (PETTIGREW, 2008). The demand for this nutrient by the crop is approximately 38 kg of K₂O for each ton of beans, of this total, 20 kg are exported from the area (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2013).

The critical soil potassium level for soybean cultivation ranges from 40 to 80 mg dm⁻³ of K. In Cerrado soils, due to low availability and a critical K level below 30 mg dm⁻³, there is a high probability of a growth response of potassium supplementation (BERNARDI *et al.*, 2009; VENTUROSO *et al.*, 2009). Low soil K content restricts plant growth, even for low fertility tolerant crops such as cassava, which shows a linear growth response for K₂O doses up to 240 kg ha⁻¹ (SILVA *et al.* 2017). In addition to growth, higher K availability influences sunflower oil content (UCHÔA *et al.*, 2011), and the protein and oil content of soybeans, so helping to improve food quality and aid the fight against human malnutrition (FARHAD *et al.*, 2010).

Of all fertilizers available in Brazil, potassium chloride (KCl) is the most commonly used K source. However, losses of this nutrient by leaching are in the order of 50 to 70% (WU; LIU, 2008). This is due to its high water solubility and low K adsorption strength by soil colloids (DUIKER; BEEGLE, 2006). Thus, for K₂O applications above 50 kg ha⁻¹, dividing them into smaller, temporally-separated, sub-doses is often recommended (FOLONI; ROSOLEM, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2008).

INTRODUÇÃO

A soja, *Glycine max* (L.) Merrill, ocupa o primeiro lugar em área no Brasil, sendo o principal produto agrícola de exportação, que gera *superavit* na balança comercial. Na safra de 2017 foi plantada uma área de 33,9 milhões de hectares, obtendo-se produção de 114,1 milhões de toneladas de grãos, produtividade média de 3.366 kg ha⁻¹ e ganho em produtividade de 764 kg ha⁻¹ em relação aos últimos dez anos (CONAB, 2018). Dentre os fatores responsáveis pelo aumento de produtividade estão o melhoramento genético e adubação equilibrada, capazes de maximizar o potencial produtivo da cultura.

Dos nutrientes requeridos pela soja, o potássio, depois do nitrogênio, é o cátion absorvido em maior quantidade. Ele atua em numerosos processos fisiológicos da planta, como ativação enzimática, transporte de fotoassimilados e, com maior intensidade na atividade fotossintética (PETTIGREW, 2008). A demanda desse nutriente pela cultura é de aproximadamente 38 kg de K₂O para cada tonelada de grãos, sendo que, desse total, 20 kg são exportados das lavouras (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2013).

O nível crítico de potássio no solo para a cultura da soja varia de 40 a 80 mg dm⁻³ de K. Em solos de Cerrado, devido à baixa disponibilidade de K e nível crítico inferior a 30 mg dm⁻³, há alta probabilidade de resposta à adubação potássica (BERNARDI *et al.*, 2009; VENTUROSO *et al.*, 2009). O baixo teor de K no solo restringe o crescimento das plantas, mesmo em culturas tolerantes a solos de baixa fertilidade, como a mandioca, que apresentou resposta linear em crescimento até a dose de 240 kg ha⁻¹ de K₂O (SILVA *et al.*, 2017). Além do crescimento, a maior disponibilidade de K interfere no teor de óleo na cultura do girassol (UCHÔA *et al.*, 2011) e no teor de proteína e óleo da soja, contribuindo para a melhoria da qualidade do grão e no combate à desnutrição humana (FARHAD *et al.*, 2010).

Entre os fertilizantes, o cloreto de potássio (KCl) é a principal fonte de K utilizada no Brasil, porém, são relatadas perdas desse nutriente por lixiviação, da ordem de 50 a 70% (WU; LIU, 2008). Isso se deve à alta solubilidade em água e baixa força de adsorção do K aos colóides do solo (DUIKER; BEEGLE, 2006). Assim, o parcelamento de doses de K₂O acima de 50 kg ha⁻¹ é frequentemente recomendado (FOLONI; ROSOLEM, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Research results make clear the importance of potassium fertilization: for soybean, Lana *et al.* (2002) found that K_2O doses of 60 kg ha^{-1} at 45 and 55 days after emergence (DAE) (the latter being the flowering stage) resulted in significant increases in the number of pods and seeds per plant in relation to the total planting dose; Bernardi *et al.* (2009) noted that dividing the recommended dose between two applications resulted greater agronomic efficiency in K use for soybean production, while Petter *et al.* (2012) reported that a single application of the K total dose on soybean plants resulted in lower agronomic efficiency and K recovery.

For soybean cultivation on soils with low K availability, appropriate K management can promote soybean yield increases and improve seed quality. This can occur via increases in pod number, percentage of pods with grains and number of root-nodules in plants when well-supplied with K. In addition, this nutrient helps increase plant tolerance to diseases and adverse abiotic factors (MANTOVANI *et al.*, 2017).

The objective of the current study was to evaluate the effect of potassium fertilization rates and different methods of applying them on soybean production components, using the cultivar BRS Tracajá on a dystrophic Yellow Latosol (Oxisol) in an Amazonian savanna.

MATERIALS AND METHODS

Research was carried out in the Agronomy Course experimental area at Cauamé Campus, Federal University of Roraima, in Boa Vista municipality, Roraima State, northern Brazil, located between Latitude $2^{\circ} 49' 11'' \text{N}$, Longitude $60^{\circ} 40' 24'' \text{W}$, and with an average altitude of 90 m. According to the Köppen classification, regional climate is Aw, with two well-defined climatic seasons, one rainy (April-August), and one dry (October-March).

The soil of the experimental area is classified as Dystrophic Yellow Latosol (Oxisol), level 0–0.20 m: clay - 250 g kg^{-1} , sand - 660 g kg^{-1} and silt - 90 g kg^{-1} ; pH in H_2O - 6.1; Ca^{2+} - $1.1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg^{2+} - $0.5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Al (not detected); P and K (Mehlich 1) - 4.1 and $0.05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectively; Organic carbon - 0.46 dag kg^{-1} ; V - 56.7% and $\text{CTC}_{\text{total}}$ - $3.0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Resultados de algumas pesquisas demonstram a importância do parcelamento do fertilizante potássico. Lana *et al.* (2002) constataram que o parcelamento das doses de K_2O , aplicadas na fase de florescimento da soja (60 kg ha^{-1} de K_2O aos 45 e 55 dias após a emergência - DAE), resultou em aumentos significativos no número de vagem e semente por planta, em relação à dose total no plantio. Bernardi *et al.* (2009) observaram que o parcelamento da dose recomendada em duas aplicações determinou maior eficiência agrônômica no uso do K pela soja. Petter *et al.* (2012) verificaram que a aplicação da dose total de K no plantio da soja proporcionou menor eficiência agrônômica e recuperação do K.

O manejo adequado de K pode promover aumento na produtividade de grãos e melhorar a qualidade das sementes na cultura da soja em solos com baixa disponibilidade de K. Esse efeito se deve à elevação no número de vagens, percentagem de vagens com grãos e número de nódulos em plantas bem nutridas com K. Além disso, este nutriente torna as plantas mais tolerantes à incidência de doenças e ocorrência de fatores abióticos adversos (MANTOVANI *et al.*, 2017).

Mediante a necessidade de maximizar a eficiência da adubação potássica e potencial produtivo da cultura da soja, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de doses e modos de parcelamento do potássio nos componentes de produção da soja, cultivar BRS Tracajá, em Latossolo Amarelo distrófico da savana amazônica.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na área experimental do *Campus* Cauamé da Universidade Federal de Roraima, pertencente ao Curso de Agronomia, no município de Boa Vista, Roraima, localizado entre as coordenadas: Latitude $2^{\circ} 49' 11'' \text{N}$, Longitude $60^{\circ} 40' 24'' \text{W}$ e altitude média de 90 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw, com duas estações climáticas bem definidas, uma chuvosa (abril-agosto) e outra seca (outubro-março).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo distrófico, contendo na camada 0 – 0,20 m: argila - 250 g kg^{-1} , areia - 660 g kg^{-1} e silte - 90 g kg^{-1} ; pH em H_2O - 6,1; Ca^{2+} - $1,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg^{2+} - $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Al (não detectado); P e K (Mehlich 1) - 4,1 e $0,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente; Carbono orgânico - $0,46 \text{ dag kg}^{-1}$; V - 56,7% e $\text{CTC}_{\text{total}}$ - $3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

The experimental design was a randomized complete block design with four replicates. Plots received one of two methods of fertilizer application: M_1 - dose applied at 35 DAE, and M_2 - dose subdivided into two applications, one at 20 and one at 35 DAE. Potassium doses were 0, 40, 80, 120 and 180 kg ha⁻¹ K₂O, with application randomized between subplots. The experimental plot consisted of 4 rows each 5 m in length, separated by 0.5 m intervals, totaling an area of 10 m². The experimental area comprised of the two central rows, discounting 0.5 m on each side which functioned as a border.

Initial preparation of the area, in the second fortnight of May (rainy season), was carried out with a harrow, followed by light grading, using a leveling grid. Soil in the experimental area was corrected with dolomitic limestone, 100% PRNT, 30 days before planting, with a dose of 99 kg ha⁻¹, with the aim of raising the base saturation to 60%. Soil P content was also corrected with 100 kg ha⁻¹ P₂O₅, using 500 kg ha⁻¹ of single superphosphate, to raise P availability from very low to high.

A hoe was used to create planting furrows, with fertilization and crop sowing done manually. Base fertilization consisted of 500 kg ha⁻¹ of 4-24-12 formula granules, plus 0.4% Zn; 0.6% Mn; 0.3% Cu and 0.20% B, a mix commonly used by local producers. In this base fertilization were applied 60 kg ha⁻¹ of K₂O, and the K fertilization in top dressing were performed according to the treatments. To meet plant nutritional demands for N, soybean seeds were inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* bacteria, using a turfous inoculant at the concentration of five doses for the amount of seeds to be used per hectare.

The deployed soybean cultivar was cv. BRS Tracajá, a non-transgenic, medium-cycle and high expression form commonly cultivated in the savanna soils of Roraima. At thinning, a density of 200,000 plants ha⁻¹ was established.

All treatments received broadleaf weed control (1.0 L ha⁻¹ of Flex: FOMESAFEN) at the 3rd soybean trifolium stage. Thin-leaf weeds were controlled with an 1.0 L ha⁻¹ application of Fusilade (Fluazifop-P-Butyl). At 60 DAE, caterpillar control was carried out, using the commercial product Curion (dose, 1 L ha⁻¹). This application also eliminated some hemipterans, which had not yet reached a level requiring control.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com 4 repetições. As parcelas receberam os modos de adubação em cobertura, sendo: M_1 – dose aplicada aos 35 DAE e M_2 – dose subdividida em duas aplicações, aos 20 e 35 DAE; e nas subparcelas, foram aleatorizadas as doses de potássio para adubação de cobertura, sendo: 0, 40, 80, 120 e 180 kg ha⁻¹ de K₂O. A parcela experimental foi constituída por 4 fileiras de 5 m, espaçada de 0,5 m, totalizando uma área de 10 m². A área útil foi composta pelas duas fileiras centrais, descontando-se 0,5 m de cada lado para a bordadura.

O preparo inicial da área, na segunda quinzena de maio (estação chuvosa), foi realizado com grade aradora, seguido de gradagem leve, utilizando grade niveladora. A área do experimento foi corrigida com calcário dolomítico, 100% de PRNT, 30 dias antes do plantio, na dose de 99 kg ha⁻¹, com o objetivo de elevar a saturação de bases para 60%. Também foi realizada a correção do teor de P do solo com 100 kg ha⁻¹ P₂O₅, utilizando-se 500 kg ha⁻¹ de superfosfato simples, para elevar o P da faixa de muito baixa para alta disponibilidade.

Na abertura dos sulcos, utilizou-se enxada, e a adubação e semeadura da cultura foram realizadas manualmente. A adubação de base foi constituída por 500 kg ha⁻¹ de uma mistura de grânulos da fórmula 4-24-12 acrescida de 0,4% de Zn; 0,6% de Mn; 0,3% de Cu e 0,20 % de B, de uso comum entre os produtores locais. Nessa adubação de base foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de K₂O, e as adubações de cobertura foram realizadas conforme os tratamentos. Para atender à demanda nutricional de N pelas plantas, as sementes de soja foram devidamente inoculadas com bactérias *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se inoculante turfoso na quantidade de cinco doses para a quantidade de sementes a serem utilizadas por hectare.

A cultivar de soja utilizada foi a cv. BRS Tracajá, não transgênica, de ciclo médio e de grande expressão nas áreas de cultivo dos solos de savana de Roraima. No desbaste, estabeleceu-se a densidade de 200.000 plantas ha⁻¹.

Todos os tratamentos receberam o controle de plantas daninhas de folhas largas realizado durante a emissão do 3º trifólio da soja, utilizando-se 1,0 L ha⁻¹ de Flex (FOMESAFEN). As invasoras de folhas estreitas foram controladas com a aplicação de Fusilade (Fluazifop-P-Butil), na dose de 1,0 L ha⁻¹. Aos 60 DAE, foi realizado o controle de lagartas, com a aplicação do produto comercial Curion na dose de 1 L ha⁻¹. A aplicação também eliminou a presença de alguns percevejos, que ainda não haviam atingido o nível de controle.

The plant stand (PS) was derived by counting plants in the representative section of the experimental area at the time of harvest. To analyse plant height (PH), height of first pod insertion (FP), number of pods per plant (PP), and pod mass per plant (PM), ten plants were randomly sampled from each subplot. Plant height, in centimeters, was obtained from the distance between the soil surface and the apex of the main stem, when the plants were at reproductive stage R_8 (95% of the pods with mature pod color). Height of first pod insertion, in centimeters, was measured between the soil surface and the insertion point of the first pod.

To obtain mass of 100 grains, moisture content of two samples per sub-plot was determined by the oven method at $105 \pm 3^\circ\text{C}$ for 24 h, following guidelines given in the Seed Analysis Rules (Regras de Análises de Sementes - RAS: BRASIL, 2009). Subsequently, these values were adjusted to 13% moisture.

Soybean yield (BY) was obtained by harvesting all plants in the study area of each subplot, then processing, weighing and determining humidity. Subsequently, productivity (kg ha^{-1}) was calculated, adjusted to 13% moisture.

Statistical assumptions were tested for error normality and variance homogeneity. Analysis of variance was performed without data transformation. Regression analysis was performed to assay the significant effects of potassium doses. The choice of the model for each variable was based on parameter significance and R^2 values (ALVAREZ V.; ALVAREZ, 2006). Data analysis was performed using the Sisvar 5.3 statistical program. The maximal technical efficiency (MET) dose for K_2O was calculated based on the first derivative of the regression equation, equaling zero.

$$\text{MET} = -\frac{b_1}{2b_2}$$

where:

MET is the maximum technical efficiency dose;

b_1 , in the rate of production increment; and

b_2 , the point of maximum production.

The maximally economically efficient (MEE) K_2O dose was calculated based on the first derivative of the regression equation, being equivalent to the relation between input and output prices, as described by Oliveira *et al.* (2007, 2009). However, in order to mitigate problems associated with exchange rate variation, we used the exchange ratio instead of a currency, as a means of obtaining more stable data. Therefore, the “currency” used in the calculations was the soya bean itself, using the following equivalence relation: $\text{kg K}_2\text{O}$ (t) per kg of soybean (w). The most economical dose (x') was then calculated by:

$$\text{MEE} = \frac{\left(\frac{t}{w}\right) - b_1}{2b_2}$$

O estande foi contabilizado por meio da contagem de plantas na área representativa da unidade experimental no momento da colheita. Para análise da altura de plantas, altura da inserção da primeira vagem, número de vagens por planta e massa de vagem por planta, foram amostradas aleatoriamente dez plantas na área útil da subparcela. A altura da planta, em centímetros, foi obtida entre a superfície do solo e o ápice da haste principal, quando as plantas se encontravam no estágio reprodutivo R_8 , em que 95% das vagens atingiram a cor de vagem madura. A altura de inserção da primeira vagem, em centímetros, foi medida entre a superfície do solo e a inserção da primeira vagem.

Para obter a massa de 100 grãos, determinou-se a umidade em duas amostras por subparcela, pelo método da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, durante 24 h, segundo as prescrições das Regras de Análises de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009). Posteriormente, esses valores foram corrigidos a 13% de umidade.

A produtividade de grãos (PR) foi obtida pela colheita de todas as plantas da área útil de cada subparcela, beneficiada, pesada e determinada a umidade. Posteriormente, calculou-se a produtividade (kg ha^{-1}) corrigida a 13% a umidade.

Os testes de pressuposições estatísticas foram realizados para testar a normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias. A análise de variância foi realizada sem a necessidade de transformação dos dados. Realizou-se a análise de regressão para os efeitos significativos das doses de potássio. A escolha do modelo para cada variável baseou-se na significância dos parâmetros e nos valores do R^2 (ALVAREZ V.; ALVAREZ, 2006). Empregou-se para a análise dos dados o programa estatístico Sisvar 5.3. A dose de máxima eficiência técnica (MET) de K_2O em cobertura foi calculada com base na derivada primeira da equação de regressão, igualando-se à zero.

em que:

MET representa a dose de máxima eficiência técnica;

b_1 , a taxa de incremento de produção; e

b_2 , o ponto de máxima produção.

A dose de máxima eficiência econômica (MEE) de K_2O em cobertura foi calculada com base na derivada primeira da equação de regressão, igualando-se à relação entre preços do insumo e do produto, descrito por Oliveira *et al.* (2007; 2009). No entanto, a fim de atenuar os problemas de variação cambial, trabalhou-se com relação de troca ao invés de moeda corrente, procurando-se assim dados mais estáveis. Portanto, a “moeda” utilizada nos cálculos foi o próprio grão de soja, considerando-se a seguinte relação de equivalência: $\text{kg de K}_2\text{O}$ (t) por kg de grãos (w). A dose mais econômica (x') foi então calculada por:

where:

MEE is the maximally economically efficient dose; b_1 , the rate of production increase; and b_2 , the point of maximum production.

The price adopted for the input used the average market price between January and May 2018 (R\$ 0.87/kg K_2O), and the product price of R\$ 1.21 per kg of soya beans, within the same period. The equivalence ratio (kilogram of K_2O /kg of beans) was, therefore, 0.72.

The agronomic efficiency of potassium use was also calculated, by adapting the methodology described by Fageria *et al.* (1997) and Leal *et al.* (2017), in which:

$$AE = \frac{\rho(K_2O) - \rho}{K_2O}$$

Onde:

AE is the agronomic efficiency (kg kg^{-1}), ρK_2O is the product of beans obtained by fertilization (kg ha^{-1}), ρ is the product of beans obtained without fertilizer (kg ha^{-1}), and (K_2O) is the dose of potassium.

RESULTS

The final values for stand and first pod insertion height were significantly affected by the independent factors, while plant height was influenced only by the applied potassium doses, with a mean of 65.38 cm (Table 1).

Final stand density and first pod insertion height were significantly affected by the isolated factors, while plant height was influenced only by the potassium doses applied after sowing, with a mean of 65.38 cm (Table 1). Mean K dose effect on the stand density and pod insertion height was best described by a positive linear function, with mean increases of 146.56 plants ha^{-1} and 0.017 cm per kg of applied K_2O , respectively (Table 1).

The quadratic model was used to describe the relationship between plant height and potassium doses applied to the soil. Greatest height was 72.05 cm, obtained at the maximum technical efficiency K_2O dose, which was 102.94 kg ha^{-1} . Lowest mean plant height was 54.04 cm, obtained in those treatments to which K was not applied (controls).

The number of pods per plant, mean pod mass and mass of 100 beans were only affected by applied potassium doses, and plant responses to K_2O doses were explained by the quadratic model (Table 2).

em que:

MEE representa a dose de máxima eficiência econômica; b_1 , a taxa de incremento de produção; e b_2 , o ponto de máxima produção.

O preço adotado para o insumo foi definido considerando a média de preço praticado entre os meses de janeiro e maio de 2018 (R\$ 0,87 por kg de K_2O) e o preço para o produto de R\$ 1,21 por kg de grãos de soja, valores praticados dentro do mesmo período. Assim, a relação de equivalência (quilograma de K_2O /kg de grãos) foi de 0,72.

Determinou-se também a eficiência agrônômica de uso do potássio, adaptando metodologia descrita por Fageria *et al.* (1997) e Leal *et al.* (2017), em que:

Onde:

EA é a eficiência agrônômica (kg kg^{-1}), ρK_2O é a produção de grãos obtida com adubação de cobertura (kg ha^{-1}), ρ é a produção de grãos sem adubação de cobertura (kg ha^{-1}) e (K_2O) é a dose de potássio.

RESULTADOS

O estande final e altura da inserção da primeira vagem foram afetados significativamente pelos fatores isolados, enquanto a altura da planta sofreu influência apenas das doses de potássio aplicadas em cobertura, com média de 65,38 cm (Tabela 1).

O efeito médio das doses de K sobre o estande e altura da inserção da vagem foi melhor descrito por função linear positiva, com incrementos médios de 146,56 plantas ha^{-1} e 0,017 cm por kg de K_2O aplicado, respectivamente (Tabela 1).

Adotou-se o modelo quadrático para descrever a relação entre a altura das plantas e as doses de potássio aplicadas no solo. A maior altura foi de 72,05 cm, obtida na dose de máxima eficiência técnica, que foi de 102,94 kg ha^{-1} de K_2O . A menor altura média da planta foi de 54,04 cm, obtida nos tratamentos que não receberam cobertura de K.

As variáveis número de vagem por planta, massa média da vagem e massa de 100 grãos foram afetadas, apenas, pelas doses de potássio em cobertura, sendo as respostas das plantas às doses de K_2O explicadas pelo modelo quadrático (Tabela 2).

Table 1 - Mean values of the plant stand (PS), plant height (PH) and height of insertion of the first pod (FP) as a function of application methods and doses of potassium**Tabela 1** - Valores médios do estande (PS), altura da planta (PH) e altura de inserção (FP) da primeira vagem, em dois modos de aplicação do K, em função de doses de potássio

Factors ^{1/}	PS (plant ha ⁻¹)	PH (cm)	FP (cm)
M1	160,910a	63.18	15.44a
M2	189,390b	67.58	16.96b
Mean	-	65.38	-
F Test	$p \leq 0.05$	$p > 0.05$	$p \leq 0.01$
KD	$\hat{Y} = 154,631.25 + 146.56 \cdot x$ $R^2 = 0.73$	$\hat{Y} = 54.04 + 0.350 \cdot x - 0.0017 \cdot x^2$ $R^2 = 0.89$	$\hat{Y} = 14.87 + 0.01659 \cdot x$ $R^2 = 0.63$
CV1(%)	12.59	11.62	5.34
CV2(%)	14.73	11.66	13.73

^{1/}M1 – Fertilization in top dressing of potassium at 35 days after emergence (DAE); M2 – two applications of potassium, at 20 and 35 DAE; KD - Potassium doses in top dressing.

^{1/}M1 – Uma adubação de cobertura de potássio aos 35 dias após a emergência (DAE); M2 - duas adubações de cobertura de potássio, aos 20 e 35 DAE; DK - Doses de potássio em cobertura.

Table 2 - Mean number of pods per plant (PP), mean pod mass (MPM), number of soybean per plant (NB) and mass of 100 grains (M100B) as a function of application methods and doses of potassium**Tabela 2** - Valores médios de número de vagem por planta (PP), massa média da vagem (MPM) e numero de grãos por planta (NB), em dois modos de aplicação do K, em função de doses de potássio

Factors ^{1/}	PP	MPM (g)
M1	75.12	27.73
M2	68.40	27.83
Mean	71.76	27.79
F Test	$p > 0.05$	$p > 0.05$
KD	$\hat{Y} = 42.74 + 0.451 \cdot x - 0.0015 \cdot x^2$ $R^2 = 0.95$	$\hat{Y} = 23.99 + 0.207 \cdot x - 0.0013 \cdot x^2$ $R^2 = 0.91$
CV1(%)	18.96	3.53
CV2(%)	13.86	26.00
Factors ^{1/}	NB	M100B (g)
M1	166.52	12.64
M2	151.76	13.06
Mean	159.14	12.85
F Test	$p > 0.05$	$p > 0.05$
KD	$\hat{Y} = 140.91 + 0.718 \cdot x - 0.0041 \cdot x^2$ $R^2 = 0.93$	$\hat{Y} = 11,96 + 0,029 \cdot x - 0.00015 \cdot x^2$ $R^2 = 0.96$
CV1(%)	16.83	11.31
CV2(%)	14.23	6.50

^{1/}M1 – Fertilization in top dressing of potassium at 35 days after emergence (DAE); M2 – two applications of potassium, at 20 and 35 DAE; KD - Potassium doses in top dressing.

^{1/}M1 – Uma adubação de cobertura de potássio aos 35 dias após a emergência (DAE); M2 - duas adubações de cobertura de potássio, aos 20 e 35 DAE; DK - Doses de potássio em cobertura.

The highest mean number of pods per plant was 76.63, obtained with a K_2O dose of $150.33 \text{ kg ha}^{-1}$. This is a gain of 33.9 pods per plant, in relation to those to which potassium fertilizer was not applied (control). Maximum technical efficiency K_2O dose for mean pod mass (MPM), was 79.6 kg ha^{-1} , increasing from 23.99 to 32.23 g , a rise of 34.3%. Weight of 100 grains ranged from 11.96 (dose 0) to 13.36 g at 96.66 kg ha^{-1} , the K_2O maximum efficiency dose (Table 2).

There was no interaction between tested factors for bean yield. Application method significantly affected productivity ($p \leq 0.05$), with the average for M_1 being $3,201.4 \text{ kg ha}^{-1}$, and $3,664.5 \text{ kg ha}^{-1}$ for M_2 . The use of two application installments, at 20 and 35 DAE, increased productivity by 14.5%.

For potassium doses, there was a quadratic response for soybean yield to K_2O addition, regardless of application method. The maximum yield of $3,995.8 \text{ kg ha}^{-1}$ was obtained with a K_2O dose of 96.8 kg ha^{-1} (Figure 1). K_2O application gave a maximum increase of 60.92% in yield when compared to the control.

The most economical K_2O application rate was 94.5 kg ha^{-1} , slightly lower than DMET. Consequently, there was little variation in soybeans economic productivity level ($3,995.0 \text{ kg ha}^{-1}$), which represents an increase of $1,512.0 \text{ kg ha}^{-1}$ of soybeans in relation to the control (zero application). Calculating the amount of soybeans (68.4 kg ha^{-1} of beans, or 1.14 sacks), required for the acquisition of 95.0 kg ha^{-1} of K_2O , resulted in a surplus of $1,443.6 \text{ kg ha}^{-1}$, which represents an additional gain of 24.1 sacks of soybeans.

O maior número de vagens por planta foi de 76,63, obtido com a dose de $150,33 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O . Isso representa um ganho de 33,9 vagens por planta, em relação à ausência de adubação potássica em cobertura. Para a massa média de vagem (MMV), a dose de máxima eficiência técnica, $79,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O , elevou de 23,99 para $32,23 \text{ g}$, aumento de 34,3%. Já a massa de 100 grãos, variou de 11,96 (dose 0) para $13,36 \text{ g}$ na dose de máxima eficiência de $96,66 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O (Tabela 2).

Não houve interação entre os fatores para a produtividade de grãos. Os métodos afetaram significativamente a produtividade ($p \leq 0,05$), sendo a média para M_1 de $3.201,4 \text{ kg ha}^{-1}$ e de $3.664,5 \text{ kg ha}^{-1}$ para M_2 . O uso de dois parcelamentos, aos 20 e 35 DAE, elevou em 14,5% a produtividade.

Em relação às doses de potássio, houve resposta quadrática da produtividade de grãos a adição de K_2O , independentemente do modo de cobertura, com rendimento máximo de $3.995,8 \text{ kg ha}^{-1}$, obtido na dose de $96,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O em cobertura (Figura 1). A aplicação de K_2O proporcionou aumento máximo de 60,92% na produtividade de grãos, quando comparado à testemunha.

A dose de cobertura mais econômica foi de $94,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O , ligeiramente inferior a DMET, consequentemente, houve pouca variação na produtividade econômica de $3.995,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos, o que representa incremento de $1.512,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos em relação ao tratamento sem cobertura. Deduzindo da quantidade de grãos ($68,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de grãos ou 1,14 saca), necessário para aquisição de $95,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O , resultou um superávit de $1.443,6 \text{ kg ha}^{-1}$, o que representa um ganho adicional de 24,1 sacas de grãos de soja.

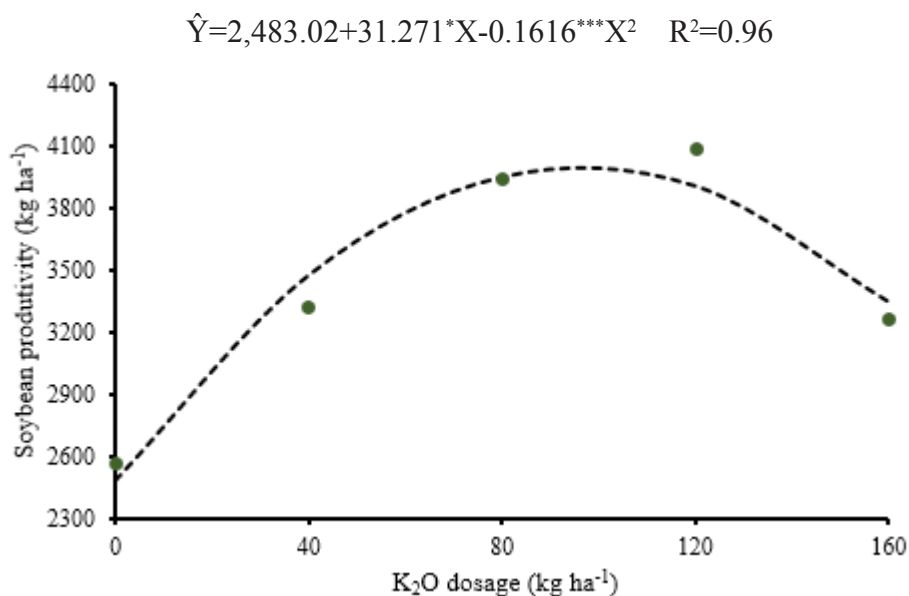


Figure 1 – Soybean productivity, cv. BRS Tracajá, as a function of potassium dosages.

Figura 1 – Produtividade de grãos de soja, cv. BRS Tracajá, em função de doses de potássio.

The most economical dose was 98% of that for maximum productivity, which may indicate economic viability of potassium use in soybean cultivation.

Agronomic efficiency (AE) was impacted only by K dose, and was described by a quadratic model (Figura 2). For method factors, mean AE was 10.2 kg of soybeans per kg of applied K₂O.

A quadratic model best described the relationship between AE and K₂O doses. Using the first derivative for the function obtained, the maximum agronomic efficiency K₂O dosage was determined as 88.5 kg ha⁻¹ (Figure 2). At that dose, 1 kg of K₂O was converted into 14.3 kg of soybeans.

A dose mais econômica apresentou 98% daquela responsável pela produtividade máxima, o que pode indicar a viabilidade econômica do emprego de cobertura com potássio no cultivo da soja.

A eficiência agrônômica (EA) foi afetada apenas pelo fator doses de K, sendo descrita por modelo quadrático (Figura 2). Para o fator métodos, a EA média foi de 10,2 kg de soja por kg de K₂O adicionado em cobertura.

O modelo quadrático foi adotado para descrever a relação entre EA e doses de K₂O. Considerando a derivada primeira para a função obtida, determinou-se a dose para a máxima eficiência agrônômica, sendo 88,5 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 2). Nessa dose, obteve-se a conversão de 1 kg de K₂O em 14,3 kg de grãos de soja.

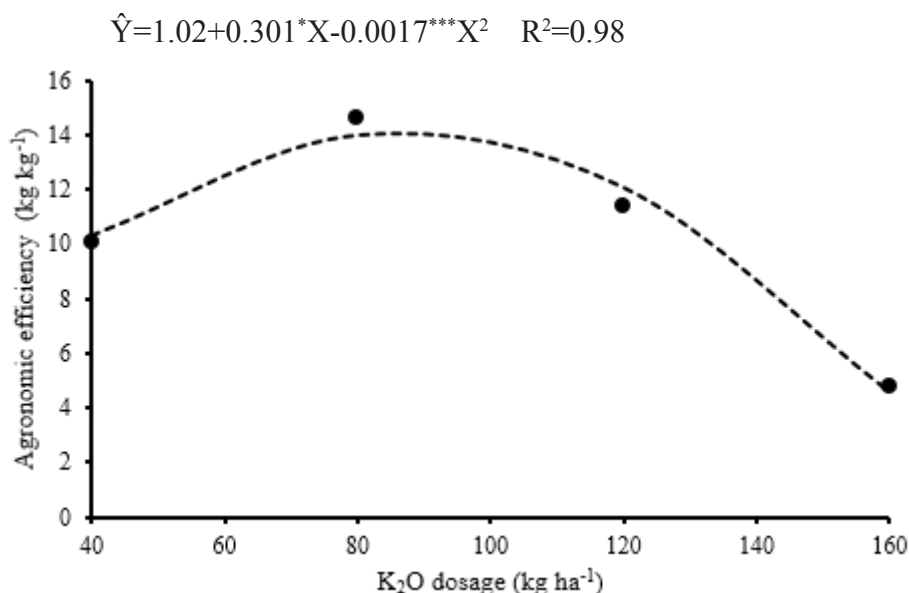


Figure 2 – Soybean plant agronomic efficiency of, cv. BRS Tracajá, as a function of potassium dosage.

Figura 2 – Eficiência agrônômica de plantas de soja, cv. BRS Tracajá, em função de doses de potássio.

DISCUSSION

For the soil analysis used in this study, 0.05 cmol_c dm⁻³ of exchangeable K was available before fertilizer application. Fertilization of the study area (60 kg ha⁻¹ de K₂O) made available 0.06 cmol_c dm⁻³, increasing the exchangeable K level to 0.11 cmol_c dm⁻³. Applied K₂O doses, which varied from 40 to 160 kg ha⁻¹, increased exchangeable K levels from 0.04 to 0.16 cmol_c dm⁻³. Assuming no losses from erosion or leaching, there was an increase in exchangeable K that varied from 0.11 (control, 0 dosage) to 0.27 cmol_c dm⁻³ (K₂O dosage of 160 kg ha⁻¹), exceeding the critical limit for exchangeable K, established by Blamey *et al.* (1987), which needs to be above 0.10 cmol_c dm⁻³ if plant requirements are to be met.

DISCUSSÃO

Pela análise de solo utilizado neste trabalho, o K trocável antes da adubação de plantio encontrava-se com 0,05 cmol_c dm⁻³. A adubação de plantio (60 kg ha⁻¹ de K₂O) disponibilizou 0,06 cmol_c dm⁻³, elevando o K trocável para 0,11 cmol_c dm⁻³. As doses de K em cobertura, que variaram de 40 a 160 kg ha⁻¹ de K₂O, acrescentaram de 0,04 a 0,16 cmol_c dm⁻³ de K trocável. Assumindo como inexistentes as perdas por erosão e lixiviação, houve um saldo positivo de K trocável que variou de 0,11 (na dose 0) a 0,27 cmol_c dm⁻³ (na dose 160 kg ha⁻¹ de K₂O), ficando acima do limite crítico de K trocável, estabelecido por Blamey *et al.* (1987), que deve ser superior a 0,10 cmol_c dm⁻³, para atender o requerimento da planta.

In relation to critical limits of exchangeable K, Boukert *et al.* (1997) reported that exchangeable K values lower than $0.12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ are considered low, and that, in such circumstances, uptake by the plants, as well as K content of leaves, will be impaired, so limiting productive yield. Therefore, in cerrado soils, due to K low availability, with a critical level below $10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, there is a strong possibility of a growth response to potassium fertilization (BERNARDI *et al.*, 2009; VENTUROSO *et al.*, 2009).

The literature contains little research indicating the best time after sowing to apply potassium fertilization. Lima *et al.* (2017), studying the effect of potassium doses on soybean cultivars cultivated in a sandy-textured dystrophic Yellow Red Latosol (Oxisol), used applied it at 35 days after sowing. Petter *et al.* (2012), studying potassium doses and division of the timing of fertilizer application in soil with less than 40% of clay and an average K content (77 mg dm^{-3}), did not test the effect of dividing the fertilizer dose on soybean yield, but found that applying the total K dosage at sowing produced lower agronomic efficiency and smaller levels of recoverable K. In perennial cultured coffee, temporal division of N and K application had more influence on growth of orthotropic and plagiotropic III branches than did dosage itself (MAGIERO *et al.*, 2017).

Supplementating of the fertilizer dosage given at planting, regardless of the method of administration, resulted in gains for growth variables (Tables 1 and 2) and soybean production (Figure 1). It was thus the predominant factor determining plant final, which explains the absence of interaction. The linear response of plant height to potassium doses may have occurred because, via enzymatic activation, K can influence indirectly improvements in N use, facilitating greater cell division and expansion, and making positive alterations to the photosynthetic process (VENKATESAN; GAPAPATHY, 2004). Additionally, transport of photoassimilates by the phloem requires the presence of K, being restricted when this nutrient is lacking (GURGEL *et al.*, 2010).

The literature considers increases in soybean productivity due to increased K availability to have physiological explanations, since this element is involved in the dynamics of stomatal conductance in plants (CAKMAK, 2005), as well as being extremely important in the activation of Rubisco carboxylase function, which itself contributes to the greater photosynthetic activity (PRADO, 2008). Catuch *et al.* (2012) and Jia *et al.* (2008) attributed increased production in soybean and rice, respectively, to an increase in photosynthetic rate resulting from increased K availability, when compared to plants with nutrient deficiency.

Com relação aos limites críticos de K trocável, Boukert *et al.* (1997) relatam que valores menores que $0,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K disponível são considerados baixos, sendo que a absorção pelas plantas, assim como o seu teor na folha será prejudicado, limitando o rendimento produtivo. Logo, em solos de cerrado, devido à baixa disponibilidade de K, com nível crítico inferior a $10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, há alta probabilidade de resposta à adubação potássica (BERNARDI *et al.*, 2009; VENTUROSO *et al.*, 2009).

Na literatura, há poucas pesquisas que indicam a época adequada para adubação de cobertura de potássio após a semeadura. Lima *et al.* (2017), estudando o efeito de doses de potássio em cultivares de soja, cultivadas em Latossolo Vermelho Amarelo distroférico de textura arenosa, optaram por um parcelamento aos 35 dias após a semeadura. Petter *et al.* (2012), avaliando doses de potássio e parcelamento em solo com menos de 40% de argila e teor médio de K (77 mg dm^{-3}), não verificaram efeito do parcelamento na produtividade da soja, mas a aplicação da dose total de K no plantio proporcionou menor eficiência agrônômica e menor eficiência na recuperação do K. Em cafeeiro, cultura perene, o parcelamento de N e K foi mais determinante para o crescimento dos ramos ortotrópico e plagiotrópicos III do que as doses (MAGIERO *et al.*, 2017).

A complementação da dose de plantio, independentemente do modo de parcelamento, proporcionou ganhos em todas as variáveis de crescimento (Tabelas 1 e 2) e de produção da soja (Figura 1), sendo o fator preponderante no rendimento final da planta, portanto, explicando a ausência de interação. A resposta linear da altura da planta em função das doses de potássio pode estar relacionada ao fato de que o K é capaz de influenciar indiretamente na melhoria do uso do N por meio da ativação enzimática, proporcionando maior divisão e expansão celular, interferindo positivamente no processo fotossintético (VENKATESAN; GANAPATHY, 2004). O transporte de fotoassimilados pelo floema demanda a presença de K, sendo restrito quando este nutriente está deficiente (GURGEL *et al.*, 2010).

O aumento de produtividade da soja pelo aumento da disponibilidade de K tem sido relacionado na literatura aos aspectos fisiológicos, uma vez que esse elemento pode conferir uma dinâmica adequada da condutância estomática às plantas (CAKMAK, 2005), além de ser um elemento extremamente importante na ativação da função da carboxilase da Rubisco, o que contribui para a maior atividade fotossintética (PRADO, 2008). Catuch *et al.* (2012) e Jia *et al.* (2008) atribuíram o aumento de produção na soja e arroz, respectivamente, ao aumento da taxa fotossintética pelo maior fornecimento de K, em comparação às plantas sob deficiência do nutriente.

Dose levels for maximum technical and economic efficiency of potassium for soybean yield (Figure 1), and that for maximum agronomic efficiency (Figure 2), indicate that an exchangeable K content of at least $0.22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ is required to achieve efficiency and competitive productivity, which in the current study was 66.4 sacks. In contrast, excessive fertilization, in addition to wasting resources, can hinder production (ZANFIROV *et al.*, 2012). Dosage based on agronomic efficiency, which converted each kg of K_2O into 14.3 kg of soybeans, gave a MEE saving of 6.84%. Although this is small, when the planted area of soybeans is considered, this can effectively compensate for other expenses.

In the current study, agronomic efficiency was an important indicator, since the dose resulting in higher productivity is not always that which determines greater agronomic efficiency (PETTER *et al.*, 2012). The latter study found the highest agronomic efficiency for K use occurred when 30 kg ha^{-1} was applied, indicating that the K_2O dose causing highest productivity (90 kg ha^{-1}) was not that which provided highest agronomic efficiency.

It is possible that the high agronomic efficiency found in the current study is related to the low initial exchangeable K content of the soil and the cultivar employed, cv. BRS Tracajá, which is adapted to savanna soil and climatic conditions. According to Pettigrew (2009) and Rengel and Damon (2008), under conditions of low soil K availability, soy cultivars adapted to soils with low exchangeable K contents are more efficient in extracting this nutrient and show better performance productivity. In this line context, Souza *et al.* (2018) found that in soils with $0.07 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ applying of potassium doses increased eggplant agronomic efficiency.

For the production components studied, an additional factor to be considered is the amount of K exported by the soybean crop. According to Zancanaro *et al.* (2009), for every $1,000 \text{ kg ha}^{-1}$ of beans obtained, some 20 kg ha^{-1} of K_2O are exported. Calculations using this and productivity at maximum agronomic efficiency, indicate harvest may result in an export of 79.68 kg ha^{-1} of K.

In addition to export, losses due to leaching and erosion should be considered. The study soil has low CEC ($3.0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) and medium texture, and is therefore susceptible to potassium leaching. This supports the viability of temporal division of fertilizer application, in the current case at 20 and 35 DAE, as a short-term measure. In the long term, conservation measures, such as maintaining soil cover and raising soil organic matter content will likely result in the in the generation of negative charges and improved buffering power for soil potassium.

As doses de máxima eficiência técnica e econômica de potássio (Figura 1) para produção de grãos e dose de máxima eficiência agrônômica (Figura 2) indicam que é necessário teor de K trocável de no mínimo $0,22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para se alcançar eficiência e produtividade competitiva, que nesse estudo foi de 66,4 sacas. Por outro lado, a adubação em excesso, além de ser desperdício de recursos, pode prejudicar a produção (ZANFIROV *et al.*, 2012). A dose baseada na eficiência agrônômica, que converteu cada kg de K_2O em 14,3 kg de grãos de soja, promoveu economia de 6,84% da DMEE, embora pequena, considerando a área plantada de soja, pode compensar outras despesas.

A eficiência agrônômica se mostrou, nesse estudo, um indicador importante, uma vez que nem sempre a dose que resulta em maior produtividade é a que determina maior eficiência agrônômica, como verificado neste estudo e no de Petter *et al.* (2012). Nesse último, a maior eficiência agrônômica no uso do K foi verificada com a aplicação de 30 kg ha^{-1} , indicando que a dose que resultou em maior produtividade (90 kg ha^{-1} de K_2O) não foi a dose que proporcionou a maior eficiência agrônômica.

É possível que a alta eficiência agrônômica observada nesse estudo esteja relacionada ao baixo teor inicial de K trocável e a cultivar empregada, cv. BRS Tracajá, adaptada para as condições edafoclimáticas de savana. De acordo com Pettigrew (2009) e Rengel e Damon (2008), sob condições de baixa disponibilidade de K no solo, cultivares de soja, adaptadas a solos com baixos teores de K trocável, são mais eficientes na recuperação desse nutriente e exibem melhor desempenho em produtividade. Nessa linha de pesquisa, Souza *et al.* (2018) verificaram que em solos com $0,07 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ a aplicação de doses de potássio elevou a eficiência agrônômica de berinjela.

Com relação aos componentes de produção estudados, um outro fator que deve ser levado em consideração é a quantidade de K exportada pela colheita da soja. De acordo com Zancanaro *et al.* (2009), para cada 1.000 kg ha^{-1} de grãos obtidos, são exportados, aproximadamente, 20 kg ha^{-1} de K_2O . Considerando essa relação e a produtividade na máxima eficiência agrônômica, é possível que após a colheita sejam exportados $79,68 \text{ kg ha}^{-1}$ de K.

Além da exportação, devem ser consideradas as perdas por lixiviação e por erosão. O solo em estudo apresenta baixa CTC ($3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e textura média, portanto, é susceptível à lixiviação de potássio, justificando o parcelamento da dose, nesse caso aos 20 e 35 DAE, como medida de curto prazo. A longo prazo, medidas conservacionistas, como manutenção da cobertura do solo e que elevem o teor de matéria orgânica do solo vão se refletir na geração de cargas e melhorar o poder tampão de potássio no solo.

CONCLUSIONES

Potassium fertilization at sowing (60 kg ha⁻¹ of K₂O), and two applications at 20 and 35 DAE provided higher plant growth and yield of soybean in a medium texture Amazonian savanna dystrophic Yellow Latosol (Oxisol);

With the exception of plant height and height of first pod insertion that show positive linear response, potassium doses determine responses to the studied variables best described by quadratic functions;

Maximum technical and economic efficiency K₂O doses are 96.8 and 95.0 kg ha⁻¹. The K₂O dose providing maximum agronomic efficiency was 88.5 kg ha⁻¹;

The dose based on agronomic efficiency converts each kg of K₂O into 14.3 kg of soy beans.

CONCLUSÕES

O parcelamento da adubação potássica no plantio (60 kg ha⁻¹ de K₂O) e duas coberturas aos 20 e 35 DAE determinam maior crescimento da planta e produtividade de grãos de soja em Latossolo Amarelo distrófico de textura média da savana amazônica;

As doses de potássio determinam respostas descritas por funções quadráticas para as variáveis estudadas, exceto para altura da planta e altura de inserção da primeira vagem que apresenta resposta linear positiva;

As doses de máxima eficiência técnica e econômica são de 96,8 e 95,0 kg ha⁻¹ de K₂O em cobertura. Já a dose que determina máxima eficiência agrônômica é de 88,5 kg ha⁻¹ de K₂O;

A dose baseada na eficiência agrônômica converte cada kg de K₂O em 14,3 kg de grãos de soja.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

ALVAREZ V., V. H.; ALVAREZ, G. A. M. Comparações de médias ou testes de hipóteses? Contrastes! **Boletim Informativo da SBCS**, v. 31, p. 24-34, 2006.

BERNARDI, A. C. de C. Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 158-167, 2009.

BLAMEY, F. P. C., EDWARDS, D. G., ASHER, C. J. **Nutritional disorders of sunflower**. Brisbane: University of Queensland, Brisbane, Australia, 1987, 72 p.

BORKERT, C. M. Efeito residual da adubação potássica sobre girassol e milho em três diferentes Latossolos Roxos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 1227- 1234, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.

BRUNETTO, G.; GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; SAGGIN, A.; KAMINSKI, J. Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 29, p. 565-571, 2005.

CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 168, p. 521-530, 2005.

CATUCHI, T.A.; GUIDORIZZI, F.V.C.; GUIDORIZZI, K.A.; BARBOSA, A.M.; SOUZA, G.M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, n. 4, p. 519-527, 2012.

CFSEMG – COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (Lavras, MG). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª Aproximação. Viçosa, 1999, 359p.

CONAB – Acompanhamento da safra brasileira de grãos brasileira. Grãos: safra 2017/2018. Sétimo levantamento. 2018. 144p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info...da.../16780_e7a4a52ee1db76ad1a8cfd9b2343c48>. Acesso em 21 Out 2018.

DUIKER, S. W.; BEEGLE, D. B. Soil fertility distributions in long-term no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 88, p. 30-41, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2011. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 255 p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 393-402, 2007

- FARHAD, I. S. M.; ISLAM, M. N.; HOQUE, S.; BHUIYAN, M. S. I. Role of potassium and sulphur on the growth, yield and oil content of soybean (*Glycine max*). **Academic Journal of Plant Sciences**, v. 3, n. 2: p.99-103, 2010.
- FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Produtividade e acúmulo de potássio na soja em função da antecipação da adubação potássica no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1549- 561, 2008.
- GURGEL, M. T.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em meloeiro produzido sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 01, p. 18-28, 2010.
- JIA, Y.; YANG, X.; ISLAM, E.; FENG, Y. Effects of potassium deficiency on chloroplast ultrastructure and chlorophyll fluorescence in inefficient and efficient genotypes of rice. **Journal of Plant Nutrition**, v.31, p.2105-2118, 2008.
- LIMA, A. M. N.; PELUZIO, J. M.; SIQUEIRA, F. L. T.; OLIVEIRA JUNIOR, W. P. Effect of drought and sowing time on content and oil and protein yields in soybean cultivars in Tocantins. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 116, n. 2, p. 193-199, 2017.
- MAGIERO, M; BONOMO, R.; PARTELLI, F. L.; SOUZA, J. M. Crescimento vegetativo do cafeeiro Conilon fertirrigado com diferentes parcelamentos e doses de nitrogênio e potássio. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 11, n. 1, p. 31-39, 2017.
- MANTOVANI, A.; RIBEIRO, F. J.; VEIGA, M.; ZILIO, M.; FELICIO, T. P. Métodos de aplicação de potássio na soja em nitossolo vermelho. **Unoesc & Ciência**. v. 8, n. 2, p. 169-176, 2017.
- MELO, G.W.; MEURER, E.J.; PINTO, L.F.S. Fontes de potássio em solos distroférricos caulínticos originados de basalto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.597-603, 2004.
- OLIVEIRA, A. P. *et al.* Rendimento de feijão-vagem em função de doses de K₂O. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 01, p. 29-33, 2007.
- OLIVEIRA, A. P. *et al.* Rendimento produtivo e econômico do feijão-caupi em função de doses de potássio. **Ciência Agrotecnologia**, v. 33, n. 02, p. 629-634, 2009.
- OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; JORDÃO, L. T. Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes. **Informações Agronômicas**, n. 143, p. 1, 2013.
- OLIVEIRA, F. A.; CASTRO, C.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA JUNIOR, A. **Fertilidade do solo e nutrição mineral da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Embrapa Soja. Circular técnica, 62).
- PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; ALCÂNTARA NETO, F.; SANTOS, G. G. Respostas de cultivares de soja à adubação nitrogenada tardia em solos de cerrado. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 67-72, 2012.
- PETTIGREW, W.T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. **Physiologia Plantarum**, v. 133, p. 670-681, 2008.
- PRADO, R. de M. Potássio. In: PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2008. p. 161-181.
- RENGEL, Z.; DAMON, M. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. **Physiologia Plantarum**, ISSN 0031-9317, 2008.
- SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; BARROS, H. B. Origem, evolução e importância econômica. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenias, 2009, p. 1-5.
- SILVA, A. F.; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Semina**, v. 35, n. 01, p. 179 - 192, 2014.
- SILVA, D. C. O.; ALVES, J. M. A.; UCHÔA, S. C. P.; SOUSA, A. A.; BARRETO, G. F.; SILVA, C. N. Curvas de crescimento de plantas de mandioca submetidas a doses de potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, n. 2, p. 158-165, 2017.
- STEINER, F. **Balanço de potássio no sistema solo-planta influenciado pela textura e adubação potássica em solos tropicais**. Unesp, Botucatu, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/110938>>. Acesso em 25 out. 2018.
- UCHÔA, S. C. P.; IVANOFF, M. E. A.; ALVES, J. M. A.; SEDIYAMA, T.; MARTINS, S. A. Adubação de potássio em cobertura nos componentes de produção de cultivares de girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 8-15, 2011.

VENKATESAN, S.; GANAPATHY, M. N. K. Nitrate reductase activity in tea as influenced by various levels of nitrogen and potassium fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n. 9-10, p. 1283-1291, 2004.

VENTUROSOS, L. R.; BERGAMIN, A. C.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; LIMA, W. A.; OLIVEIRA, W. B.; SCHLINDWEIN, L. A.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D. Avaliação de duas cultivares de soja sob diferentes doses de potássio, no município de Rolim de Moura, RO. **Agrarian**, v. 2, n. 4, p. 17-29, 2009.

ZANCANARO, L.; HILLESHEIM, J.; HOOGERHIDE, H.; VERONESE, M.; VILELA, L.; FRANCISCO, E. A. B. Manejo do solo, adubação e nutrição da cultura da soja. In: HIROMOTO, D. M.; CAJU, J.; CAMACHO, S. A. (Ed.). **Boletim de pesquisa de soja 2009**. Rondonópolis: Fundação MT, 2009. n. 13. p. 270-285.

ZANFIROV, C. A.; CORREIA, C. V.; CARPANETTI, M. G.; CORREIA, F. F. E CARDOSO, A. I. I. Produção de cenoura em função das doses de potássio em cobertura. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 747-75, 2012.

WU, L.; LIU, M. Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and waterretention. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, p. 240-247, 2008