



Dosage and timing of nitrogen fertilizer application on snap beans¹

Doses e épocas de adubação nitrogenada para feijão-vagem

Mônica Satie Omura^{2*}, Gustavo Henrique Freiria², Verônica Pellizzaro², Felipe Favoretto Furlan², Lúcia Sadayo Assari Takahashi²

Abstract: Snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) belong to the same species as common beans and require similar management practices. Studies aimed at nitrogen fertilization in pod beans are scarce, but necessary, considering the demand from farmers for greater productivity of these beans. The objective of this study was to evaluate the effects of nitrogen fertilization in various doses and times of application on the snap beans production. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme (2×7) + 1, represented by two doses of nitrogen (30 and 60 kg ha⁻¹) and seven fertilization strategies (100% of the dose provided at sowing or phenological stages V3, V4, or R6; split, with 50% at sowing and 50% at V3, 50% at sowing and 50% at V4, or 50% at sowing and 50% at R6), plus a control (no added N). We analyzed stem length, stem basal diameter, number of trefoils, number and mass of commercially viable pods, and number and mass of total pods. Nitrogen fertilization with 30 kg ha⁻¹ N divided 50% at sowing and 50% at V4 or 50% at sowing and 50% at R6 yielded larger and more numerous pods from plants with greater stem diameters.

Key words: Sidedressing fertilization. Fertilization Installment. Yield components. *Phaseolus vulgaris* L.

Resumo: O feijão-vagem pertence à mesma espécie do feijão-comum, e as práticas de manejo adotadas para estas culturas são similares. Estudos direcionados à adubação nitrogenada em feijão-vagem são escassos, mas necessários, considerando a demanda dos agricultores por maior produtividade. O estudo foi realizado em condições controladas, tendo-se por objetivo avaliar doses e épocas de adubação nitrogenada sobre a produtividade de feijão-vagem. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial (2 x 7) + 1, representado por duas doses de nitrogênio, 30 e 60 kg ha⁻¹; e sete épocas de adubação: integralmente (100% da dose) na semeadura e estádios fenológicos V3, V4, R6; parcelada: 50% na semeadura e 50% em semeadura V3, 50% na semeadura e 50% em semeadura V4 e 50% na semeadura e 50% em semeadura R6; e uma testemunha (sem adição de N). As variáveis analisadas foram: comprimento do caule, diâmetro da região do coleto, número de trifólios, número e massa de vagens com padrão comercial e número e massa de vagens totais. Nas condições do ensaio, a adubação nitrogenada com 30 kg ha⁻¹ N parcelada 50% na semeadura e 50% em semeadura V4 ou 50% na semeadura e 50% em semeadura R6 são as melhores estratégias de manejo para obtenção de plantas de feijão-vagem com maior diâmetro de caule, mais altas e que produzem quantidades superiores de matéria fresca e número de vagens.

Palavras-chave: Adubação de cobertura. Componentes de produção. Parcelamento da adubação. *Phaseolus vulgaris* L.

*Corresponding author

Submitted for publication on 04/11/2019, approved on 28/01/2020 and published on 04/03/2020

¹Artigo extraído de Projeto de Pesquisa.

²Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias (CCA), Departamento de Agronomia, Campus Universitário, CEP 86051-990, Londrina, PR, Brasil. E-mail: monica_omura@hotmail.com; gustavo-freiria@hotmail.com; veronicapellizzaro@hotmail.com; ffavorettofurlan@gmail.com; sadayo@uel.br.

INTRODUCTION

Snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.) have wide applications for crop rotation and diversification of production because they can be grown in greenhouses and in the field, allowing for the reuse of growing structures and contributing to soil preparation for other vegetables within a single growing season (HELDWEIN *et al.*, 2010). Snap beans have significant socioeconomic benefits because of their small spatial requirements and simplicity of cultivation (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

The immature pod of the snap bean is a source of organic acids and phenolic compounds (antioxidants), and contains a balanced profile of vitamins, minerals, proteins, fibers, and sugars (KÁRAS *et al.*, 2014; SELAN *et al.*, 2014; ZARGAR *et al.*, 2017). It is present in the diets of people of various nationalities, as both a fresh and frozen commodity (IMMACULEE *et al.*, 2015). Snap beans are grown worldwide on approximately 28 million hectares, primarily in Brazil, the United States of America, Canada, Ethiopia, China, and Turkey (EX *et al.*, 2016).

Nitrogen (N) is one of the most exported nutrients by beans; nitrogen is a key component of amino acids, nucleic acids, and chlorophyll, and insufficient doses of it interfere with plant growth (CALONEGO *et al.*, 2010). Nitrogen must be available at the appropriate time and place for the root system of a plant to be able to absorb it (TAIZ *et al.*, 2017).

N can be lost by ammonia volatilization, leaching, surface runoff, denitrification, and microbial immobilization, all of which contribute to the low efficiency of nitrogenous mineral fertilizer uptake by plants (LARA CABEZAS *et al.*, 2000). Improper application of nitrogen can contaminate agricultural soils and increase production costs (SANTOS *et al.*, 2016). The appropriate quantity must be supplied in the physiological stages of higher demand for the formation and development of the yield components (WAMSER; MUNDSTOCK, 2007).

A common technique used to accomplish this is sidedressing fertilization, in which nutrients are provided after root development in installment doses or single applications of the full dose to capitalize on the full extraction capacity of more mature roots (BARZAN *et al.*, 2014).

INTRODUÇÃO

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma ótima opção para a rotação de culturas e diversificação da produção, pois pode ser cultivado tanto em ambientes protegidos quanto em campo, com o reaproveitamento das estruturas e do preparo do solo de outras hortaliças (HELDWEIN *et al.*, 2010). Além disso, proporciona benefícios socioeconômicos, pelo fato de ser produzido em pequenas propriedades, empregando integrantes da agricultura familiar sem a utilização de tecnologias onerosas (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

A vagem imatura é fonte de ácidos orgânicos e compostos fenólicos, que são antioxidantes, e possui teor adequado de nutrientes para uma dieta equilibrada, além de conter vitaminas, minerais, proteínas, fibras e açúcares (KÁRAS *et al.*, 2014; SELAN *et al.*, 2014; ZARGAR *et al.*, 2017). Está presente na dieta de pessoas de várias nacionalidades, tanto para consumo *in natura* quanto congelado (IMMACULEE *et al.*, 2015). Essa hortaliça é cultivada mundialmente em, aproximadamente, 28 milhões de hectares; principalmente, no Brasil, Estados Unidos, Canadá, Etiópia, China e Turquia (EX *et al.*, 2016).

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais exportados pelo feijoeiro, doses insuficientes desse nutriente interferem no crescimento das plantas (CALONEGO *et al.*, 2010), visto que compõe os aminoácidos, ácidos nucleicos e a clorofila. Por esse motivo, deve estar disponível no momento e local apropriados para que o sistema radicular consiga absorvê-lo (TAIZ *et al.*, 2017).

O N pode ser perdido pela volatilização da amônia, lixiviação, escoamento superficial, desnitrificação e imobilização microbiana; todos esses fatores são responsáveis pela baixa eficiência no aproveitamento de fertilizantes minerais nitrogenados pelas plantas (LARA CABEZAS *et al.*, 2000). Por outro lado, a aplicação desordenada desse elemento pode contaminar os solos agrícolas e elevar os custos da produção (SANTOS *et al.*, 2016). Para contornar esses problemas é necessário o fornecimento da quantidade adequada nos estádios fisiológicos de maior demanda para a formação e desenvolvimento dos componentes de rendimento (WAMSER; MUNDSTOCK, 2007).

Uma das técnicas utilizadas é a adubação de cobertura, que consiste na disponibilização dos nutrientes após o desenvolvimento radicular, com parcelamento da dose ou aplicação da dose integral, no momento em que há melhor capacidade de extração pelas raízes, a fim de evitar perdas (BARZAN *et al.*, 2014).

Nitrogen fertilization must be conducted with careful attention to the days after emergence (DAE) because the optimal application time is dependent upon the age of the plants, the time of sowing, the vital statistics, and the cultivar in production (SANTI *et al.*, 2006).

Several studies have produced conflicting findings with regard to nitrogen fertilizer application at varying points in the development of common beans, and controversy has arisen due to the influence of production systems, soil characteristics, and climatic factors upon the results (BERNARDES *et al.*, 2014; GUIMARÃES *et al.*, 2017). In addition, few studies take into account the specific requirements for the production of immature bean pods, a fact that hinders management actions and reduces the productive potential of this vegetable and, consequently, farmers' profits. The objective of this work was to fill this gap in the literature and to evaluate the effects of varying doses and application times of nitrogen fertilization upon the production of snap beans.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out from March to May 2018, in a greenhouse located at 23°19'44"S and 51°12'13"O in Londrina, Paraná. The cultivar Mimoso rasteiro® (Hortiteres, Indaiatuba-SP, Brazil) was used. This cultivar has a determinant growth habit, matures in 50 to 70 days and produces macarrão type pods with a light green color, a cylindrical shape, and a low fiber content.

The experimental design was completely randomized in a factorial scheme (2×7) + 1, represented by two doses of nitrogen (30 and 60 kg ha⁻¹) and seven fertilization regimes: integrally (100% of the dose at sowing or in phenological stages V3, V4, or R6; parceled (50% at sowing and 50% at V3, 50% at sowing and 50% at V4, or 50% at sowing and 50% at R6); and a control (no added N). Four replicates were sown per treatment, and each experimental unit consisted of a pot containing a plant.

Sixty 4 dm³ pots were filled with material from the eutrophic Red Latosol arable layer with the following chemical characteristics: pH CaCl₂ 0.01 M 5.6; Al³⁺ - 0.1 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 6.0 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 2.2 cmol_c dm⁻³; H⁺ + Al³⁺ = 4.61 cmol_c dm⁻³; K⁺ = 0.64 cmol_c dm⁻³; P = 27.2 mg dm⁻³; C = 7.6 g kg⁻¹; organic material = 13.1 g kg⁻¹; CTC total = 13.45 cmol_c dm⁻³ e V% = 65. The soil was amended with dolomitic limestone (V% 70) phosphorus (90 kg ha⁻¹ of P₂O₅) and potassium (100 kg ha⁻¹ of K₂O).

Adubações nitrogenadas considerando os dias após emergência (DAE) devem ser analisadas com atenção, visto que o período decorrido para a realização do manejo varia de acordo com a idade cronológica dos vegetais, época de semeadura, variações climáticas e cultivares (SANTI *et al.*, 2006).

Existem diversos trabalhos na literatura relacionados à adubação nitrogenada em diferentes épocas de aplicação em feijoeiro, mas as respostas são controversas e fortemente influenciadas pelo sistema de produção, por características do solo e fatores climáticos (BERNARDES *et al.*, 2014; GUIMARÃES *et al.*, 2017). Além disso, poucos estudos levam em consideração a especificidade para a produção das vagens imaturas, fato que dificulta as ações de manejo, reduz o potencial produtivo desta hortaliça e conseqüentemente o lucro dos agricultores. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar doses e épocas de adubação nitrogenada sobre a produtividade de feijão-vagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de março a maio de 2018, em casa de vegetação localizada a 23°19'44"S e 51°12'13"O na cidade de Londrina, Paraná. Utilizou-se a cultivar Mimoso rasteiro® (Hortiteres, Indaiatuba-SP, Brasil), que possui hábito de crescimento determinado, ciclo de 50 a 70 dias, vagens do tipo macarrão, coloração verde clara, formato cilíndrico e baixo teor de fibras.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial (2x7)+1, representado por duas doses de nitrogênio, 30 e 60 kg ha⁻¹, e sete épocas de adubação: integralmente (100% da dose): na semeadura e nos estádios fenológicos V3, V4, R6; parcelada: 50% na semeadura e 50% em semeadura V3, 50% na semeadura e 50% em Semeadura V4 e 50% na semeadura e 50% em Semeadura R6; e uma testemunha (sem adição de N). Foram semeadas quatro repetições por tratamento, e cada unidade experimental constituída por um vaso contendo uma planta.

Sessenta vasos de 4 dm³ foram preenchidos com material da camada arável de Latossolo Vermelho eutrófico com as características químicas: pH CaCl₂ 0,01 M - 5,6; Al³⁺ - 0,1 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 6,0 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 2,2 cmol_c dm⁻³; H⁺ + Al³⁺ = 4,61 cmol_c dm⁻³; K⁺ = 0,64 cmol_c dm⁻³; P = 27,2 mg dm⁻³; C = 7,6 g kg⁻¹; Matéria Orgânica = 13,1 g kg⁻¹; CTC total = 13,45 cmol_c dm⁻³ e V% = 65, posteriormente realizada a correção da fertilidade do solo com calcário dolomítico (V%70), fósforo e potássio (90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100 kg ha⁻¹ de K₂O).

Four seeds per pot were manually sown 2 cm below the surface of the soil. After 10 days, thinning was carried out, leaving one plant per pot. Irrigation was conducted manually as needed (FILGUEIRA, 2013). Pest insects including *Diabrotica speciosa* and aphid (*Aphis craccivora*) were controlled with neem-based organic insecticides. Fungicides were deemed unnecessary.

Urea was used as a source of N and was deposited around the plants and moistened by irrigation (BARZAN *et al.*, 2014) in the following pre-defined phenological stages: V3 (first completely open trefoil, or true leaf), V4 (third completely open trefoil), and R6 (flowering) (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

The harvest was conducted at 65 days after sowing (DAS). The length of the stem was measured from the base of the plant to the apex of the stem with a ruler graduated in centimeters. The diameter of the base of the plant was measured with a digital pachymeter.

The total number of pods (NTV) was defined as the sum of all pods from each plant, while the number of commercial pods (NVC) was defined as the number of pods per plant greater than ten centimeters in length. The total pod mass (MTV) was obtained by weighing all pods from each plant with an analytical balance, and the mass of commercial pods (MVC) per plant was obtained by weighing the commercial pods from each plant, also with the analytical balance.

The data were subjected to analysis of variance by the F test ($p \leq 0.05$), and the means were compared using the Tukey test ($p \leq 0.05$). Subsequently, the treatments were compared by orthogonal contrasts to the control ($p \leq 0.05$) with the aid of the Sisvar software.

RESULTS AND DISCUSSION

According to the analysis of variance of the basal diameter and the mass of commercial pods, there was a significant interaction ($p \leq 0.05$) between the nitrogen dose and the time of application of the nitrogen fertilizer. In isolation, these factors influenced the number of trefoils, the total number of commercial pods, and the total mass of pods. The length of the stem was significantly affected by the time of application of the nitrogen fertilizer.

The application of nitrogen fertilizer at sowing V4 and sowing R6 provided the best conditions for growth in terms of the height of the snap bean plants (Table 1).

A sementeira foi realizada manualmente, depositando-se quatro sementes por vaso a 2 cm abaixo da superfície do solo. Após 10 dias, o desbaste foi realizado, deixando-se uma planta por vaso. A irrigação foi feita manualmente, de acordo com a necessidade da cultura (FILGUEIRA, 2013). Os insetos vaquinha-patriota (*Diabrotica speciosa*) e pulgão (*Aphis craccivora*) foram controlados com inseticida orgânico à base de neem. Não houve necessidade de utilização de fungicidas.

A ureia foi utilizada como fonte de N, depositada em torno das plantas e imediatamente umedecida por meio da irrigação (BARZAN *et al.*, 2014) na sementeira e nos estádios fenológicos preestabelecidos: V3-primeiro trifólio completamente aberto, V4-terceiro trifólio completamente aberto e R6-florescimento (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A colheita foi realizada aos 65 dias após sementeira (DAS). O comprimento do caule foi aferido da região do colo até o ápice do caule, com auxílio de uma régua graduada em centímetros. O diâmetro do coleto foi mensurado com paquímetro digital.

O número total de vagens (NTV) foi obtido pelo somatório de todas as vagens de cada planta, o número de vagens comerciais (NVC) pela contagem de todas as vagens, por planta, maiores que dez centímetros de comprimento. A massa total de vagens (MTV) foi determinada pela pesagem em balança analítica de todas as vagens de cada planta e massa de vagens comerciais (MVC) por planta, determinada pela pesagem em balança analítica.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ($p \leq 0,05$), as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Posteriormente, os tratamentos foram comparados por contrastes ortogonais à testemunha adicional ($p \leq 0,05$) com auxílio do software SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância, considerando o diâmetro do coleto e a massa de vagens comerciais, houve interação significativa ($p \leq 0,05$) entre os fatores: doses de nitrogênio e épocas de aplicação do adubo nitrogenado. Isoladamente, esses fatores influenciaram o número de trifólios e os componentes de produção número total de vagens comerciais e massa total de vagens. O comprimento do caule foi afetado significativamente pela época de aplicação do adubo nitrogenado.

O parcelamento da adubação nitrogenada em sementeira V4 e sementeira R6 proporcionaram melhores condições para o crescimento em altura das plantas de feijão-vagem (Tabela 1).

Table 1 - Stem length (cm) as a function of the time of nitrogen fertilizer application in snap bean plants

Tabela 1 - Comprimento do caule (cm) em função de diferentes épocas de adubação nitrogenada em plantas de feijão-vagem

Fertilization times*	Stem length (cm)
100% sowing	24.25 b**
sowing V3	26.88 b
sowing V4	39.31 a
sowing R6	27.88 a
100% V3	19.00 b
100% V4	21.00 b
100% R6	27.00 b
DMS	4.11
C. V. (%)	28.84

* V3-first completely open trefoil, V4-third completely open trefoil and R6-flowering (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

** Averages followed by the same letter do not differ by the Tukey Test at 5% probability.

**V3-primeiro trifólio completamente aberto, V4-terceiro trifólio completamente aberto e R6-florescimento (OLIVEIRA et al., 2018).*

***Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.*

The supply of N in the total (100%) application of 30 kg ha⁻¹ was higher than the dose 60 kg ha⁻¹ for the characteristics number of pods and total mass of pods. On the other hand, the application of 60 kg ha⁻¹ N stimulated the production of trefoils (Table 2).

The numbers of trefoils, numbers of commercial and total pods, and total mass of pods were higher when fertilizer was applied at the time of sowing or in split doses at sowing V3, sowing V4, and sowing R6 (Table 2).

O fornecimento de N na dose total (100%) de 30 kg ha⁻¹ mostrou-se superior à dose 60 kg ha⁻¹ para as características número de vagens e massa total de vagens. Por outro lado, a aplicação de 60 kg ha⁻¹ N estimulou a produção de trifólios (Tabela 2).

O maior número de trifólios, número de vagens comerciais e totais, e massa total de vagens foram superiores com adubações na semeadura ou parcelamento das doses em semeadura V3, semeadura V4 e semeadura R6 (Tabela 2).

Table 2 - Number of trefoils (NT), number of commercial pods (NVC), total number of pods (NTV), and total mass of pods (MTV) per snap bean plant, depending on N doses and fertilization times

Tabela 2 - Número de trifólios (NT), número de vagens comerciais (NVC), número total de vagens (NTV) e massa total de vagens (MTV), por planta de feijão-vagem, em função de doses de de N e épocas de adubação

Dose (kg ha ⁻¹)	NT	NVC	NTV	MTV (g)
30	15.89 b**	13.04 a	22.86 a	73.89 a
60	18.00 a	7.39 b	15.04 b	43.42 b
DMS	1.87	1.72	2.98	10.11
Fertilization times	NT	NVC	NTV	MTV (g)
100% sowing	17.00 abc	10.88 a	18.88 abc	56.73 abc
sowing V3	18.50 abc	11.13 a	25.63 a	59.05 abc
sowing V4	19.38 ab	12.38 a	20.75 abc	72.23 ab
sowing R6	20.63 a	13.25 a	23.50 ab	81.64 a
100% V3	14.25 bc	8.50 ab	15.75 bc	49.84 bc
100% V4	15.00 bc	5.88 b	13.63 c	37.69 c
100% R6	13.88 c	9.50 ab	14.50 c	53.38 abc
DMS	5.37	4.94	8.56	29.03
C. V. (%)	20.48	31.27	29.19	31.97

* V3-first completely open trefoil, V4-third completely open trefoil, and R6-flowering (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

** Averages followed by the same letter do not differ by the Tukey Test at 5% probability.

* V3-primeiro trifólio completamente aberto, V4-terceiro trifólio completamente aberto e R6-florescimento (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

**Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

The dose of 60 kg ha⁻¹ N resulted in a reduced basal diameter of the plant when split between sowing time and stage V4, and when provided in entirety at stage V3, as compared to 30 kg ha⁻¹ N applications of the same types. The weight of commercial pods was also lower with a total dose of 60 kg ha⁻¹ N at the phenological stages V3 and V4 (Table 3).

Provision of 30 kg ha⁻¹ of N at sowing time and at the phenological stages V4 and R6 resulted in a larger diameter of the collection, but did not differ from the results gained from full fertilization at time of sowing. Larger diameters were measured on plants fertilized with a total dose of 60 kg ha⁻¹ N during the R6 phenologic stage.

In terms of the mass of the commercial pods, no significant difference was attributable to fertilization time or phenology during installment of fertilizer, and the lowest commercial pod masses were obtained with full fertilization at sowing time and in V4, with total doses of 30 and 60 kg ha⁻¹ N, respectively (Table 3).

A dose 60 kg ha⁻¹ N reduziu o diâmetro do coleto quando parcelada em semeadura e no estágio fenológico V4 e em dose integral em V3 quando comparada à adubação nesses tratamentos com 30 kg ha⁻¹ N. A massa de vagens comerciais também foi menor na dose total de 60 kg ha⁻¹ N nos estádios fenológicos V3 e V4 (Tabela 3).

O parcelamento da dose de 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura e nos estádios fenológicos V4 e R6 possibilitaram maior diâmetro do coleto, não diferindo da adubação integral na semeadura. Ao contrário, maiores respostas para essa característica com a dose total de 60 kg ha⁻¹ N foram obtidas com adubação integral em R6.

Para a característica massa de vagens comerciais, não houve diferenciação entre a época e/ou parcelamento da adubação, sendo que os menores resultados foram obtidos com adubação integral em semeadura e em V4 para as doses totais de 30 e 60 kg ha⁻¹ N, respectivamente (Tabela 3).

Table 3 – Plant basal diameter (DC) and mass of commercial pods (MVC) as a function of N dose (30 and 60 kg ha⁻¹) and time of fertilization in snap beans

Tabela 3 – Diâmetro do coleto (DC) e massa de vagens comerciais (MVC) em função da interação entre doses de N (30 e 60 kg ha⁻¹) e épocas de adubação em feijão-vagem

Fertilizer time*	DC (cm)		MVC (g)			
			Dose (kg ha ⁻¹)			
	30	60	DMS	30	60	DMS
100% sowing	4.89 Aab**	4.44 Ab		37.84 Ab	52.85 Aa	
sowing V3	4.47 Ab	4.37 Ab		57.79 Aab	39.23 Aab	
sowing V4	5.86 Aa	3.91 Bb		86.65 Aa	47.00 Aab	
sowing R6	4.71 Aa	4.53 Ab	0.64	88.90 Aa	55.62 Aa	28.24
100% V3	4.57 Ab	3.46 Bb		68.38 Aab	13.62 Bab	
100% V4	4.55 Ab	4.10 Ab		47.60 Aab	6.85 Bb	
100% R6	4.33 Ab	4.59 Aa		60.48 Aab	34.34 Aab	
DMS		0.99			43.33	
C. V (%)		10.13			39.75	

* V3-first completely open trefoil, V4-third completely open trefoil, and R6-flowering (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

** Means followed by the same uppercase letter in the row and lowercase in the column do not differ by F Test and Tukey Test at 5% probability.

*V3-primeiro trifólio completamente aberto, V4-terceiro trifólio completamente aberto e R6-florescimento (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

**Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo Teste F e Tukey a 5% de probabilidade.

When compared to the control, the fertilization treatments with 30 kg ha⁻¹ N installed at sowing V4 and at sowing R6 promoted an increase in the number and mass of commercial and total pods. When fertilization was carried out at sowing V3 and at V3, the effect was generally positive but did not extend to commercial pod mass and total number of pods. Fertilization with 60 kg ha⁻¹ N did not produce improvements over the control, and in stages V3 and V4, those plants produced fewer commercial pods, with a decrease in the mass of commercial pods in the V4 treatment also noted (Table 4).

The nutritional balance of the soil is key to enhancing crop yields; nutritionally unbalanced soil can limit production cause and excess nutrients to be retained in the soil, adversely affecting soil properties (DATT *et al.*, 2013). A plant's needs for N vary according to its phenological stage. For some species, an abundance of N stimulates vegetative development, to the detriment of the production of reproductive structures, such as pods (SILVA *et al.*, 2011). The amount of N applied to the soil directly influences the formation and development of trefoils; Mingotte *et al.* (2014) found a positive linear correlation for this variable with increasing N application, with better responses at the maximum dose of 120 kg ha⁻¹. The present study used only two doses, and the largest dose (60 kg ha⁻¹ of N) affected only the production of trefoils.

Ao ser comparada à testemunha, a adubação com 30 kg ha⁻¹ N parcelada em semeadura V4 e semeadura R6 promoveu aumento do número e massa de vagens comerciais e total. Quando realizada em semeadura V3 e V3, o efeito positivo dessa ação de manejo persistiu, exceto para as características massa de vagens comerciais e número total de vagens, respectivamente. Em nenhuma época a adubação com 60 kg ha⁻¹ N foi superior à testemunha, pelo contrário, nos estádios V3 e V4, as plantas produziram menor número de vagens comerciais; além disso, houve diminuição da massa de vagens comerciais em V4 (Tabela 4).

O equilíbrio nutricional é um dos aspectos mais importantes para potencializar o rendimento das culturas, pois, sem ele, a produção é limitada e o excesso de nutrientes é retido no solo, afetando suas propriedades (DATT *et al.*, 2013). As necessidades das plantas por N variam de acordo com os estádios fenológicos. Para algumas espécies, a abundância desse elemento estimula o desenvolvimento vegetativo em detrimento da produção de vagens (SILVA *et al.*, 2011). Além disso, a quantidade aplicada ao solo influi na formação e desenvolvimento de trifólios. Mingotte *et al.* (2014) verificaram comportamento linear crescente para esta variável, com melhor resposta na dose máxima de 120 kg ha⁻¹. Apesar do presente estudo utilizar somente duas doses, a maior (60 kg ha⁻¹ de N) afetou apenas a produção de trifólios.

Table 4 - Interactions of doses of N and times of fertilization in snap beans in relation to the control (without addition of N) for the number of commercial pods (NVC), total number of pods (NTV), mass of commercial pods (MVC), and total pod mass (MTV)

Tabela 4 - Contrastes entre as interações de doses de N e épocas de adubação em feijão-vagem em relação ao controle (sem adição de N) para as variáveis: número de vagens comerciais (NVC), número total de vagens (NTV), massa de vagens comerciais (MVC) e massa total de vagens (MTV)

Doses (kg ha ⁻¹)	Fertilization times*	NVC	NTV	MVC (g)	MTV (g)
30	100% sowing	3.75 ^{ns}	8.00*	4.29 ^{ns}	14.00 ^{ns}
30	sowing V3	4.75*	14.75**	24.25 ^{ns}	29.19*
30	sowing V4	6.75**	12.25**	53.10**	51.47**
30	sowing R6	8.00**	13.75**	55.35**	60.16**
30	100% V3	5.50**	6.25 ^{ns}	34.84**	35.39**
30	100% V4	1.75 ^{ns}	1.25 ^{ns}	14.05 ^{ns}	17.74 ^{ns}
30	100% R6	4.75*	0.50 ^{ns}	26.94*	23.57 ^{ns}
60	100% sowing	2.00 ^{ns}	0.25 ^{ns}	19.30 ^{ns}	17.83 ^{ns}
60	sowing V3	1.50 ^{ns}	7.00 ^{ns}	5.68 ^{ns}	7.29 ^{ns}
60	sowing V4	2.00 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	13.45 ^{ns}	11.36 ^{ns}
60	sowing R6	2.50 ^{ns}	3.75 ^{ns}	22.07 ^{ns}	21.49 ^{ns}
60	100% V3	-4.50*	-4.25 ^{ns}	19.93 ^{ns}	-17.33 ^{ns}
60	100% V4	-6.00**	-3.50 ^{ns}	-26.70*	-23.99 ^{ns}
60	100% R6	-1.75 ^{ns}	-1.00 ^{ns}	0.79 ^{ns}	1.58 ^{ns}

* V3-first completely open trefoil, V4-third completely open trefoil and R6-flowering (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

*, **, and ns denote significance at 5%, 1%, and not significant, respectively, by T Test at 5% probability.

* V3-primeiro trifólio completamente aberto, V4-terceiro trifólio completamente aberto e R6-florescimento (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

*, ** e ns Significativo a 5%, 1% e não Significativo pelo Teste T a 5% de probabilidade.

Application of 30 kg ha⁻¹ N at sowing/V4 and at sowing/R6 promoted the elongation of the stem. Fertilization with a single dose at the V3 or V4 phenological stages, on the other hand, promoted stem thickening. These findings indicate that adequate amounts of N were provided for the growth of the plants, and that N deficiencies paralyze primary and secondary plant growth and make the stems more slender and lignified due to the accumulation of remaining carbohydrates (TAIZ *et al.*, 2017).

Guimarães *et al.* (2017) observed that the height of plants fertilized with N in the phenological stages V2, V3, and V4 was greater than the height of plants fertilized in R5 and R6 and concluded that plant height can be optimized through the application of fertilizer at the beginning of development in common beans. It is important to note that the researchers found variations in responses when working with different doses of N and different cultivars.

O parcelamento da dose de 30 kg ha⁻¹ de N em semeadura/V4 e semeadura/R6 promoveu o alongamento do caule. Por outro lado, a adubação, sem o parcelamento dessa dose, em V3 ou em V4 permitiu seu espessamento. Assim, esses tratamentos disponibilizaram quantidades adequadas de N para o crescimento do feijão-vagem. A deficiência desse nutriente paralisa o crescimento vegetal primário e secundário e torna os caules mais esguios e lignificados em razão do acúmulo de carboidratos remanescentes (TAIZ *et al.*, 2017).

Guimarães *et al.* (2017) observaram que a altura das plantas adubadas com N nos estádios fenológicos V2, V3 e V4 era maior do que a altura de plantas adubadas em R5 e R6 e concluíram que a maneira mais adequada de melhorar essa característica seria realizar a adubação no início do desenvolvimento do feijoeiro; além disso, constataram variações das respostas ao trabalhar com diferentes doses e cultivares.

Appropriate doses of N improve vegetative development and have direct effects on productivity, as an appropriate dose promotes rapid leaf expansion, photosynthetic efficiency, and the production of photoassimilates. Synthesized carbohydrates are converted into dry matter mass, generating a higher number of quality pods (EL-AWADI *et al.*, 2011; BERNARDES *et al.*, 2014).

When one nutrient is found in excessive amounts in the soil solution, it impairs the effectiveness of other nutrients and compromises the productivity of the crop. This phenomenon is explained by the Maximum Law, as it relates to soil fertility (VOISIN, 1973). Bernardes *et al.* (2014) indicated that crops were compromised by a fertilization-related increase of N in the sowing furrow due to resulting acidification of the soil promoted by increased nitrate and reduced quantities of mineralizable N (SILVA *et al.*, 2011). The 60 kg ha⁻¹ dose applied in relatively small pots was thus a likely cause of the low productivity of the plants in this treatment, as compared to the control.

The absence of N in the control treatment may have stimulated the biological fixation of atmospheric N by diazotrophic microorganisms native to the soil used in the experiment (SILVA *et al.*, 2019), while the excess (60 kg ha⁻¹) of N provided in the treatment impaired the action of these microorganisms, resulting in the low performance of this dose as compared to the control.

The 30 kg ha⁻¹ dose split between time of sowing/V4 and time of sowing/R6 resulted in increased vegetative development and increased production of pods, with greater production of commercially viable pods and accumulation of dry matter. Araújo *et al.* (2009), working with common beans, found that splitting a given dose of N between the time of sowing and covering promoted an increase of 40% production over the treatment in which the dose was applied in full at the time of sowing. Likewise, Perez *et al.* (2013) obtained the highest productivity in plants when the application of N was divided into installments.

CONCLUSIONS

Nitrogen fertilization with 30 kg ha⁻¹ N applied 50% at sowing and 50% at V4 or 50% at sowing and 50% at R6 were determined to be the best management strategies for producing snap bean plants with larger stem diameters, greater height, greater amounts of fresh matter, and a greater number of pods.

A dose adequada de N melhora o desenvolvimento vegetativo e tem efeitos diretos sobre a produtividade, por promover a rápida expansão foliar, a eficiência fotossintética e a produção de fotoassimilados. Os carboidratos sintetizados são convertidos em massa de matéria seca, gerando maior número de vagens de qualidade (EL-AWADI *et al.*, 2011; BERNARDES *et al.*, 2014).

Quando um nutriente se encontra em quantidade excessiva na solução do solo prejudica a eficácia de outros e compromete a produtividade da cultura. Esse fenômeno é explicado pela Lei do máximo, relaciona-se à fertilidade do solo (VOISIN, 1973). Bernardes *et al.* (2014) mencionam que alguns cultivos tiveram seu estande comprometido pelo aumento de N no sulco de semeadura, decorrente da acidificação do solo (redução do pH) promovida pela adubação que aumenta as quantidades de nitrato e reduz a quantidade de N mineralizável (SILVA *et al.*, 2011). Dessa maneira, provavelmente, a dose de 60 kg ha⁻¹ aplicada em vasos relativamente pequenos tenha relação direta com o baixo desempenho produtivo das plantas deste tratamento em comparação com a testemunha.

A ausência de N no tratamento testemunha provavelmente estimulou a fixação biológica do N atmosférico por microrganismos diazotróficos nativos do solo (SILVA *et al.*, 2019), enquanto o excesso (60 kg ha⁻¹) prejudicou a ação desses microrganismos, o que explica o baixo desempenho dessa dose em relação à testemunha.

Além do desenvolvimento vegetativo, o parcelamento de 30 kg ha⁻¹ em semeadura/V4 e semeadura/R6 proporcionou melhores condições para a produção de maior número de vagens total, com padrão comercial e acúmulo de matéria seca. Araújo *et al.* (2009), trabalhando com feijão-comum, constataram que a dose de N parcelada na semeadura e cobertura promoveu aumento de 40% em relação ao tratamento sem parcelamento da dose, aplicada na semeadura. Da mesma forma, Perez *et al.* (2013) obtiveram as maiores produtividades quando a aplicação de N foi parcelada.

CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada com 30 kg ha⁻¹ N parcelada 50% na semeadura e 50% em V4 ou 50% semeadura e 50% em R6 são as melhores estratégias de manejo para obtenção de plantas de feijão-vagem com maior diâmetro de caule, mais altas e que produzem quantidades superiores de matéria fresca e número de vagens.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- ARAÚJO, P. R.; ARAÚJO, G. A. A.; ROCHA, P. R. R.; CARNEIRO, J. E. S. Combinações de doses de molibdênio e nitrogênio na adubação da cultura do feijoeiro-comum. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 227-234, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1807-86212009000200007>
- BARZAN, R. R.; FREGONEZI, G. A. F.; FURLAN, F. F.; KLEIN, P. H.; TAKAHASHI, L. S. A. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura sobre a produtividade de feijão-vagem de crescimento determinado. **Synergismus Scientifica UTFPR**, v. 9, n. 1, p. 1-4, 2014.
- BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M.; MESQUITA, M. A. M.; CUNHA, P. C. R. Resposta do feijoeiro de outono-inverno a fontes e doses de nitrogênio em cobertura. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 2, p. 458-468, 2014.
- CALONEGO, J. C.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BARBOSA, R. D.; LEITE, G. H. P.; GRASSI FILHO, H. Adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro com suplementação de molibdênio via foliar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 334-340, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000300003>
- DATT, N.; DUBEY, Y. P.; CHAUDHARY, R. Studies on impact of organic, inorganic and integrated use of nutrients on symbiotic parameters, yield, quality of French-bean (*Phaseolus vulgaris* L.) vis-à-vis soil properties of an acid alfisol. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 22, p. 2645-2654, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR12.942>
- EL-AWADI, M. E.; EL-BASSIONY, A. M.; FAWZY, Z. F.; EL-NEMR, M. A. Response of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants to nitrogen fertilizer and foliar application with Methionine and Tryptophan. **Nature and Science**, v. 9, n. 5, p. 87-94, 2011.
- EX, M. K.; GUPTA, S. K.; MITTAL, T. C.; SHARMA, S. R. Influence of storage temperatures on the protein content of french beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Asian Journal of Dairy and Food Research**, v. 35, n. 2, p. 164-167, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18805/ajdfr.v35i2.10725>
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2013. 421 p.
- GUIMARÃES, R. A. M.; BRAZ, A. J. B. P.; SIMON, G. A.; FERREIRA, C. J. B.; BRAZ, G. B. P.; SILVEIRA, P. M. Resposta de cultivares de feijoeiro a adubação nitrogenada em diferentes estádios fenológicos. **Global Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 136-148, 2017.
- GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; ARAÚJO, R. B.; LIMA NETO, B. P.; SILVA, V. B.; MESQUITA, R. O. Sistemas de tutoramento e espaçamentos de plantio na produção de feijão de metro. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 613-620, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620170422>
- HELDWEIN, A. B.; STRECK, N. A.; STURZA, V. S.; LUIS HENRIQUE LOOSE, L. H.; ZANON, A. J.; TOEBE, M.; SOUZA, A. T.; PETERS, M. B.; KARLEC, F. Plastocrono e rendimento de feijão-de-vagem cultivado sob ambiente protegido e no ambiente externo em semeadura tardia no outono. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 768-773, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000045>
- IMMACULEE, N.; UMA, M. S.; HEGDE, N.; NAGARAJA, T. E.; SOMASHEKAHAR, Y. M. Microsatellite DNA marker aided diversity analysis in french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Legume Research**, v. 38, n. 1, p. 16-23, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5958/0976-0571.2015.00003.X>
- KARÁS, M.; JAKUBCZYK, A.; SZYMANOWSKA, U.; MATERSKA, M.; ZELINSKA, E. Antioxidant activity of protein hydrolysates from raw and heat-treated yellow string beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 13, n. 4, p. 385-391, 2014. DOI: <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2014.4.5>
- LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KONDÖRFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 363-376, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000200014>
- MINGOTTE, F. L. C.; YADA, M. M.; JARDIM, C. A.; FIORENTIN, C. F.; LEMOS, L. B.; FORNASIERI FILHO, D. Sistemas de cultivo antecessores e doses de nitrogênio em cobertura no feijoeiro em plantio direto. **Bioscience Journal**, v. 30, supplement 2, p. 696-706, 2014.

- OLIVEIRA, M. G. C.; OLIVEIRA, L. F. C.; WENDLAND, A.; GUIMARÃES, C. M.; QUINTELA, E. D.; BARBOSA, F. R.; CARVALHO, M. C. S.; LOBO JUNIOR, M.; SILVEIRA, P. M. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 59 p.
- PEREZ, A. A. G; SORATTO, R. P.; MANZATTO, N. P.; SOUZA, E. F. C. Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1276-1287, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500017>
- SANTI, L. A.; DUTRA, L. M. C. D.; MARTIN, T. N.; BONADIMAN, R.; BELLÉ, G. L.; FLORA, L. P.; JAUER, A. Adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro em plantio convencional. **Ciência Rural**, v. 36, n. 4, p. 1079-1085, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000400006>
- SANTOS, S. M. C.; FERNADES, D. M.; ANTONAGELO, J. A. Fontes e doses de nitrogênio na nutrição, produção e qualidade de grãos do feijoeiro comum. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 5, n. 1, p. 69-82, 2016.
- SELAN, M.; KASTELEC, D.; JAKOPIC, J.; VEBERIC, R.; MIKULI-PETKOVSEK, M.; KACJAN-MARSIC, N. Hail net cover, cultivar and pod size influence the chemical composition of dwarf French bean. **Scientia Horticulturae**, n. 175, p. 95-104, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.06.002>
- SILVA, D. F.; SILVA, N. V.; DANTAS, T. A. G.; GONÇALVES, A. C. M.; SILVA, O. P. R. Produtividade de espigas e grãos verdes no milho em função de fontes e doses de N. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 2, p. S3641-S3648, 2011.
- SILVA, E. M.; SANTOS, M. M.; LOPES, M. B. S.; FIDELIS, R. R.; ROCHA, W. S.; CHAGAS JUNIOR, A. F. Eficiência de rizóbios sob doses de fósforo na cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 67-77, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21206/rbas.v9i2.6415>
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.
- VOISIN, A. **Adubos - Novas leis científicas de sua aplicação**. São Paulo: Mestre Jou, 1973. 130 p.
- WAMSER, A. F.; MUNDSTOCK, C. M. Adubação nitrogenada em estádios fenológicos em cevada, cultivar "MN 698". **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 942-948, 2007.
- ZARGAR, S. M.; MAHAJAN, R.; NAZIR, M.; NAGAR, P.; KIM, S. T.; RAI, V.; MASI, A.; AHMAD, S. M.; SHAH, R. A.; GANAI, N. A.; AGRAWAL, G. K.; RAKWAL, R. Common bean proteomics: Present status and future strategies. **Journal of Proteomics**, v. 169, p. 1-34, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2017.03.019>