



PATRICIANI ESTELA CIPRIANO

**CRESCIMENTO E QUALIDADE DE CEBOLA E EFEITO
RESIDUAL EM ALFACE EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO
NITROGÊNIO E ENXOFRE**

**LAVRAS – MG
2017**

PATRICIANI ESTELA CIPRIANO

**CRESCIMENTO E QUALIDADE DE CEBOLA E EFEITO RESIDUAL EM ALFACE
EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO NITROGÊNIO E ENXOFRE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Prof. Dra. Maria Ligia de Souza Silva
Orientadora

Prof. Dr. Luiz Roberto Guimarães Guilherme
Coorientador

**LAVRAS – MG
2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Cipriano, Patriciani Estela.

Crescimento e qualidade da cebola e efeito residual em alface
em função da interação nitrogênio e enxofre / Patriciani Estela
Cipriano. - 2017.

86 p.

Orientador(a): Maria Ligia de Souza Silva.

Coorientador(a): Luiz Roberto Guimarães Guilherme.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. interação iônica. 2. efeito residual. 3. pós-colheita. I. Silva,
Maria Ligia de Souza. II. Guilherme, Luiz Roberto Guimarães. III.
Título.

PATRICIANI ESTELA CIPRIANO

**CRESCIMENTO E QUALIDADE DE CEBOLA E EFEITO RESIDUAL EM ALFACE
EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO NITROGÊNIO E ENXOFRE**

**GROWTH AND QUALITY OF ONION AND RESIDUAL EFFECT IN LETTUCE IN
THE FUNCTION OF NITROGEN AND SULFUR INTERACTION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADA em 17 de abril de 2017.

Prof. Dr. Valdemar Faquin
Prof. Juliano Tadeu Vilela de Resende

UFLA
UNICENTRO

Prof. Dra. Maria Ligia de Souza Silva
Orientadora

Prof. Dr. Luiz Roberto Guimarães Guilherme
Coorientador

**LAVRAS – MG
2017**

*À minha mãe Heloisa,
Ao meu pai Aginaldo,
À minha irmã Hellen
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, por guiar-me pelo caminho correto a ser seguido e pelos objetivos alcançados;

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida para a realização do mestrado;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de mestrado;

Ao Departamento de Ciência do Solo, por disponibilizar condições para a realização do experimento;

À professora Maria Ligia, pela orientação e ensinamentos;

Ao Cleber e Anderson pelo apoio com a execução do projeto;

Ao meus pais, Aguinaldo e Heloisa que sempre me incentivaram, apoiaram e não mediram esforços para ajudar-me, por todo amor, esforço e compreensão principalmente nas horas de maior dificuldade;

À minha irmã Hellen, pelo apoio e carinho oferecido em todos os momentos;

Aos meus amigos e alunos da Pós-graduação, Matias, Rodrigo, Geslin, Deivisson, Raquel, Zélio e Lucas, pelo companheirismo;

Aos colegas de mestrado, alguns mais próximos, outros nem tanto, mas que de alguma forma contribuíram;

Ao aluno Alessandro, pela ajuda durante a realização desse trabalho;

A todos os funcionários do DCS/UFLA;

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

“As nuvens mudam sempre de posição, mas são sempre nuvens no céu. Assim devemos ser todo dia, mutantes, porém, leais com o que pensamos e sonhamos; lembre-se, tudo se desmancha no ar, menos os pensamentos”. (Paulo Beleki)

RESUMO

Quantidades adequadas de N e S são importantes para alcançar altas produtividades e também produtos de qualidade. Objetivou-se estudar a interação entre N e S no crescimento de plantas de cebola cv. Diamantina e na qualidade pós-colheita de seus bulbos, usando a técnica do elemento marcado (^{15}N), como também o efeito residual desta adubação na nutrição e produção de alface cv. Verônica. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3×5 , com três doses de S (0, 20, 40 mg dm^{-3}) e cinco doses de N (0, 40, 60, 80, 100 mg dm^{-3}) com quatro repetições. Junto às doses de N foi aplicado o ^{15}N , através da ureia marcada, que correspondeu a 3% do total de N a ser aplicado. Em sucessão a cebola foi cultivada a alface, apenas com o efeito residual da adubação aplicada anteriormente. As variáveis em estudo foram: pungência, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação sólidos solúveis/acidez titulável (SS/AT), massa fresca de bulbos (MFB), massa seca de bulbos (MSB), perda de matéria fresca do bulbo aos 10, 55 e 110 dias (PMFB10, PMFB55, PMFB110), massa seca parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), teor e acúmulo de N e S, relação N/S, N na planta proveniente do fertilizante (%NPPF), quantidade de N na planta proveniente de fertilizante (QNPPF) e aproveitamento do N proveniente do fertilizante (%APF) para a cultura da cebola. Para a cultura da alface foram avaliados: massa seca parte aérea (MSPA), teor e acúmulo dos macronutrientes e relação N/S. A aplicação de S contribuiu para redução da PMFB e aumento de MFB e MSB em baixas doses de N. Bulbos mais pungentes, maiores %SS e menores AT foram observados com a aplicação de S, independentemente da quantidade de N disponível. Constatou-se que a aplicação de S aumenta a produção de MSPA independente da dose de N aplicada e quando na ausência de aplicação de S, o aumento na MST acompanhou o incremento nas doses de N. Na dose de 100 mg dm^{-3} de N as variáveis QNPPF e APF não sofreram influência da aplicação de S, com o maior aproveitamento do N proveniente do fertilizante pela cebola sendo obtido com o tratamento com 40 mg dm^{-3} de N e de S, com 56,4% nas condições em que foram realizadas esse experimento. Quanto ao efeito residual, observou-se o incremento nas doses de N e S proporcionaram o aumento no acúmulo de N, S e P e redução no acúmulo de K. A aplicação de S reduziu o acúmulo de Ca e Mg, porém esses valores aumentaram com o aumento nas doses de N. A combinação entre as maiores doses de N e S aplicadas proporcionaram o maior acúmulo de MSPA. E o efeito residual da adubação utilizada para as plantas de cebola não limitou o desenvolvimento das plantas de alface cv. Verônica. A interação entre N e S afetou positivamente, demonstrando que a aplicação de S tem um efeito positivo sobre as culturas em estudo.

Palavras-chave: *Allium cepa* L. *Lactuca sativa* L. Interação iônica.

ABSTRACT

Adequate amounts of N and S are important to achieve high productivity and also quality products. The objective of this study was to the interaction between N and S in the development of plants of onion (*Allium cepa* L.) and in post-harvest quality of your bulbs, using the technique of the marked element (^{15}N), as well as the residual effect of nitrogen on nutrition and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.). The experiment was conducted in a greenhouse, in a completely randomized factorial 3×5 , with three doses of S (0, 20, 40 mg dm^{-3}) and five doses of N (0, 40, 60, 80, 100 mg dm^{-3}) with four replications. With the doses of N was applied the ^{15}N , via the urea checked, which corresponded to 3% of the total N applied. In succession, the onion has been cultivated lettuce, with only the residual effect of nitrogen applied earlier. The variables in the study were: pungency, soluble solids (SS), titratable acidity (TA), , soluble solids / total titratable acidity ratio (SS/TA), fresh bulb mass (FBM), dry bulb mass (DBM), fresh matter loss bulb at 10, 55 and 110 days (FMLB10, FMLB55, F|MLB110), dry mass aerial part (DMAP), total dry mass (TDM), N and S content and accumulation, N/S ratio, N in the plant from the fertilizer (% Ndff), amount of N in the plant from the fertilizer (Adff) and utilization of the N from the fertilizer (% UNff) for the onion culture. For the lettuce crop were evaluated: dry mass aerial part (DMAP), content and accumulation of the macronutrients and N/S ratio. The application of S contributed to reduction of FMLB and increase of FBM and DBM in low doses of N. More pungent bulbs, higher % SS and lower TA were observed with the application of S regardless of the amount of N available. It was found that the application of S increases the production of DMAP independent of the dose of N applied and when in the absence of application of S, the increase in TDM accompanied the increase in the doses of N. At the dose of 100 mg dm^{-3} of N, the Ndff and UNff variables were not influenced by the application of S with the best use of N from the fertilizer by the onion being obtained with the treatment with 40 mg dm^{-3} of N and S, with 56.4% under the conditions under which this experiment was carried out. As for the residual effect, the increase in N and S doses showed an increase in N, S and P accumulation and a reduction in K accumulation. The application of S reduced the accumulation of Ca and Mg, but these values increased with the increase in N doses. The combination between the higher doses of N and S applied provided the greater accumulation of DMAP. And the residual effect of the fertilization used for the onion plants did not limit the development of lettuce plants cv. Veronica. The interaction between N and S affected positively, demonstrating that the application of S has a positive effect on the cultures under study.

Keywords: *Allium cepa* L. *Lactuca sativa* L. Ionic interaction.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1 - INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO E ENXOFRE NOS ATRIBUTOS QUALITATIVOS DA CEBOLA

- Figura 1 - Pungência em resposta as diferentes doses de N e S aplicadas em plantas de cebola..... 51
- Figura 2 - Acidez titulável (AT) (A), Sólidos Solúveis (SS) (B) e Relação Sólidos Solúveis / Acidez Titulável (SS/AT) (C) em resposta as diferentes doses de N e S aplicadas em plantas de cebola..... 51
- Figura 3 - Massa Fresca do Bulbo (MFB) (a) e Massa Seca do Bulbo (MSB) (b) em resposta as diferentes doses de N e S aplicadas em plantas de cebola..... 52
- Figura 4 - Perda de massa fresca do bulbo aos 10 (PMFB 10) (a), 55 (PMFB 55) (b) e 110 (PMFB 110) (c) dias após colheita, em resposta as diferentes doses de N e S aplicadas em plantas de cebola..... 52

ARTIGO 2 - NITROGÊNIO E ENXOFRE NO CRESCIMENTO DA CEBOLA

- Figura 1 - Massa seca parte aérea (a) e Massa seca total (b) de plantas de cebolas submetidas a diferentes doses de N e S..... 66
- Figura 2 - Teor de N (a), Teor de S (b), em parte aérea de plantas de cebola submetidas a diferentes doses de N e S..... 67
- Figura 3 - Acúmulo de N (a), Acúmulo de S (b), em parte aérea de plantas de cebola submetidas a diferentes doses de N e S..... 67
- Figura 4 - Relação N/S em parte aérea de plantas de cebola submetidas a diferentes doses de N e S..... 67
- Figura 5 - % N na planta proveniente de fertilizante em parte aérea de plantas de cebola submetidas a diferentes doses de N e S..... 68
- Figura 6 - Quantidade de N na planta proveniente de fertilizante e Aproveitamento de N proveniente de fertilizante em parte aérea de plantas de cebola submetidas a diferentes doses de N e S..... 68

ARTIGO 3 - ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS DE ALFACE CULTIVADAS SOB EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO COM N E S EM CEBOLA

- Figura 1 - Massa seca da parte aérea (MSPA) na parte aérea de plantas de alface..... 74
- Figura 2 - Teor (a) e acúmulo (b) de N na parte aérea de plantas de alface..... 75
- Figura 3 - Teor (a) e acúmulo (b) de S na parte aérea de plantas de alface..... 77
- Figura 4 - Relação N/S na parte aérea de plantas de alface..... 78
- Figura 5 - Teor (a) e acúmulo (b) de P na parte aérea de plantas de alface..... 78
- Figura 6 - Teor (a) e acúmulo (b) de K na parte aérea de plantas de alface..... 79
- Figura 7 - Teor (a) e acúmulo (b) de Ca e teor (c) e acúmulo de Mg (d) na parte aérea de plantas de alface..... 81

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1 - INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO E ENXOFRE NOS ATRIBUTOS QUALITATIVOS DA CEBOLA

Tabela 1 - Valores do quadrado médio da análise de variância para atributos sólidos solúveis (SS), acidez titulável em ácido pirúvico (ATAP), acidez titulável total (ATT), relação sólidos solúveis e acidez titulável total (SS/ATT), pungência, massa fresca do bulbo (MFB), massa seca do bulbo (MSB), perda de matéria fresca do bulbo aos 10 dias após a colheita (PMFB10), aos 55 dias após a colheita (PMFB 55), e aos 110 dias após a colheita (PMFB 110) de acordo com as doses de N e S aplicadas em plantas de cebola. Lavras-MG, 2016 50

ARTIGO 2 - NITROGÊNIO E ENXOFRE NO CRESCIMENTO DA CEBOLA

Tabela 1 - Análises químicas e físicas do Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico..... 66

Tabela 2 - Valores do quadrado médio da análise de variância para variáveis massa seca parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), Teor de N e S, Relação N/S, Acúmulo N e S, N na planta proveniente de fertilizante (NPPF), quantidade de N na planta proveniente de fertilizante (QNPPF) e aproveitamento de N proveniente de fertilizante (APF) 66

ARTIGO 3 - ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS DE ALFACE CULTIVADAS SOB EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO COM N E S EM CEBOLA

Tabela 1 - Análises químicas e físicas do Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico..... 72

Tabela 2 - Valores do quadrado médio da análise de variância para variáveis massa seca parte aérea (MSPA), Teor de N, S, P, K, Ca e Mg, e Acúmulo de N, S, P, K, Ca e Mg, e relação N/S..... 74

LISTA DE ABREVIATURAS

%APF	Porcentagem do aproveitamento pela planta do N proveniente de fertilizante
%NPPF	Porcentagem de nitrogênio na planta proveniente de fertilizante
¹⁵ N	Isótopo do nitrogênio
Al	Alumínio
AT	Acidez titulável
B	Boro
Ca	Cálcio
Cu	Cobre
Fe	Ferro
H+Al	Hidrogênio + alumínio
K	Potássio
MFB	Massa fresca do bulbo
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
MSB	Massa seca do bulbo
MSPA	Massa seca da parte aérea
MST	Massa seca total
N	Nitrogênio
N/S	Relação nitrogênio e enxofre
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PMFB10	Perda de matéria fresca do bulbo aos 10 dias
PMFB110	Perda de matéria fresca do bulbo aos 110 dias
PMFB55	Perda de matéria fresca do bulbo aos 55 dias
Prem	Fósforo remanescente
QNPPF	Quantidade de nitrogênio na planta proveniente de fertilizantes
S	Enxofre
SS	Sólidos solúveis
SS/AT	Relação sólidos solúveis e acidez titulável
T	Capacidade de troca de cátions à pH 7
V	Saturação por bases atual do solo
Zn	Zinco

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	13
1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Cultura da Cebola	15
2.1.1	Aspectos botânicos e fisiológicos	16
2.1.2	Aspectos econômicos e de produção	17
2.2	Nitrogênio (N)	18
2.2.1	Isótopo de Nitrogênio (¹⁵N)	20
2.3	Enxofre (S)	22
2.4	Relação Nitrogênio e Enxofre (N/S)	23
2.5	Qualidade no pós-colheita	25
2.5.1	Perda de massa fresca	26
2.5.2	Acidez	26
2.5.3	Sólidos solúveis (SS)	29
2.5.4	Relação Sólidos Solúveis/Acidez titulável (SS/AT)	27
2.5.5	Pungência	27
2.6	Efeito Residual da adubação	28
3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
	REFERÊNCIAS	31
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	40
	ARTIGO 1 - QUALIDADE PÓS-COLHEITA DA CEBOLA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E ENXOFRE	40
	ARTIGO 2 - NITROGÊNIO E ENXOFRE NO CRESCIMENTO DA CEBOLA	53
	ARTIGO 3 - ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS DE ALFACE CULTIVADAS SOB EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO COM N E S EM CEBOLA.	69

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma das hortaliças mais consumidas tanto pela população mundial quanto pelos brasileiros. No Brasil, a importância econômica da cebola aumentou nos últimos anos, devido a algumas propriedades terapêuticas que lhe têm sido atribuídas por pesquisas recentes que comprovam os efeitos benéficos para a saúde.

O elevado consumo de cebola está relacionado a sua composição, em que estão presentes vários minerais, vitaminas (B1, B2 e C) e compostos organossulfurados que são importantes na prevenção e tratamento de diversas doenças incluindo câncer, doenças cardiovasculares, obesidade, hipercolesterolemia, diabetes tipo 2, hipertensão, catarata e distúrbios do sistema digestivo (LANZOTTI, 2006). O percentual de cada constituinte e os atributos qualitativos podem variar em função do genótipo, manejo da cultura, colheita e pós colheita.

A quantidade e qualidade dos compostos encontrados na cebola pode ser atribuída a vários nutrientes. Dentre os nutrientes, o nitrogênio (N) e o enxofre (S) se destacam no crescimento da cebola, pois podem influenciar aspectos importantes do crescimento do bulbo, tais como: tamanho, maturação e qualidade, podendo resultar em alterações quanto a produtividade da cultura (BYSTRICKÁ et al., 2014). Nesse sentido, vale destacar que o N e S podem interagir entre si e também com outros nutrientes, tendo seus reflexos em diversos tipos de aminoácidos e na molécula de ferredoxina, que é componente importante na fotossíntese sendo esta fornecedora de elétrons para a redução de N_2 para NH_4^+ e de SO_4^{2-} para adenosina-5'-fosfosulfato.

Nesse contexto, quando feita de forma correta, a nutrição mineral proporciona maior produtividade, além de garantir boa qualidade da cebola. Sendo que esta qualidade pode ser afetada pelas quantidades de N e S aplicadas, devido ao excesso de N aumentar as perdas no pós-colheita e o S estar diretamente relacionado ao sabor e também na pungência e qualidade. Deste modo, a produção também poder ser prejudicada tanto pela deficiência quanto excesso desses elementos.

As aplicações em excesso de fertilizantes geram gastos desnecessários, sendo os gastos com fertilizantes nitrogenados para o cultivo da cebola os mais altos. Como o N apresenta dinâmica complexa no sistema solo-planta-atmosfera, esse nutriente é difícil de ser estudado,

sendo necessário o uso de técnicas mais eficientes. Neste contexto, a técnica do isótopo marcado tem sido bastante utilizada por proporcionar a obtenção de dados de alta precisão.

O S é importante para a qualidade dos produtos agrícolas, principalmente da cebola. No entanto, o S anteriormente não despertava a preocupação dos produtores devido ao seu fornecimento de forma indireta por meio de outros insumos comumente utilizados no manejo das culturas. No entanto, na busca por altas produções tem-se utilizado de insumos mais concentrados, e com isso o S deixou de ser fornecido às culturas, se fazendo então necessário à sua aplicação.

Como N e S podem interagir sinergicamente, a busca por quantidades equilibradas desses dois nutrientes é de grande importância, pois deve-se procurar alternativas para alcançar o melhor aproveitamento destes nutrientes. No entanto, há pouca informação a respeito ao fornecimento desses nutrientes e a respectiva influência sobre a qualidade da cebola.

A qualidade dos bulbos de cebola durante o pós-colheita é importante, pois terá influência direta sobre o consumo. Com consumidores cada vez mais exigentes, é necessário a avaliação dos atributos de pós-colheita a fim de verificar se os mesmos atendem ao padrão exigido pelo mercado.

Visando atender o mercado, o investimento em pesquisas nesta cultura é cada vez mais importante para obter melhores produções e qualidade de pós colheita. Deve-se buscar reduzir os custos de produção, para que o produtor possa ter maior lucratividade com a cultura, atingindo qualidades superiores afim de aumentar ainda mais o consumo e atender as exigências dos consumidores.

Os produtores têm interesse em diminuir a quantidade de fertilizantes nitrogenados devido a estes serem responsáveis pelos maiores custos com a adubação, aumentando assim os custos de produção além de estar relacionado a degradação ambiental. Uma forma de reduzir os custos de produção, seria com o aproveitamento do residual da adubação que ocorre quando se faz cultivo em sistema de sucessão. Assim, dentre a sucessão com hortícolas, a alface seria uma boa opção uma vez que apresenta grande importância no Brasil, devido a ser a hortaliça folhosa mais consumida.

Diante do exposto, objetivou-se estudar a interação entre N e S no crescimento de plantas de cebola cv. Diamantina e na qualidade pós-colheita de seus bulbos, usando a técnica do elemento marcado (^{15}N), como também o efeito residual desta adubação na nutrição e produção de alface cv. Verônica

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura da Cebola

A cebola tem sua provável origem em regiões do Paquistão, Afeganistão e Irã e em regiões da Ásia Central ocorreu a sua domesticação. No Brasil, a cultura foi introduzida pelos portugueses e açorianos no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, que até hoje é tradicional área de produção. Seu cultivo estende-se do extremo sul do país ao nordeste (SOUZA; ASSIS; ARAUJO, 2015).

Dentre as várias espécies cultivadas dentro do gênero *Allium*, a cebola (*Allium cepa* L.) é de significativa importância sob o ponto de vista econômico e de consumo, com sua produção e comércio ocorrendo em vários países devido ao seu uso para fins culinários (BOEING, 2002). Segundo a ANVISA (2005), a cebola é considerada como especiaria. As especiarias são definidas como produtos compostos de partes como raízes, rizomas, bulbos, cascas, folhas, flores, frutos, sementes e talos, que são utilizados como alimentos e bebidas para adicionar sabor ou aroma.

As especiarias, principalmente a cebola, contêm compostos fenólicos e antioxidantes que proporcionam a proteção a vários constituintes celulares (SU et al., 2007). Devido à presença desses compostos, considera-se que o consumo da cebola tenha efeito positivo na prevenção de algumas doenças o que permite caracterizá-la como alimento funcional (CARVALHO; MACHADO, 2004).

Os alimentos funcionais podem ser definidos como alimentos que quando ingeridos, fornecem benefícios além da nutrição básica, como por exemplo, na prevenção de doenças e melhoria nas funções relativas ao funcionamento metabólico e fisiológico (ANGELIS, 2001). Neste sentido, os antioxidantes presentes em hortaliças como os polifenólicos, o licopeno, o β -caroteno ou as vitaminas C e E, atuam diminuindo o risco de doenças cardíacas (WEISBURGER, 1999).

Acredita-se que as hortaliças sejam fontes de antioxidantes, porém, há variação em relação ao seu conteúdo (LEONG; SHUI, 2002). Encontra-se na literatura relatos sobre as propriedades funcionais e medicinais da cebola, demonstrando sua ação como antitrombóticos (JUNG et al., 2011), hipolipidêmicos usados no controle do colesterol (LEE et al., 2012; SRINIVASAN, 2013), prevenção da obesidade (YOSHINARI; SHIOJIMA; IGARASHI, 2012), antioxidante (VAZQUEZ-PRIETO et al., 2013), quimiopreventivo para o câncer (WANG; TIAN; MA, 2012), diminuição do risco de infarto agudo do miocárdio (GALEONE

et al., 2009) e de hiperplasia prostática benigna (GALEONE et al., 2007) e propriedades antiparasitárias (KLIMPEL et al., 2011; ABOELHADID et al., 2013).

2.1.1 Aspectos botânicos e fisiológicos

A cebola (*Allium cepa* L.) pertence ao gênero *Allium*, que abrange cerca de 500 espécies, as quais apresentam bulbos que se desenvolvem sob o solo (VAUGHAN; GEISSLER, 1997). A cebola apresenta a seguinte classificação botânica proposta por A. Engler: Divisão Spermatophyta; Subdivisão Angiospermae; Classe Monocotiledoneae; Ordem Liliiflorae; Subordem Liliineae; Família Liliaceae; Gênero *Allium*; e Espécie *Allium cepa* (ANDRADE; RODRIGUES; CRUZ, 2008).

A planta de cebola pode apresentar ciclo anual e bianual, quando considerada a produção de bulbos e a produção de sementes, respectivamente. As sementes apresentam tamanho pequeno (3 mm), são roliças, com superfície irregulares e enrugadas. As flores apresentam as seguintes características: pedicelo longo, 3 carpelos, 3 estames internos, 3 estames externos, 3 tépalas internas e 3 tépalas externas, pistilo com 3 lóculos e com 3 óvulos cada (SOUZA; ASSIS; ARAUJO, 2015).

O sistema radicular é fasciculado, chegando a produzir de 20 a 200 raízes, com raízes adventícias com 4 a 5 ramificações. Podem atingir 60 cm de profundidade e 65 cm lateralmente, com a raiz primaria se diferenciando das demais, que são mais finas (TRANI; BREDA JUNIOR; FACTOR, 2014). Nos 30 cm superiores é onde se concentra a maior porção das raízes (MASCARENHAS, 1980). Na maioria das vezes, raramente excedem 25 cm de profundidade e 15 cm lateralmente. As raízes apresentam coloração branca, odor típico, poucas ramificações, tenras e finas, com pelos radiculares localizados no terço médio inferior (KILL; RESENDE; SOUZA, 2007).

O caule é conhecido como prato e forma a base do bulbo. Apresenta formato de disco cônico e é subterrâneo. Possui entrenós curtos, com inserção das folhas escamiformes na parte superior que acumulam as reservas nutritivas em sua base e o sistema radicular na parte inferior (SOUZA; ASSIS; ARAUJO, 2015).

As folhas são basais, com o interior oco e externamente podem ser cerosas ou não (ANDRADE; RODRIGUES; CRUZ, 2008). Apresenta formato cilíndrico, com afilamento da base para a extremidade, disposição alterna, compondo duas fileiras ao longo do caule. As bainhas das folhas exteriores têm função de proteção e são escamosas e delgadas (KILL; RESENDE; SOUZA, 2007).

O bulbo é formado do acúmulo de substâncias de reserva a partir das bainhas das folhas mais internas, sendo essas espessas e sobrepondo-se uma as outras. Pode apresentar formato globular, achatado, alongado ou periforme. A parte superior das bainhas, acima do bulbo encontra-se o pseudocaule que é composto pela parte superior das bainhas (KILL; RESENDE; SOUZA, 2007). Pode apresentar as seguintes colorações em função da cultivar: amarelo, vermelho, roxo ou branco (MANFRON; GARCIA; ANDRIOLO, 1992).

Durante a fase de plântula, na primeira metade do ciclo, a cebola tem crescimento demorado (WIEDENFELD, 1994) devido as baixas taxas de produção de massa seca durante os estádios iniciais de crescimento (BREWSTER, 1994). Já na fase adulta, na segunda metade do ciclo, o crescimento é mais rápido, e é quando se inicia a bulbificação (GAMIELY et al., 1991) e ocorre o acúmulo de massa de seca no bulbo com a translocação de fotoassimilados das folhas para o bulbo (BREWSTER, 1994) sendo este regulado pela interação entre fotoperíodo e temperatura (SILVA et al., 2015).

A influência do fotoperíodo e da temperatura sobre a bulbificação corresponde a formação ou não do bulbo, bem como a formação precoce de bulbos (SILVA et al., 2015). Neste contexto, a bulbificação somente se inicia quando fotoperíodo e temperatura ideais de cada cultivar são alcançadas. A bulbificação geralmente não ocorre em dias com menos de 10 horas de luz, emitindo folhas de forma contínua. Sendo assim, considerada como planta de dias longos, para este estágio fisiológico (SOUZA; ASSIS; ARAUJO, 2015).

Vidigal, Pereira e Pacheco (2002) analisando o crescimento e o acúmulo de nutrientes do cultivar ‘Alfa Tropical’, em ciclo de cultivo de 130 dias, observaram que a cebola cultivada no verão cresceu lentamente até à metade do ciclo e que, após esse período, o crescimento foi mais rápido. A bulbificação também pode ser afetada pela disponibilidade de N, sendo que a deficiência antecipa e o excesso retarda o processo de bulbificação (FILGUEIRA, 2003).

2.1.2 Aspectos econômicos e de produção

A produção mundial de cebola tem aumentado cerca de 25% nos últimos 10 anos; em 2011 foram produzidos 85 milhões de toneladas em 4,3 milhões de hectares (FAOSTAT, 2014). A cebola é cultivada em vários países. No Brasil destaca-se em diversas regiões, sendo amplamente utilizada na culinária e como produto fitoterápico. A área cultivada abrange desde o Sul ao Nordeste do país, sendo mais expressiva em algumas regiões, como por exemplo o estado de Santa Catarina (RESENDE et al., 2015). A produção de cebola é muito sujeita a variações no preço devido ao clima, variedades e produção anual (ANDRADE; RODRIGUES;

CRUZ, 2008).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016), a cultura da cebola, destaca-se no ranking como a terceira hortaliça mais cultivada no Brasil com área plantada estimada em aproximadamente 56.169 ha, produção de 1.563.969.636 kg e rendimento médio de 27.844 kg ha⁻¹, com referência a dezembro de 2016. A região sudeste possui área de 8.803ha, produção de 373.423.260 kg e rendimento médio 42.420 kg ha⁻¹. O estado de Minas Gerais possui área plantada de 3.321 ha obtendo rendimento médio 55.864 kg ha⁻¹ e o total de 185.524.344 kg produzidos.

Grande parte dos produtores no Sul do país se enquadram no tipo de agricultura familiar, onde trabalham apenas com essa cultura, sendo ela seu único faturamento (VILELA et al., 2005). Porém no Sudeste, a cebolicultura apresenta um caráter empresarial, com investimentos nesta cultura tem-se promovido a formação de novos polos ceboleiros (SOUZA; ASSIS; ARAÚJO, 2015). Em torno de 65% dos produtores de cebola possuem áreas de produção inferiores a 20 ha, e cerca de 51,7% da produção brasileira de cebola provem dessas áreas (IBGE, 2016). O valor recebido pelo produtor é determinado pelo tamanho, qualidade e sanidade dos bulbos produzidos, e estes atributos estão diretamente ligados à nutrição das plantas, principalmente quanto ao fornecimento de N, P, K e S (KURTZ; ERNANI, 2010).

2.2 Nitrogênio (N)

O N é um dos nutrientes de maior importância para as plantas (MALAVOLTA, 2006). Possui ciclo no sistema solo-planta de grande complexidade. A maior fração do N está presente no solo na forma orgânica, fazendo parte da matéria orgânica em diferentes moléculas e com vários graus de recalcitrância, ou como parte de organismos vivos. O sistema solo-planta recebe o N por deposições atmosféricas, fixação biológica, adubações mineral e orgânica, e perde por meio da remoção por culturas, lixiviação e volatilização (CANTARELLA, 2007). Quando no solo, o N sofre transformações por meio dos processos de: mineralização (amonificação e nitrificação), imobilização, desnitrificação e fixação (conversão do N₂ gasoso em forma combinada) (MALAVOLTA, 2006).

A recomendação de N para as culturas é complicada devido à dinâmica das transformações que ocorrem com o N no solo, à sua mobilidade e aos fatores que influenciam no seu aproveitamento pelas plantas (SOUSA; LOBATO, 2004). Geralmente, os solos tropicais são deficientes em N, devido à lixiviação, volatilização, erosão do solo e remoção pelas culturas (ZOBECK et al., 2000). Sendo assim, os efeitos residuais contínuos das adubações, a

manipulação com fertilizantes nitrogenados é a mais difícil (RAIJ, 2011) devido ao uso incorreto de fertilizantes nitrogenados que podem causar prejuízos tanto econômicos quanto ambientais (SOUSA; LOBATO, 2004). Se a aplicação de fertilizantes exceder as exigências das plantas e a capacidade de desnitrificação do solo, o NO_3^- não absorvido pela cultura pode potencialmente contribuir para a poluição das águas subterrâneas e superficiais por meio da lixiviação e da erosão do solo (ALMASRI; KALUARACHCHI, 2007).

O N é nutriente estrutural, fazendo parte da composição das proteínas, aminoácidos, enzimas, RNA, DNA e da molécula de clorofila. Seu papel está diretamente ligado ao crescimento vegetativo, formação de folhas e porte de planta (MALAVOLTA, 2006). Também participa da constituição de membranas e vários hormônios vegetais (SOUZA; FERNANDES, 2006).

Assimilação de N está diretamente relacionada com o metabolismo do carbono (C) em consequência desse processo demandar alto gasto energético necessitando de ATP e de esqueletos de C em quantidades equivalentes para atender esse processo. Deste modo, a assimilação deste nutriente é conectada com a disponibilidade do mesmo no solo e também a procura para a síntese de vários compostos contendo N, a disponibilidade de esqueletos de C, energia e redutores para a via de assimilação (NUNES-NESE; FERNIE; STIIT, 2010). O principal produto da assimilação de N pelas plantas são os aminoácidos (MALAVOLTA, 2006).

Devido ao N estar associado a vários componentes celulares, como aminoácidos e ácidos nucleicos, na cultura da cebola os sintomas de deficiência de N observados na fase inicial do desenvolvimento, as plantas apresentam redução no crescimento e mudança do verde intenso para verde pálido nas folhas; com o avanço as folhas mais velhas amarelecem e as folhas novas são finas e delicadas, e os bulbos apresentam redução de tamanho (ANDRADE; RODRIGUES; CRUZ, 2008).

A demanda por nutrientes tem variação entre cultivares, e sua extração e relação com crescimento podem ser diferente em razão da classe de solo, do sistema de cultivo, produtividade e o ciclo da cultura (VIDIGAL; PEREIRA; PACHECO, 2002).

Plantas submetidas a doses adequadas de N tem melhor crescimento vegetativo, com expansão da área fotossinteticamente ativa, promovendo incremento no potencial produtivo das culturas (MENGEL; KIRKBY, 2001). Já a aplicação de doses de N excessivas pode promover diminuição na produtividade e aumento em perdas no armazenamento (SOUZA; RESENDE, 2002).

Resende e Costa (2008) avaliando os efeitos de doses de N e K em bulbos armazenados

em condições ambientais observaram maior incidência de bulbos podres e brotados, e perda de massa devido ao o incremento das doses de N.

Jiang et al. (2007) e Boyhan, Torrance e Hill (2007) obtiveram máxima produtividade com a dose de 240 e 263 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Faria e Pereira (1992) alcançaram produtividades máximas com 114 e 119 kg ha⁻¹ de N em dois ensaios consecutivos com a cultivar Texas Grano e IPA 6. Resende, Costa e Pinto (2008) verificaram em Petrolina-PE, que as maiores produtividades foram obtidas com doses de 169,4 e 175,8 kg ha⁻¹ de N;

No entanto, Kolota, Adamczewska-Sowińska e Uklańska-Pusz (2013), avaliando o efeito de várias fontes e doses de N em cebola cultivar Performer, constataram que a produtividade comercial e total não foram influenciadas com o incremento das doses de N de 75 a 225 kg ha⁻¹.

O diâmetro, comprimento e massa do bulbo aumentaram significativamente até a dose de 175 kg ha⁻¹ de N em trabalho realizado por Mozumder, Montruzzaman e Halim (2007). A aplicação de 153,6 kg ha⁻¹ de N promoveu maior porcentagem de bulbos (85,8%) considerados comerciais (diâmetro 50 a 70 mm) em trabalho de Resende, Costa e Pinto (2008), sendo que o mesmo comportamento foi observado em May et al. (2007).

Na cultura da cebola, MAY et al. (2007) ao avaliar a influência de doses de N e K em bulbos armazenados em condições ambientais, observaram perda de peso e maior incidência de bulbos podres e brotados, com o incremento das doses de N (80 a 160 kg ha⁻¹ de N).

Robles e García (2013) estudando a influência das doses de N e K na produção de cebola observaram maior produção com a dose de 120 kg ha⁻¹ de N. Cecílio Filho et al. (2010) no município de São José do Rio Pardo-SP alcançou maior produtividade com a combinação das doses de 150 kg ha⁻¹ de N com 150 kg ha⁻¹ de K₂O. Em Ituporanga-SC, Kurtz et al. (2012) obtiveram maiores retornos econômicos com doses de 116 até 249 kg ha⁻¹ de N, de acordo com a época de plantio. Khan et al. (2007) estudaram diferentes doses de N e Zn em cebola e constataram a máxima produção de 17,80 t h⁻¹ com a dose de 100 kg ha⁻¹ de N.

2.2.1 Isótopo de Nitrogênio (¹⁵N)

Os elementos possuem isótopos que apresentam comportamento químico e biológico semelhantes, porém possuem algumas propriedades físicas diferenciadas. A maior parte dos isótopos são de origem natural e quando estáveis não são radioativos e apresentam peso atômico diferenciado podendo este ser identificado por espectrômetros de massa. Neste contexto o N, pode ser citado como exemplo uma vez que possui o ¹⁴N e ¹⁵N como isótopos naturais

(REICHARDT; TIMM, 2012).

O N apresenta dinâmica complexa, e a técnica que auxilia no estudo deste elemento é o uso do isótopo estável do N (^{15}N). O ^{15}N ocorre na natureza em concentrações menores que de seu homólogo, ^{14}N . A utilização dos isótopos de N é fundamentada no fato que a relação $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ acontece em proporção de 273:1 (0,366% de átomos de ^{15}N) (ALVES et al., 2005).

Com o método de ^{15}N marcado, o isótopo traçador enriquecido pode ser pré-determinada para garantir a identificação de diferenças significativas em % ^{15}N (STURM et al., 2010). Essa técnica é o meio mais seguro de se estudar o movimento do N no sistema solo-planta (BEDARD-HAUGHN; VAN GROENINGEN; VAN KESSEL, 2003).

Quando aplicado o material enriquecido com ^{15}N , este é incorporado ao ciclo do N, podendo-se identificar o caminho percorrido pelo ^{15}N , tanto no solo quanto na planta (BEDARD-HAUGHN; VAN GROENINGEN; VAN KESSEL, 2003). O método isotópico é a única maneira direta de quantificação da absorção de N a partir da aplicação de fertilizantes (STURM et al., 2010).

O aumento na utilização do ^{15}N para o estudo da absorção de N aplicado é devido a tentativa de maximizar a identificação da eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados (HAUCK; BREMNER, 1976). Além da quantificação de N proveniente de fertilizantes, também pode-se quantificar a fixação biológica de N em leguminosas e mineralização do N no solo. Outra possibilidade seria a utilização em estudos com resíduos orgânicos e avaliação de perdas de N (IAEA, 2001).

Devido a eficiência da técnica do isótopo marcado, muitos autores a têm utilizado. Brito, Muraoka e Silva (2009) utilizaram o ^{15}N para a determinação de marcha de absorção do N do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi e feijão-comum. Esses autores puderam concluir que a maior parte do N acumulado foi proveniente da fixação simbiótica para as plantas em estudo.

Tanemura et al. (2008) fez uso do ^{15}N para estudar a absorção e translocação de N em plantas de pepino. Com esse trabalho, esses autores puderam observar que o NO_3^- absorvido do meio é rapidamente transportado para frutos jovens, bem como para folhas e caules. E também que o N uma vez assimilado ou armazenado nas folhas, caules e raízes é gradualmente redistribuído para os frutos para apoiar o seu rápido crescimento.

Gao et al. (2017) avaliando os efeitos da interação entre a irrigação e o fertilizante nitrogenado sobre a produção, absorção e recuperação de N em dois cultivos sucessivos de couve chinesas utilizando o isótopo ^{15}N puderam quantificar o N absorvido, %NPPF e o destino do fertilizante nitrogenado, sendo possível identificar o potencial produtivo para a cultura no

segundo cultivo.

Quantificando através da técnica do ^{15}N a quantidade de N proveniente de adubos verdes (*Crotalaria juncea* L.) em cultivos sucessivos de brócolis e abobrinha, Vargas et al. (2017) afirmaram que o efeito residual de N proveniente do adubo verde foi suficiente para o cultivo sucessivo das duas culturas hortícolas em estudo.

A recuperação, pela cana-planta, do nitrogênio (^{15}N) proveniente da ureia e de resíduos culturais da palhada e do sistema radicular da cultura da cana incorporados ao solo, foram avaliados por Vitti et al. (2011) e observaram que o aproveitamento de N oriundo da mineralização de resíduos culturais da palhada e do sistema radicular aumenta expressivamente com o tempo.

2.3 Enxofre (S)

A fração mineral de S no solo é inferior aos 5% do total deste nutriente (RAIJ, 2011). O S se apresenta na forma orgânica e inorgânica, ocorrendo em maior quantidade na forma orgânica (HOROWITZ, 2003). A quantidade de S disponível, tanto na forma orgânica quanto na inorgânica é variável em função do pH, drenagem, composição mineralógica, teor de matéria orgânica, quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos incorporados e profundidade do perfil do solo (ALVAREZ V. et al, 2007). As principais formas de S que são encontrados nos solos são: sulfatos (SO_4^{-2}); dióxido de enxofre (SO_2); sulfitos (SO_3^{-2}); tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{-2}$); S elementar (SO) e sulfeto (H_2S) (HOROWITZ, 2003).

As plantas absorvem S, preferivelmente na forma de SO_4^{-2} (MALAVOLTA; MORAES, 2007). O SO_4^{-2} é absorvido em pequenas quantidades e transportado pelo xilema, necessitando ser reduzido para ser incorporado aos aminoácidos, proteínas e coenzimas, porém sem ser reduzido pode ser incorporado a sulfolipídeos nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos ou polissacarídeos (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006). O processo de redução do SO_4^{-2} é dependente de energia com a primeira etapa da assimilação do SO_4^{-2} sendo a reação do mesmo com a ATP. O sulfeto proveniente da redução do SO_4^{-2} , não se acumula sendo rapidamente incorporado a compostos orgânicos de S, principalmente a cisteína e metionina (SALISBURY; ROSS, 2012). O S encontrado nos tecidos é variável em função do estágio de desenvolvimento da planta. A maior demanda por S em cebola verifica-se próximo ao final do ciclo (PÔRTO et al., 2006).

O S participa do transporte de elétrons pelos grupos Fe-S. Os sítios catalíticos de várias enzimas e coenzimas, como urease e coenzima A contêm S. Os metabólitos secundários que

contém S variam desde os fatores Nod-rizobiais ao antisséptico aliina e ao anticarcinogênico sulforano. A variabilidade do S se deve, em parte, ao fato de apresentar múltiplos estados estáveis de oxidação, assim como o N (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A atividade da enzima nitrato redutase está diretamente relacionada com o S, devido a ligação direta do N ao S por meio de rotas metabólicas na síntese proteica (CRAWFORD et al., 2000). Assim, pode haver comprometimento no aproveitamento de N quando há deficiência do S, diminuindo a quantidade de proteínas (ALVAREZ, 2004). Os sintomas de deficiência são folhas finas e deformadas, ocorrendo reduzido crescimento radicular (TRANI; BREDA JUNIOR; FACTOR, 2014) com amarelecimento dourado nas folhas mais novas (SOUZA; RESENDE, 2002).

O S está presente em aminoácidos, como a metionina e a cisteína, que são importantes para a nutrição humana. O suprimento de S em alguns alimentos pode proporcionar sabor mais acentuado. A necessidade de S para a cebola é de cerca de $7,0 \text{ g kg}^{-1}$ da massa seca da parte vegetativa da planta (FARIA; SILVA; MENDES, 2007). A cultura da cebola extrai do solo quantidades de S maior que de P, diferindo-se assim da maioria das espécies (OLIVEIRA et al., 2003). Com o S sendo o quarto nutriente e o P o sexto nutriente mais extraído pelas plantas de cebola (PÔRTO et al. 2006).

Nasreen, Haq e Hossain (2003) observaram que a cebola, quando na fase de maior desenvolvimento fotossintético, apresentou aumento no acúmulo de S no bulbo. Esse fato se deve ao melhor crescimento foliar proporcionando melhor translocação e partição de fotoassimilados das folhas para os bulbos, resultando em bulbos maiores.

Para promover incremento na produção de massa seca, com bulbos de tamanho grande, promovendo assim aumento na produção, a aplicação de: 45 kg ha^{-1} de S, 120 kg ha^{-1} de N, 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 90 kg ha^{-1} de K_2O , 5 kg ha^{-1} de Zn e 5 t ha^{-1} de esterco bovino (NASREEN; HAQ; HOSSAIN, 2003). Entretanto, pesquisas realizadas por Paula et al. (2002) e Nasreen e Hud (2005), obtiveram produtividades máximas quando aplicados doses de S entre 48 e 60 kg ha^{-1} .

2.4 Relação Nitrogênio e Enxofre (N/S)

As interações entre nutrientes são consideradas relevantes para a nutrição das plantas. Entretanto, essas interações necessitam ser mais estudadas para interpretação de resultados mais adequados e estabelecer seu efeito na produtividade das culturas. A ação mútua de um nutriente sobre a atuação de outro, resulta em interações, que podem tanto ter efeitos positivos quanto

negativos, sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade, sendo variável de acordo com o clima, solo, espécies e cultivares das plantas (ALVAREZ V. et al., 2007).

Observa-se que, quando um íon proporciona o aumento na absorção de outro íon promovendo o efeito favorável ao desenvolvimento das plantas, há sinergismo (SILVA; TREVIZAM, 2015). Entre N e S pode ocorrer interação sinérgica, a qual atua diretamente na qualidade dos produtos colhidos (MALAVOLTA; MORAES, 2007). Neste contexto, observa-se que a síntese de cisteína conecta as três principais vias de metabolismo primário: fixação de carbono, absorção de nitrato e de sulfato (LONG et al., 2015).

Para a síntese de proteínas são necessários N e S onde cada um é essencial para fazer vários tipos de outras pequenas e macromoléculas, como por exemplo, enzimas, coenzimas e aminoácido. As funções de assimilação de N ou S são por vezes compartimentadas dentro de células ou localizadas em tecidos ou órgãos específicos das plantas (LONG et al., 2015).

Devido ao desequilíbrio na produção de proteína, ocorre acúmulo de NO_3^- e aminoácidos livres. Se houver deficiência de S as proteínas que contém esse elemento se formaram em menor quantidade e demais aminoácidos irão se acumular na planta (MALAVOLTA, 2006).

A proporção entre N e S é importante para o bom desenvolvimento vegetal (ALVAREZ V. et al., 2007). Dessa forma, a relação N/S adequada é importante para obter o equilíbrio nutricional (MALAVOLTA, 2006). A relação N/S nos materiais vegetais encontra-se por volta de 10/1, sendo variável entre as espécies e parte das plantas (REIN; SOUZA, 2004). Neste contexto, a aplicação de fertilizantes formulados sem S pode ocasionar aproveitamento reduzido do fertilizante nitrogenado (EPSTEIN; BLOOM, 2006), uma vez que o solo não tenha condições de atender, em quantidade, a exigência da planta em S (MALAVOLTA, 2006). Em cultivos intensivos, a absorção de S pode ser muito elevada, especialmente quando o resíduo da cultura é removido do campo juntamente com o produto. Isto leva a diminuição considerável de S no solo se a quantidade necessária de S não for aplicada por meio de fertilizante (JAMAL; MOON; ABDIN, 2010).

Avaliando a influência de fontes de K e doses de gesso, com S variando de 0 a 200 kg ha^{-1} , sobre a produtividade e qualidade de bulbos de cebola da cultivar Baia Periforme e os teores de nutrientes, Paula et al. (2002) encontraram relação N/S de 5,55 a 6,00 (120 kg ha^{-1} de N), as quais proporcionaram maiores produtividades de bulbos comerciais. Outros autores, como Silva, Trevizam e Piccolo (2014), avaliando a produção de tomate em função da aplicação de S, observaram que a relação N/S na parte aérea do tomateiro diminuiu em função das doses de S aplicadas, com valores variando de 2,1 a 3,1.

Em outros estudos de relação N/S, como na mostarda indiana, Aulakh, Pasricha e Sahota (1977) constataram que a relação N/S de 15,5/1 no tecido vegetal da mostarda é crítica, acima da qual a baixa dose de S pode causar drástica redução no rendimento de grãos. Salvaggiotti et al. (2012) ao avaliarem a relação N/S e sementes de soja concluíram que a relação 22/1 é a mais adequada, visto que relações maiores que essas indicam deficiência de S para a cultura.

Já para o trigo, Reussi Calvo, Echeverria, e Sainz Rozas (2011) observaram que a relação N/S adequada seria 13/1, Randall, Freney e Spencer (2003) ao analisarem grão de arroz encontraram relação N/S de 14/1. Sendo assim, relações maiores que essas observadas por esses autores indicaram a ocorrência de deficiência de S.

2.5 Qualidade no pós-colheita

As propriedades químicas e físicas do alimento influenciam na qualidade do pós-colheita, o que faz o consumidor ter interesse ou não em comprá-lo (MUNIZ et al., 2012). As principais características físicas e químicas utilizadas para avaliar a qualidade pós-colheita em hortaliças são: perda de massa fresca, cor, firmeza, sólidos solúveis totais, acidez titulável total, pungência e pH (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Para a cebola, as características mais relevantes no pós-colheita, são a pungência ou conteúdo de ácido pirúvico, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e massa seca dos bulbos (RESENDE et al., 2010).

Cada cultivar apresenta o conjunto de características genéticas que vão determinar pungência, teor de sólidos solúveis, tamanho, cor e formato dos bulbos. Porém, essas características também são influenciadas pelo manejo no pós-colheita, repercutindo na qualidade final dos bulbos (SIMON, 1995; MORETTI, 2004). O fato dos bulbos terem alta perecibilidade, faz com que seja diminuído o tempo para comercialização e reflète no preço pago ao produtor. Mas isso independe do nível de tecnologia utilizado pelo produtor (RESENDE et al., 2010).

O bulbo apresenta relevância quando considerado nutricionalmente (RESENDE; CHAGAS; PEREIRA, 2003; MAY et al., 2008), pois, quando considerados 100 gramas de material fresco, apresenta a seguinte composição: 87% de água, 49 calorias, 1,4 mg de proteínas, 32 mg de cálcio, 20 U.I. de vitamina A, 12 mg de ácido ascórbico, 0,03 mg de vitamina B1, 0,12 mg de vitamina C e 0,1 mg de niacina (ANDRADE; RODRIGUES; CRUZ, 2008).

Tanto a composição química quanto os atributos sensoriais são influenciadas pelo ambiente como: tratos culturais, manejo de nutrientes e época de semeadura das mudas

(RANDLE, 1997). A cultivar também exerce influência, posto que a formação da pungência é estabelecida pela genética de cada cultivar, integrando a absorção de S e a síntese de precursores do sabor (RANDLE, 1997). Neste contexto, a intensidade da pungência é variável, podendo atingir valores elevados em algumas cultivares (BOYHAN et al., 1999). Portanto, as hortaliças são caracterizadas por atributos sensoriais, componentes químicos e características físicas, de modo que tenham qualidade e rendimento excelentes (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

2.5.1 Perda de massa fresca

Os bulbos são considerados estruturas vivas, que mesmo depois de colhidos prosseguem com seus processos fisiológicos (BOEING, 2002), fato refletido nas perdas no período pós-colheita. Neste contexto, a cebola é considerada altamente perecível devido a quantidade de água presente em sua composição (MORETTI; DURIGAN, 2002).

A água presente na cebola é perdida por transpiração que ocasiona modificações em características como aparência, textura, sabor e peso. Além de influenciar no rendimento também reduz o valor nutricional do alimento (MEDINA, 1983; BEN-YEHOSHUA; RODOV, 1987) o que dificulta a comercialização do produto.

A perda de massa, quando expressa em percentual, representa a perda de umidade a qual pode ser estabelecida por pesagem na colheita e no decorrer do período de armazenamento. A água passa pelas membranas citoplasmática e a vacuolar devido à permeabilidade e a capacidade de diferenciação de conteúdo dessas membranas (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

2.5.2 Acidez

Com o amadurecimento, as hortaliças podem perder ou aumentar a acidez. A associação entre a acidez e o teor de sólidos solúveis pode ser referência para a identificação do grau de maturação (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A acidez titulável total está correlacionada aos teores de ácidos orgânicos presentes no suco ou polpa (RESENDE et al., 2010) podendo ser determinada por titulometria ou por potenciometria. (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Visando a industrialização, é importante que os bulbos de cebola apresentem a acidez titulável alta, uma vez que quanto maior a acidez maior a qualidade para a desidratação (CHAGAS et al., 2004).

2.5.4 Relação Sólidos Solúveis/Acidez titulável (SS/AT)

O sabor de frutas e hortaliças é proporcionado pela união da acidez titulável com o teor de sólidos solúveis (CHITARRA, 1994) podendo assim, ser estimada a relação SS/ATT para identificar o melhor sabor do produto.

A relação SS/ATT é uma das formas mais aplicadas para analisar do sabor, por ser mais relevante que a determinação de forma isolada de açúcares ou da acidez. A partir da determinação do teor de sólidos solúveis mínimo e de acidez titulável total máxima, é possível identificar o real sabor do alimento, a partir do equilíbrio entre esses dois atributos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

2.5.5 Pungência

O odor característico apresentado pelas espécies do gênero *Allium* é decorrente de compostos sulfurosos (MAY et al., 2008). A pungência é formada por compostos organossulfurados derivados do ácido sulfúrico, açúcares e ácidos orgânicos (SCHUNEMANN et al., 2006) sendo determinada pelo sabor e odor próprios desses compostos (BHAT; DESAI; SULEIMAN, 2010) que promovem a irritação da mucosa do nariz e das glândulas lacrimais devido ao seu poder lacrimogêneo (MIGUEL, 2005). Os alk (en) yl cysteine sulfoxides (ACSOs) são próprios das espécies do gênero *Allium* e são indiretamente responsáveis pelo odor e sabor que caracterizam essas plantas (ROSE et al., 2005).

Ao romper as células, inicia-se a interação entre os precursores de sabor e aroma que ficam no citoplasma (ACSOs) com a enzima allinase presente no vacúolo (LANCASTER; BOLAND, 1990), com a produção de ácidos sulfênicos, passando por modificações causadas por reações para gerar compostos voláteis que possuem aroma intenso causando tal irritação (RANDLE, 1997; SCHUNEMANN et al., 2006). Os produtos dessas reações são tiosulfinais voláteis, piruvato e amônia (BLOCK, 2010). A pungência é proveniente dos tiosulfinais voláteis (MACPHERSON et al., 2005).

Os ácidos sulfênicos produzidos com base na isoaliina, e no ácido propenilsulfênico se converte em propanotal-sóxido, um dos principais fatores lacrimogêneo. Os ácidos sulfênicos gerados a partir da metiina e da propiina são convertidos em tiosulfinais, que são os responsáveis pelo sabor e aroma (LANZOTTI, 2006; BHAT; DESAI; SULEIMAN, 2010).

A percepção da pungência depende desses metabolitos organossulfurados que tem o ácido pirúvico como um dos produtos produzidos ao final do processo metabólico, sendo este

utilizado para mensurar a pungência (MARINOZZI et al., 2014). A pungência pode ser determinada fundamentando-se na produção enzimática de derivados de piruvato (aliinase), com o corte do bulbo após o mesmo ser triturado. Assim, pode-se correlacionar positivamente com a intensidade da pungência (SCHWIMMER; WESTON, 1961; WALL; CORGAN, 1992). A produção da pungência está relacionada com fatores que influenciam a absorção de S e com a síntese dos precursores do sabor, sendo que a união destes define a intensidade do sabor final (RANDLE, 1997). A intensidade do sabor também é afetada pelo ambiente, principalmente pela temperatura e água disponível (HOROWITZ, 2003). A pungência pode variar em função da variedade de cebola (GRIFFITHS et al., 2002). A maior pungência ocorre em maiores temperaturas, maior conteúdo de S e deficiência hídrica (RANDLE et al., 1995; RANDLE, 1997; MCCALLUM et al., 2001).

O ácido pirúvico é o atributo que serve como parâmetro para se determinar o sabor e aroma da cebola, sendo que a sua determinação é fácil e simples, medindo-se a intensidade de pungência nos bulbos. Podendo esta ser classificada em função da quantidade de ácido pirúvico como: fraca (2 a 4 $\mu\text{mol g}^{-1}$), intermediária (8 a 10 $\mu\text{mol g}^{-1}$) e forte (15 a 20 $\mu\text{mol g}^{-1}$) (SCHWIMMER; WESTON, 1961). A pungência, ou seja, o teor de ácido pirúvico é a característica de extrema importância, haja vista que a elevação de seus teores acentua o sabor e o aroma do produto, o que é desejado pelos consumidores (ANTHON; BARRETT, 2003).

2.6 Efeito Residual da adubação

As quantidades de fertilizantes aplicados para a produção de hortaliças são maiores em relação a outras culturas devido à alta extração e exportação de nutrientes por essas plantas (FILGUEIRA, 2003).

No cultivo da cebola, muitos produtores fazem a adubação sem basear-se na análise de solo, o que leva ao emprego de quantidades altas de fertilizantes (SILVA; COSTA; GRANGEIRO, 2012) devido ao fato de solos tropicais apresentarem baixas quantidades de matéria orgânica (PERIN et al., 2004), sendo que a mesma poderia disponibilizar nutrientes. As doses de N consideradas médias à alta são utilizadas visando maximizar o rendimento desta cultura devido ao sistema radicular superficial e a irrigação frequente (HALVORSON et al., 2002; OLSON et al., 2011). Neste contexto, observam-se maiores custos de produção e o não aproveitamento do residual desses fertilizantes por outras hortaliças (SILVA; COSTA; GRANGEIRO, 2012).

As hortaliças cultivadas em sistema de sucessão promovem o uso adequado do solo,

uma vez que há melhor utilização dos nutrientes devido ao uso de plantas com exigências nutricionais diferentes e com sistemas radiculares que atingem profundidades diferentes, não havendo assim o esgotamento do solo e sim melhor aproveitamento dos nutrientes (SOUZA; RESENDE, 2003).

O fertilizante residual pode ser aproveitado na sucessão de hortaliças, como por exemplo o P, devido ao seu poder de fixação no solo, e o K, pelas baixas perdas por lixiviação. O N, por ser perdido facilmente por lixiviação, tem residual menor, porém seu aproveitamento é possível em solos mais argilosos por reter o N (COSTA; SILVA; GRANGEIRO, 2012) na matéria orgânica (CANTARELLA, 2007). Sendo assim, observa-se que as condições climáticas do local de cultivo, o tipo de solo, a capacidade de adsorção e de remoção de nutrientes pelas plantas interferem na produtividade das culturas a partir do efeito residual dos fertilizantes (MALAVOLTA et al., 1974).

A aplicação de fertilizantes na cultura pode causar o efeito favorável a cultura cultivada posteriormente (COOK; DAVIS, 1957). Costa, Silva e Grangeiro (2012) estudando o efeito residual da adubação da cebola no rendimento da cenoura obtiveram baixo rendimento da cenoura, porém o efeito da adubação residual (da cultura da cebola) promoveu melhor relação custo/benefício.

Ao avaliarem o efeito residual da adubação de cebola sobre a produção de alface e beterraba em cultivo sucessivo, Silva, Costa e Grangeiro (2012) observaram que para obter os rendimentos máximos com essas culturas é necessário a aplicação 60 e 70% das adubações recomendadas para alface e beterraba, o restante dos elementos necessários seriam fornecidos pelo residual da adubação da cultura da cebola.

Outros autores como Halvorson et al. (2002) avaliaram o efeito de fertilizantes nitrogenados na rotação de cebola com milho e concluíram que a cultura de milho que não recebeu fertilização recuperou 24% do fertilizante nitrogenado aplicado anteriormente à cebola.

2.5.3 Sólidos solúveis (SS)

O alto teor SS totais está relacionado à pungência, sendo influenciados pelo armazenamento e por fatores genéticos das plantas de cebola (CARVALHO; CHALFOUND; JUSTE, 1987).

Os SS são constituídos principalmente por açúcares, sendo variáveis com a espécie, a cultivar, o estágio de maturação e o clima, com valores médios entre 8 a 14 °Brix (faixa de variação entre 2 a 25 °Brix) e indicam a quantidade, em gramas, dos sólidos que se encontram

dissolvidos no suco ou polpa das frutas, no caso da cebola, no bulbo (CHITARRA; CHITARRA, 2005). São comumente designados como grau Brix ($^{\circ}$ Brix), mas também podem ser expressos em porcentagem e têm tendência de aumento com o avanço da maturação. São medidos com refratômetro, o qual efetua a leitura diretamente em $^{\circ}$ Brix (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O sabor é composto em parte pelos SS o qual é de grande importância para a palatabilidade. Foram encontrados valores de SS totais variando de 5 a 20% em 18 genótipos de cebola cultivadas, sendo estes: genótipos de cebola CNPH-6415, CNPH-6047, CNPH-6244, CNPH-6400 chata, CNPH 6400-redonda, CPACT 1, CPACT 2, CPACT 3, Granex 429, Belém IPA 9, BRS Cascata, Crioula Alto Vale, Bola Precoce, Primavera, Régia, Valeouro IPA-11, Brisa e Alfa São Francisco (GRANGEIRO et al., 2008). Já Schunemann et al. (2006) encontraram variação de 6 a 11 $^{\circ}$ Brix com os genótipos: CNPH-6047, CNPH-6040, CNPH-6074, CNPH-6244, CNPH-6400 chata, CNPH-6400 redonda e CNPH-6415, Pêra Norte x 'Primavera', 'Primavera' x Pêra Norte e 'Valencinita' x 'Aurora', e cultivares: Belém IPA-09, BRS-Cascata, Bola precoce, Crioula Alto Vale, Granex-429, Primavera, Régia e Texas Grano-1015 Y. CHAGAS et al. (2004) encontraram valores de 8,16 a 10,60 $^{\circ}$ Brix para as cultivares Baia Periforme, Crioula, Granex 33, Jubileu, Pira Ouro e Texas Grano-502 .

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de S mostra-se importante para a cultura da cebola devido a sua influência na qualidade dos bulbos. A interação sinérgica que ocorre entre N e S permite melhor aproveitamento desses elementos pelas plantas, refletindo na produção e qualidade dessa hortaliça.

A partir deste estudo novas pesquisas poderão ser realizadas com o objetivo de verificar a interação N e S em outras variedades de cebola, identificando a melhor combinação entre as doses desses elementos, visando maior produção e melhor qualidade. Outros estudos sobre a sucessão de cultivo com outras hortaliças, para o aproveitamento da adubação residual da cultura da cebola deverão ser realizados, a fim de verificar qual cultura se sobressairá melhor nessas condições.

Deve-se obter o melhor aproveitamento de fertilizantes utilizados, evitando perdas e contaminação do meio ambiente e também provendo maior lucratividade para os produtores de hortaliças.

REFERÊNCIAS

- ABOELHADID, S. M. et al. Effect of *Allium sativum* and *Allium cepa* oils on different stages of *Boophilus annulatus*. **Parasitology Research**, Berlin, v. 112, n. 5, p. 1883-1890, 2013.
- ALMASRI, M.N.; KALUARACHCHI, J. J. Modeling nitrate contamination of groundwater in agricultural watersheds. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 343, p. 211-229, 2007.
- ALVAREZ V., V. H. et al. Enxofre. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 10, p. 595-644.
- ALVAREZ, J. W. R. **Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul**. 2004. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- ALVES, B. J. R. et al. Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Eds.) **Processos biológicos no sistema solo-planta**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. cap. 13, p.343-368.
- ANDRADE, R. M.; RODRIGUES, S. D.; CRUZ, M. A. D. Cebola. In: CASTRO, P. R. C. **Manual de Fisiologia Vegetal: fisiologia de cultivos**. Piracicaba: Ed. Agronômica Ceres, 2008. cap. 5, p. 669-684.
- ANGELIS, R. C. de. **Importância de alimentos vegetais na proteção da saúde: fisiologia da nutrição protetora e preventiva de enfermidades degenerativas**. São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte: Atheneu, 2001.
- ANTHON, G. E.; BARRETT, D. M. Modified method for the determination of pyruvic acid with dinitrophenylhydrazine in the assessment of onion pungency. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 83, p. 1210-1213, 2003.
- AULAKH, M. S.; PASRICHA, N. S.; SAHOTA, N. S. Nitrogen-sulfur relationship in brown sarson and Indian mustard. **The Indian Journal Agricultural Science**, New Delhi, v. 47, p. 249-253, 1977.
- BEDARD-HAUGHN, A.; VAN GROENINGEN, J.W.; VAN KESSEL, C. Tracing ¹⁵N through landscapes: potential uses and precautions. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 272, p. 175-190, 2003.
- BEN-YEHOSHUA, S.; RODOV, V. Transpiration, water stress, and gas exchange. In: WEICHMANN, J. (ed.). **Postharvest physiology of vegetables**. New York: Marcel Dekker, 1987. chap. 5, p. 113-172.
- BHAT, N. R.; DESAI, B. B.; SULEIMAN, M. K. Flavors in Onion: Characterization and Commercial Applications. In: HUI, Y. H. (Ed.). **Handbook of Fruit and Vegetable Flavors**. New Jersey: J. Wiley, 2010. chap. 44, p. 849-872.
- BLOCK, E. **Garlic and Other Alliums: The Lore and the Science**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2010.
- BOEING, G. **Fatores que afetam a qualidade da cebola na agricultura familiar catarinense**. Florianópolis: Instituto CEPA/SC, 2002.
- BOYHAN, G. E. et al. Adaption of a spectrophotometric assay for pungency in onion to a microplate reader. **Journal of Food Quality**, Catalunya, v. 22, n. 2, p. 225-233, 1999.

_____.; TORRANCE, R. L.; HILL, C. R. Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium rates and fertilizer sources on yield and leaf nutrient status of short-day onions. **HortScience**, St. Joseph, v. 42, p. 653- 660, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Resolução RDC nº 276, de 22 de setembro de 2005. Aprova o “Regulamento Técnico para Especiarias, Temperos e Molhos”. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 22 set. 2005. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/legis/>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

BREWSTER, J. L. **Onions and other vegetable alliums**. Cambridge: CAB International, 1994.

BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Marcha de absorção do nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com uso de ¹⁵N. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 895-905, 2009.

BYSTRICKÁ, J. et al. The role of sulphur on the content of total polyphenols and antioxidant activity in onion (*Allium cepa* L.). **Potravinarstvo®: Scientific Journal for Food Industry**, Eslováquia, v. 8, n. 1, p. 284-289, 2014.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 10, p. 375-470.

CARVALHO, P. G. B.; MACHADO, C. M. M. Sistema de produção de cebola (*Allium cepa* L.). **Embrapa Hortalças**, Brasília, set. 2004. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/cebola.htm>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

CARVALHO, V. D.; CHALFOUND, S. M.; JUSTE, E. S. G. Efeito do tipo de cura na qualidade de algumas variedades de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 7, p. 733-740, 1987.

CECÍLIO FILHO, A. B. et al. Produtividade e classificação de bulbos de cebola em função da fertilização nitrogenada e potássica, em semeadura direta. **Científica**, Jaboticabal. v. 38, n. 1/2, 2010.

CHAGAS, S. J. R. et al. Características qualitativas de cultivares de cebola no Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 102-106, 2004.

CHITARRA, M. I. F. Colheita e pós-colheita de frutos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 179, 1994.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005.

COOK, R. L.; DAVIS, J. F. The residual effect of fertilizer. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 9, p. 205-216, 1957.

COSTA, N. L.; SILVA, A. R. C.; GRANGEIRO, L. C. Efeito residual da adubação da cebola no rendimento da cenoura. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Patos, v. 8, n. 1, p. 07-11, 2012.

CRAWFORD, N. M. et al. Nitrogen and sulphur. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Org). **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: American

Society of Plant Physiologists, 2000. chap. 16, p. 786-849.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2 ed. Londrina: Editora Planta, 2006.

FARIA, C. M. B.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S. Nutrição e Adubação. In: COSTA, N. D.; REZENDE, G. M. de (Ed.). Cultivo da cebola no Nordeste. **Embrapa Semi-árido**, Petrolina, ago. 2007. Disponível em: <<http://www.cpatia.embrapa.br/>>. Acesso em: 16 mai. 2016.

FARIA, C. M.; PEREIRA, J. R. Fontes e níveis de nitrogênio na produtividade de cebola no Submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 403-407, 1992.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAOSTAT. The Online Database Published by FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, **FAOSTAT**, Rome, Aug. 2014. Available at: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor/>>. Accessed at: 15 may 2016.

GALEONE, C. et al. *Allium* vegetable intake and risk of acute myocardial infarction in Italy. **European Journal of Nutrition**, Berlin, v. 48, n. 2, p. 120-123, 2009.

GALEONE, C. et al. Onion and garlic intake and the odds of benign prostatic hyperplasia. **Urology**, Cleveland, v. 70, n. 4, p. 672-676, 2007.

GAMIELY, S. et al. Onion: plant growth, bulb quality, and water uptake following ammonium and nitrate nutrition. **HortScience**, St. Joseph, v. 26, n. 8, p. 1061-1063, 1991.

GAO, N. et al. Interactive effects of irrigation and nitrogen fertilizer on yield, nitrogen uptake, and recovery of two successive Chinese cabbage crops as assessed using ¹⁵N isotope. **Science Horticulturae**, Amsterdam, v. 215, p. 117-125, 2017.

GRANGEIRO, L. C. et al. Características qualitativas de genótipos de cebola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1087-1091, 2008.

GRIFFITHS, G. et al. Onions: a global benefit to health. **Phytotherapy Research**, London, v. 16, n. 7, p. 603-615, 2002.

HALVORSON, A. D. et al. Nitrogen fertilizer use efficiency of furrow-irrigated onion and corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 442-449, 2002.

HAUCK, R. D.; BREMNER, J. M. Use of tracer for soil and fertilizer nitrogen research. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 28, p. 219-266, 1976.

HOROWITZ, N. **Oxidação e eficiência agrônômica do enxofre elementar em solos do Brasil**. 2003. 126p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001. (Training course series, 14).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. **IBGE**, Rio de Janeiro, 2016, v. 29, n.12, p.1-84, 2016.

- JAMAL, A.; MOON, Y.S.; ABDIN, M. Z. Sulphur -a general overview and interaction with nitrogen. **Australian Journal Crop Science**, Canberra, v. 4, p. 523-529, 2010.
- JIANG, L. H., et al. Study of the effect of nitrogen on green Chinese spring onion yield and supplying target value. **Plant Nutrition and Fertilizer Science**, Windson, v.13, p. 890-896, 2007.
- JUNG, J. Y. et al. Onion peel extracts ameliorate hyperglycemia and insulin resistance in high fat diet/streptozotocin-induced diabetic rats. **Nutrition & Metabolism**, London, v. 8, n. 18, p. 1-8, 2011.
- KHAN, A. A. et al. Response of onion (*Allium cepa* L.) growth and yield to different levels of nitrogen and zinc in swat valley. **Sarhad Journal Agricultural**, Peshawar, v. 23, n. 4, p. 933-936, 2007.
- KILL, L. H.; RESENDE, G. M.; SOUZA, R. J. **Cultivo da cebola no nordeste: Botânica. Embrapa Semiárido**, Petrolina, nov. 2007. Disponível em: < <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/162405/1/Cultivodacebola.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2015.
- KLIMPEL, S. et al. The effects of different plant extracts on nematodes. **Parasitology Research**, Berlin, v. 108, n. 4, p. 1047-1054, 2011.
- KOLOTA, E.; ADAMCZEWSKA-SOWIŃSKA, K. A.; UKLAŃSKA-PUSZ, C. Response of japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.) to nitrogen fertilization. **Acta Scientiarum Polonorum**, Hortorum Cultus. v.12, n. 2, p. 51-61. 2013.
- KURTZ, C. et al. Rendimento e conservação de cebola alterados pela dose e parcelamento de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 36, p. 865-875, 2012.
- KURTZ, C.; ERNANI, P. R. Produtividade de cebola influenciada pela aplicação de micronutrientes. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 133-142, 2010.
- LANCASTER, J.; BOLAND, M. J. Flavor Biochemistry. In: Rabinowitch, H. D.; Brewster, J. L. (Eds.), **Onions and Allied Crops**. Boca Ratón Florida: CRC Press. 1990. chap. 3, p. 33-72.
- LANZOTTI, V. Review - The analysis of onion and garlic. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 1112, Issues 1-2, p.3-22, 2006.
- LEE, S. M. et al. Onion peel extract increases hepatic low-density lipoprotein receptor and ATP-binding cassette transporter A1 messenger RNA expressions in Sprague-Dawley rats fed a high-fat diet. **Nutrition Research**, Tarrytown, v. 32, n. 3, p. 210-217, 2012.
- LEONG, L. P.; SHUI, G. An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets. **Food Chemistry**, London, v. 76, p. 69-75, 2002.
- LONG, S. R. et al. Nitrogen and sulfur. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L., eds. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. 2nd ed. Rockville: J. Wiley, 2015. chap. 16, p. 711-768.
- MACPHERSON, L. J. et al. The pungency of garlic: activation of TRPA1 and TRPV1 in response to allicin. **Current Biology**, London, v. 15, p. 929-934, 2005.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

- MALAVOLTA, E. et al. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Ed. Pioneira, 1974.
- MALAVOLTA, E; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: T.; ABDALA, S. R. S.; VITTI, G. C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. cap. 6, p. 189-250.
- MANFRON, P. A.; GARCIA, D. C.; ANDRIOLO, J. L. Aspectos Morfofisiológicos da cebola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 101-108. 1992.
- MARINOZZI, M. et al. Validated pungency assessment of three italian onion (*Allium cepa* L.) cultivars. **Journal International Science Publications: Agriculture Food**, Burgas, v. 2, p. 532-41, 2014.
- MASCARENHAS, M. H. T. Origem e botânica da cebola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 6, p. 15-16, 1980.
- MAY, A. et al. Acúmulo de macronutrientes por cultivares de cebola produzida em sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 507-512, 2008.
- _____. Produtividade de híbridos de cebola em função da população de plantas e da fertilização nitrogenada e potássica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 53-59, 2007.
- MCCALLUM, J. A., et al. Expressed sequence markers for genetic analysis of bulb onion (*Allium cepa* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 103, p. 979-991, 2001.
- MEDINA, P. V. L. Recomendações sobre produtos colhidos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 98, n. 9, p. 49-52, 1983.
- MENGEL, K; KIRKBY. **Principles of plant nutrition**. 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- MIGUEL, A. C. A. **Efeito do período de armazenamento refrigerado na qualidade de cebolas e do seu produto minimamente processado**. 2005. 80 p. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.
- MORETTI, C. L. Colheita e manuseio pós-colheita. Sistema de produção de cebola (*Allium cepa* L). **Embrapa Semiárido**, Petrolina, ago. 2004. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/cebola/colheita_e_pos.htm>. Acesso em: 25 out. 2016.
- _____.; DURIGAN, J.F. Processamento de cebola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 286, p. 9-104, 2002.
- MOZUMDER, S. N.; MONTRUZZAMAN, M.; HALIM, G. M. A. Effect of N, K and S on the yield and storability of transplanted onion (*Allium cepa* L.) in the Hilly Region. **Journal Agriculture and Rural Development**, Bangladesh, v. 5, n. 1, p. 58-63, 2007.
- MUNIZ, L. B. et al. Caracterização química e física de duas cultivares e cebola armazenadas sob refrigeração. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 35, n.1, p. 261-273, 2012.
- NASREEN, S.; HAQ S, M. I.; HOSSAIN, M. A. Sulphur effects on growth responses and yield of onion. **Asian Journal of Plant Sciences**, Dubai, v. 12, n. 12, p. 897-902, 2003.
- _____.; HUQ, S. M. I. Effect of sulphur fertilization on yield, sulphur content and uptake by onion. **Indian Journal of Agricultural Research**, Bangladesh, v. 39, n. 2, p. 122-127, 2005.

- NUNES-NESI, A.; FERNIE, A. R.; STITT, M. Metabolic and signaling aspects underpinning the regulation of plant carbon nitrogen interactions. **Molecular Plant**, Shanghai, v. 3, n. 6, p. 973-996, 2010.
- OLIVEIRA, V. R. et al. Produção de Cebola em Função da Aplicação de Enxofre no Solo. **Embrapa Hortaliças**, Brasília, set. 2003. Disponível em: <<http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/Default.asp?id=3865>>. Acesso em: 18 set. 2016.
- OLSON, S. M. et al. Onion, leek, and chive production in Florida, In: Olson, S. M.; Santos, B. (eds.). **Vegetable production handbook for Florida**. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences: Gainesville, 2011. chap. 14, p. 167-179.
- PAULA, M. B. et al. Produtividade, qualidade de bulbos de cebola e teores de nutrientes na planta e no solo influenciados por fontes de potássio e doses de gesso. **Ceres**, Viçosa, v. 43, n. 283, p. 231-244, 2002.
- PERIN, A. et al. Efeito residual da adubação verde no rendimento de brócolo (*Brassica oleraceae* L. var. Italica) cultivado em sucessão ao milho (*Zea mays* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1739-1745, 2004.
- PÔRTO, D. R. Q. et al. Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de cebola “Optima” estabelecida por semeadura direta. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 4, p. 470-475, 2006.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011.
- RANDALL, P., FRENEY, J.; SPENCER, K. Diagnosing sulfur deficiency in rice by grain analysis. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 65, n. 3, p. 211-219, 2003.
- RANDLE, W. M. et al. Fertility affects flavor precursors and precursor intermediates in onion. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 120, p. 1075-1081, 1995.
- RANDLE, W. M. Onion flavor chemistry and factors influencing flavor intensity. In: RISCH, S.J.; HO, C.T. (Ed.). **Spices**. v. 666. Athens: American Chemical Society, 1997. chap. 5, p. 41-52.
- REICHARDT, K; TIMM, L. C. Absorção de nutrientes pelas plantas. In: _____. **Solo, Planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2 ed. Barueri: Manole, 2012. cap. 16. p. 337-356.
- REIN, T. A.; SOUZA, D. M.G. Adubação com enxofre. In: SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. cap. 9, p. 129-146.
- RESENDE, G. M. et al. Importância econômica. In: SOUZA, R. J.; ASSIS, R. P.; ARAÚJP, J. C. **Cultura da cebola: tecnologias de produção e comercialização**. Lavras: Ed. UFLA, 2015. cap. 1, p. 19-30.
- _____.; CHAGAS, S. J. R.; PEREIRA, L.V. Características produtivas de cultivares de cebola no Sul de Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 722-725, 2003.
- _____.; COSTA, N. D. Épocas de plantio e doses de nitrogênio e potássio na produtividade e armazenamento da cebola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 221-

226, 2008.

_____.; COSTA, N. D.; PINTO, J. M. Produtividade e qualidade pós-colheita de cebola adubada com doses crescentes de nitrogênio e potássio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 388-392, 2008.

RESENDE, J. T. V. et al. Produtividade e qualidade pós-colheita de cultivares de cebola em sistemas de cultivo orgânico e convencional. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 305-311, 2010.

REUSSI CALVO, N. I.; ECHEVERRÍA, H. E.; SAINZ ROZAS, H. Diagnosing sulphur deficiency in spring red wheat: plant analysis. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 34, p. 573-589, 2011.

ROBLES, J. E. A.; GARCÍA, E. F. M. Respuesta de niveles crecientes de NK en la producción de cebolla (*Allium cepa* L.) var. "Roja Arequipeña. **Scientia Agropecuaria**, Trujillo, v. 4, p. 15-25, 2013.

ROSE, P. et al. Bioactive S-alk(en)yl cysteine sulfoxide metabolites in the genus *Allium*: the chemistry of potential therapeutic agents. **Natural Product Reports**, London, v. 22, n. 3, p. 351-368, 2005.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

SALVAGIOTTI, F. et al. Identifying sulfur deficient fields by using sulfur content; N:S ratio and nutrient stoichiometric relationships in soybean seeds. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.135, p. 107-115, 2012.

SCHUNEMANN, A. P. et al. Pungência e características químicas em bulbos de genótipos de cebolas (*Allium cepa* L.) cultivados no alto vale do Itajaí, SC. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 1, p. 77-80, 2006.

SCHWIMMER, S.; WESTON, W. J. Enzymatic development of pyruvic acid in onion as a measure of pungency. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Califórnia, v. 9, n. 4, p. 301-304, 1961.

SILVA, A. R. C.; COSTA, N. L.; GRANGEIRO, L.C. Efeito Residual da Adubação da Cebola Sobre a Produção de Alface e Beterraba em Cultivo Sucessivo. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 3, p. 85-89, 2012.

SILVA, E. C. et al. Exigências climáticas da cebola. In: SOUZA, R. J.; ASSIS, R. P.; ARAÚJP, J. C. **Cultura da cebola: tecnologias de produção e comercialização**. Lavras: Ed. UFLA, 2015. cap. 4, p. 141-148.

SILVA, M. L. S.; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 149, p 10-16, 2015.

SILVA, M. L. S.; TREVIZAM, A. R., PICCOLO, M. C.; Tomato production in function of sulfur doses application. **Pesquisa aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 7, p. 47-54, 2014.

SIMON, P. W. Genetic analysis of pungency and soluble solids in long-storage onions. **Euphytica**, Wageningen, v. 82, n. 1, p. 1-8, 1995.

SOTOMAYOR-RAMÍREZ, D.; OLIVERAS-BERROCALES, M.; WESSEL-BEAVAR, L. Fertilizer-nitrogen Management in an Onion and Tropical Pumpkin Rotation in Puerto Rico.

HortTechnology, Alexandria, v. 26, n. 6, p. 831-838, 2016.

SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: _____. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. cap. 5, p. 129-146.

SOUZA, J. L. de.; RESENDE, P. **Manual de horticultura orgânica**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003.

SOUZA, R. J. de; ASSIS, R. P.; ARAÚJO, J. C. **Cultura da cebola: tecnologias de produção e comercialização**. Lavras: Ed. UFLA, 2015.

SOUZA, R. J. de; RESENDE, G. M. de. **Cultura da cebola**. Lavras: Ed. UFLA, 2002. (Textos Acadêmicos- Olericultura, 21).

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap. 9, p. 215-252.

SRINIVASAN, K. Dietary spices as beneficial modulators of lipid profile in conditions of metabolic disorders and diseases?. **Food & Function**, Berlin, v. 4, n. 4, p. 503-521, 2013.

STURM, M. et al. Effect of different fertilization and irrigation practices on yield, nitrogen uptake and fertilizer use efficiency of white cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata L.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 125, p. 103-109, 2010.

SU, L. et al. Total phenolic contents, chelating capacities, and venging properties of black peppercorn, nutmeg, rosehip, cinnamon and oregano leaf. **Food Chemistry**, London, v. 100, p. 990-997, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2013.

TANEMURA, R. et al. Absorption and translocation of nitrogen in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants using the ¹⁵N tracer technique. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 54, p. 108-117, 2008.

TRANI, P. E.; BREDA JÚNIOR, J. M.; FACTOR, T. L. **Calagem e adubação da cebola (*Allium cepa* L.)**. Campinas: Instituto Agronômico, 2014.

VARGAS, T. de O. et al. Green manure-¹⁵N absorbed by broccoli and zucchini in sequential cropping. **Science Horticulturae**, Amsterdam, v. 214, p. 209-213, 2017.

VAUGHAN, J. G.; GEISSLER, C. A. **The new Oxford book of food plants**. New York: Oxford University, 1997.

VAZQUEZ-PRIETO, M. A. et al. Garlic and onion attenuates vascular inflammation and oxidative stress in fructose-fed rats, **Journal of Nutrition and Metabolism**, Cairo, v. 2011, Article ID 475216, 7 p., 2011. doi:10.1155/2011/475216.

VIDIGAL, S. M.; PEREIRA, P. R. G.; PACHECO, D. D. Nutrição mineral e adubação de cebola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 218, p. 36-50, 2002.

VILELA, N. J.; et al. Desafios e oportunidades para o agronegócio de cebola no Brasil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 1029-1033, 2005.

VITTI, A. C. et al. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 3, p. 287-293, 2011.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap. 12, p. 299-325.

WALL, M. M.; CORGAN, J. N. Relationship between pyruvate analysis and flavor perception for onion pungency determination. **HortScience**, Alexandria, v. 27, p. 1029-1030, 1992.

WANG, Y.; TIAN, W. X.; MA, X. F. Inhibitory Effects of onion (*Allium cepa* L.) extract on proliferation of cancer cells and adipocytes via inhibiting fatty acid synthase. **Asian Pacific Organization for Cancer Prevention**, Tehran, v. 13, n. 11, p. 5573-5579, 2012.

WEISBURGER, J. H. Mechanisms of action of antioxidants as exemplified in vegetables, tomatoes and tea. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 37, n. 9-10, p. 943-948, 1999.

WIEDENFELD, R. Nitrogen rate and timing effects on onion growth and nutrient uptake in a subtropical climate. **Subtropical Plant Science**, Weslaco, v. 46, p. 32-37, 1994.

YOSHINARI, O.; SHIOJIMA, Y.; IGARASHI, K. Anti-Obesity Effects of Onion Extract in Zucker Diabetic Fatty Rats. **Nutrients**, Basel, v. 4, n. 10, p. 1518-1526, 2012.

ZOBECK, T. M. et al. Scaling up from field to region for wind erosion prediction using a field-scale wind erosion model and GIS. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 82, p. 247-259, 2000.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 – QUALIDADE PÓS-COLHEITA DA CEBOLA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E ENXOFRE

Patriciani Estela Cipriano¹, Maria Ligia de Souza Silva¹, Anderson Ricardo Trevizam¹, Luiz Roberto Guimarães Guilherme¹

Universidade Federal de Lavras – UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: patriciani_estela@hotmail.com, marialigia.silva@dcs.ufla.br, aanrt@hotmail.com, guilherm@dcs.ufla.br

Artigo redigido de acordo com as normas da Revista Semina: Ciências Agrárias

Post-harvest quality of onion in function of the application of nitrogen and sulfur

Resumo

A qualidade de bulbos de cebola é importante, porém ainda é limitado o conhecimento sobre alguns aspectos dessa cultura, sobretudo quanto a influência da interação N e S em atributos de pós-colheita. Objetivou-se avaliar o efeito de doses combinadas de N e S sobre atributos qualitativos de cebola (*Allium cepa* L.). O experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 5, com três doses de S (0, 20, 40 mg dm⁻³) e cinco doses de N (0, 40, 60, 80, 100 mg dm⁻³) com quatro repetições. Os atributos avaliados foram: pungência, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação sólidos solúveis/acidez titulável total (SS/AT), massa fresca bulbo (MFB), massa seca bulbo (MSB) e perda de massa fresca do bulbo (PMFB) aos 10, 55 e 110 dias (PMFB10, PMFB55, PMFB110) em bulbos de cebola. Para pungência, MFB, SS/AT e MSB houve incrementos na dose de 40 mg dm⁻³ de S combinada com as doses 100,0; 0,0; 16,25 e 0,0 mg dm⁻³ de N, respectivamente. Para SS os maiores valores foram encontrados na combinação de 40 mg dm⁻³ de S com todas as doses de N aplicadas. O maior incremento para o atributo AT ocorre com a combinação das doses de 0 mg dm⁻³ de S com 100 mg dm⁻³ de N. Já para PMFB10, PMFB55 e PMFB110, a combinação de todas as doses de S com 100 mg dm⁻³ de N proporcionou maior incremento. A interação entre N e S influencia na qualidade do pós-colheita dos bulbos de cebola da cultivar híbrida Diamantina. A aplicação de S contribui para redução da PMFB e aumento de MFB e MSB em baixas doses de N. Bulbos mais pungentes, com maiores %SS e menores AT, são observados com a aplicação de S independentemente da quantidade de N disponível. A combinação de 40 mg dm⁻³ de S e 40 mg dm⁻³ de N proporcionou melhor qualidade aos bulbos de cebola.

Palavras-chave: Interação iônica. *Allium cepa* L. Pungência. Sinergismo.

1 Abstract

2
3 The quality of onion bulbs is important, but knowledge about some aspects of this culture is still limited,
4 especially regarding the influence of N and S interaction on post-harvest attributes. The objective of this study
5 was to evaluate the effect of combined doses of N and S on qualitative attributes of onion (*Allium cepa* L.).
6 The experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design, in a 3 x 5 factorial scheme,
7 with three doses of S (0, 20, 40 mg dm⁻³) and five doses of N (0, 40, 60, 80, 100 mg dm⁻³) with four replicates.
8 The evaluated attributes were: pungency, soluble solids (SS), titratable acidity (TA), soluble solids/total
9 titratable acidity ratio (SS/TA), fresh mass bulb (FMB), dry mass bulb (DMB) and fresh matter loss bulb
10 (FMLB) at 10, 55 and 110 days (FMLB10, FMLB55, FMLB110) in onion bulbs. For pungency, FMB, SS/TTA
11 and DMB, there were increases in the dose of 40 mg dm⁻³ of S combined with the doses 100.0; 0.0; 16.25 and
12 0.0 mg dm⁻³ of N, respectively. For SS, the highest values were found in the combination of 40 mg dm⁻³ of S
13 with all doses of N applied. The highest increase for the TA attribute occurs with the combination of doses of
14 0 mg dm⁻³ of S with 100 mg dm⁻³ of N. For FMLB10, FMLB55 and FMLB110, the combination of all doses
15 of S with 100 mg dm⁻³ of N which provided the greatest increase. The interaction between N and S influences
16 on post-harvest quality of onion bulbs of hybrid cultivar Diamantina. The application of S contributes to
17 reduction of FMLB and increase of FMB and DMB in low doses of N. Bulbs more pungent, greater %SS and
18 lower TA are observed with the application of S regardless of the amount of N available. The combination of
19 40 mg dm⁻³ of S and 40 mg dm⁻³ of N provided better quality to onion bulbs.

20 **Key words:** Ionic interaction. *Allium cepa* L.. Pungency. Synergism.

22 Introdução

23
24 A cebola tem sido amplamente empregada como tempero ou mesmo para usos medicinais (MARINO
25 et al., 2013). Nesse sentido, é importante salientar que os compostos presentes na cebola, como fenólicos,
26 flavonoides, cepaenos, tiossulfinaos e antocianinas (SLIMESTAD et al., 2007), podem reduzir ou prevenir
27 diversas doenças crônicas como câncer, doenças cardíacas, obesidade e hipercolesterolemia (LANZOTTI,
28 2006).

29 Entre as características físicas e químicas utilizadas para avaliar a qualidade pós-colheita de hortaliças,
30 destacam-se os atributos perda de massa fresca, cor, firmeza, sólidos solúveis, acidez titulável e pungência
31 (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A pungência é a combinação de sabor e odor, que é percebida com a
32 ruptura dos tecidos (BELITZ; GROSCH, 1988), sendo derivada a partir de um número de compostos voláteis
33 de S (EL-HADIDY et al., 2014). A variação na pungência ocorre, dentre outros fatores, em razão da variação
34 na absorção de S (YOO et al., 2006) que influencia na síntese de seus precursores, definindo assim a
35 intensidade do sabor (SCHUNEMANN et al., 2006).

36 O fornecimento de nutrientes pode influenciar na qualidade da cebola (MORSY et al., 2012). Sendo
37 assim, os níveis de nitrogênio (N) e enxofre (S) podem interferir no teor de sólidos solúveis e matéria seca da
38 cebola (YOO et al., 2006) o que afeta características como sabor, textura e capacidade de armazenamento do

1 bulbo (MALLOR; SALES, 2012).

2 O N é responsável pelo incremento da produtividade (RESENDE; COSTA, 2014), porém devido a sua
3 rota metabólica, sua assimilação depende da presença de S (TAIZ; ZEIGER, 2013). Deste modo, as plantas
4 deficientes em S não conseguem assimilar o N em proteínas, o que acarreta no acúmulo de amins, amidas e
5 aminoácidos livres no tecido vegetal (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Sendo assim, as rotas metabólicas de
6 assimilação de N e S interagem na formação dos aminoácidos cisteína, cistina e metionina (CRAWFORD et
7 al., 2000), sendo que essa influência mútua exerce efeito sobre vários parâmetros como crescimento, matéria
8 seca e sabor (COOLONG; RANDLE, 2003).

9 O estudo da relação N/S tem despertado interesse crescente (COOLONG et al., 2005; MENDES et al.,
10 2014), visto que, o equilíbrio entre as quantidades desses nutrientes no solo e na planta são importantes na
11 avaliação do estado nutricional das plantas (BONFIM-SILVA; MONTEIRO, 2009). Entretanto, o
12 conhecimento sobre alguns aspectos dessa cultura ainda é limitado (MALLOR et al., 2014), sobretudo em
13 relação a interação N e S no crescimento e intensidade de sabor da cebola. Desse modo, objetivou-se avaliar
14 o efeito das diferentes doses combinadas de N e S sobre alguns atributos qualitativos de cebola.

15

16 **Material e Métodos**

17

18 O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da
19 Universidade Federal de Lavras (UFLA) em Lavras/MG (21° 14' 43" S; 44° 59' 59" W, Altitude de 919 m) em
20 vasos com 4 dm³ de solo, preenchidos com amostras da camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho-
21 Amarelo distrófico, de textura média, classificado de acordo com Santos et al. (2013). As análises física e
22 químicas do solo conforme Donagema et al. (2011) indicaram: 660 g kg⁻¹ areia; 20 g kg⁻¹ silte e 320 g kg⁻¹
23 argila; pH em água de 4,9; 5,4 g kg⁻¹ matéria orgânica; 26 mg dm⁻³ de potássio; 0,3 mg dm⁻³ de fósforo; 0,3
24 cmol_c dm⁻³ de cálcio; 0,1 cmol_c dm⁻³ de magnésio; 0,3 cmol_c dm⁻³ de alumínio; 2,1 cmol_c dm⁻³ de hidrogênio +
25 alumínio; 17,4 mg L⁻¹ de fósforo remanescente; 1,4 mg dm⁻³ de zinco; 12,0 mg dm⁻³ de ferro; 1,3 mg dm⁻³
26 de manganês; 0,6 mg dm⁻³ de cobre; 0,2 mg dm⁻³ de boro; 7,0 mg dm⁻³ de enxofre.

27 Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3x5, com três
28 doses de S (0, 20 e 40 mg dm⁻³) e cinco doses de N (0, 40, 60, 80 e 100 mg dm⁻³), com quatro repetições,
29 totalizando 60 parcelas. Cada parcela experimental foi constituída por uma planta por vaso. Como fonte de S
30 e N, foi utilizado (sulfato de cálcio e ureia marcada com 3% de átomos de ¹⁵N em excesso).

31 Com base na análise química do solo, foi efetuada a calagem para elevar a saturação por bases a 80%
32 (Trani et al., 2014) com uso de carbonato de cálcio (CaCO₃) p. a. e magnésio (MgCO₃) p. a. com 2,25 e 0,75
33 mg dm⁻³, respectivamente. Após a incubação do solo por 30 dias, com umidade próxima a 60% do volume
34 total de poros (VTP). As doses de N e S foram aplicadas ao solo, sendo que o N foi parcelado em 4, com a
35 primeira parcela aplicada no plantio e o S aplicado todo no plantio. Juntamente com a aplicação dos
36 tratamentos, foi realizada a adubação básica de plantio com 150 mg de P e 30 mg de K por dm⁻³, com
37 superfosfato triplo) e cloreto de potássio (KCl). A Adubação básica com micronutrientes consistiu na aplicação
38 de 1 mg de B e 2 mg de Zn por dm⁻³ com ácido bórico (H₃BO₃) e sulfato de zinco (ZnSO₄.7H₂O). Durante o

1 período de cultivo, a cebola recebeu adubações de cobertura na dose de 30 mg dm⁻³ de K por duas vezes e as
2 doses de N referente aos tratamentos por três vezes por meio de solução nutritiva, com intervalos de 20 dias.

3 As mudas de cebola cv. Diamantina foram produzidas em bandejas de poliestireno com 128 células
4 sendo semeada uma semente por célula. O transplante foi realizado aos 30 dias após a semeadura. Durante a
5 condução do experimento, não foi necessário controle fitossanitário e a umidade do solo foi mantida próxima
6 à capacidade de campo repondo o volume de água sempre que necessário.

7 A colheita das plantas foi realizada ao final do ciclo, após 130 dias de cultivo. Foi mensurada a massa
8 dos bulbos, com objetivo de determinar a produção, e armazenados em temperatura ambiente, em local seco e
9 arejado, para a realização das análises de pós-colheita. As análises químicas de pós-colheita nos bulbos
10 consistiram na determinação de sólidos solúveis (AOAC, 2000), acidez titulável conforme Instituto Adolfo
11 Lutz (IAL, 2005), teor ácido pirúvico (pungência) conforme Schwimmer e Weston (1961) modificado por
12 Anthon e Barrett (2003), e perda de matéria fresca (FINGER et al., 1999). Com os dados obtidos, estimou-se
13 a relação sólidos solúveis/acidez titulável total.

14 Os dados obtidos foram submetidos à análises de variância, ao teste de média pelo intervalo de
15 confiança, ao nível de 5% de significância para as variáveis qualitativas e regressão polinomial para as
16 quantitativas com o uso do software estatístico R versão 3.2.3 (RDCT, 2015).

17

18 **Resultados e Discussão**

19

20 Os atributos qualitativos avaliados em bulbos de cebola apresentaram interação significativa entre as
21 doses de N e S aplicadas. Quando analisados isoladamente só SS e Pungência, não tiveram influência
22 significativa das doses de N, porém apresentaram diferença significativa quando considerado as doses de S
23 aplicadas (Tabela 1).

24 A aplicação de S e N proporcionaram incremento significativo na pungência da cebola. Nesse sentido,
25 foi verificado que a melhor proporção entre o S e o N, com base na sobreposição dos intervalos de confiança
26 no sentido das doses, foi a aplicação de 40 e 80 mg dm⁻³ de S e N, respectivamente (Figura 1). Estudando a
27 relação entre a irrigação e doses de S, Channagoudra, Prabhudeva e Kamble (2009) observaram maior
28 pungência quando aplicado S, corroborando com o presente estudo. Esses resultados podem ser explicados em
29 razão do S ser constituinte de aminoácidos como a cistina, metionina, cisteína e precursores de compostos
30 sulfurados responsáveis pela pungência da cebola (TRANI, BREDA JÚNIOR e FACTOR, 2014). Além da
31 absorção do S (RANDLE, 1997) e N (COOLONG e RANDLE, 2003) a intensidade da pungência pode ser
32 controlada por fatores genéticos, ambientais, temperatura e disponibilidade de água (MCCALLUM et al.,
33 2005). No entanto, Segundo Yoo et al. (2006) apenas 18,7% da variação que ocorre na intensidade da
34 pungência é devido a influência do ambiente, sendo o fator genético o causador da maior influência nessa
35 porcentagem.

36 É válido destacar, de modo geral, que a aplicação de S proporcionou bulbos mais pungentes em todas
37 as doses de N. Esses resultados são decorrentes do aumento no teor de ácido pirúvico nos bulbos, em função
38 da assimilação de S aplicado no solo, visto que esse nutriente tem relação direta com o teor de ácido pirúvico

1 que é um dos precursores da pungência da cebola (RANDLE, 1997; COOLONG e RANDLE, 2003).

2 Um ponto importante a ser considerado é a qualidade da cebola, que varia em razão da pungência.
3 Deste modo, a escala de Schwimmer e Weston (1961) classifica a pungência da cebola em função da
4 quantidade de ácido pirúvico, sendo considerada fraca (2 a $4 \mu\text{mol g}^{-1}$), intermediária (8 a $10 \mu\text{mol g}^{-1}$) ou forte
5 (15 a $20 \mu\text{mol g}^{-1}$). Portanto, uma vez aplicadas as doses indicadas de S e N, 40 e 80 mg dm^{-3} respectivamente,
6 o valor da pungência foi de aproximadamente $10 \mu\text{mol g}^{-1}$, portanto a classificação da pungência no presente
7 estudo foi classificada como intermediária. Essa classificação é importante, sobretudo para a comercialização
8 da cebola, pois há uma preferência dos consumidores por bulbos que tenham pungência considerada de
9 moderada a forte devido ao sabor mais intenso encontrado (SOUZA et al., 2008).

10 No que se refere à acidez titulável (AT) observou-se efeitos da interação N e S (Figura 2A). Na
11 ausência da adubação com S houve resposta quadrática, com o maior incremento ocorrendo na dose 100 mg
12 dm^{-3} de N com $3,5\%$ para AT. Enquanto que para as doses de 20 e 40 mg dm^{-3} de S, não se observou nenhuma
13 alteração, obtendo valores médios de $2,1\%$ e $1,3\%$, respectivamente, para AT.

14 Resultados adjacentes foram encontrados por Grangeiro et al. (2008) avaliando 18 genótipos de cebola
15 na região Nordeste do Brasil, onde encontraram AT variando de $0,19$ a $0,45\%$. Esses autores verificaram ainda
16 que o valor de $0,43\%$ de AT em cebolas da Crioula do Alto Vale sendo este genótipo, o que apresentou a AT
17 mais próxima do valor obtido neste trabalho, que foi de $0,41\%$.

18 Aumentando as doses de N sem a aplicação de S observou-se o aumento na AT, o que é desejável,
19 porém ao aplicar S as porcentagens da AT foram menores, independente da dose de N aplicada. O aumento na
20 acidez titulável é importante, uma vez que esse atributo pode ser considerado para a avaliação do sabor e aroma
21 (GRANGEIRO et al., 2008). A indústria requer bulbos que apresentam teores elevados de acidez titulável,
22 pois são considerados melhores para serem submetidos ao processo de desidratação devido à perda de
23 compostos aromatizantes neste processo (CHAGAS et al., 2004).

24 O teor de sólidos solúveis (SS) (Figura 2B) sem aplicação de S apresentou valor médio de $10,85\%$,
25 enquanto que na dose de 40 mg dm^{-3} o valor médio obtido foi de $13,37\%$. Para a dose de 20 mg dm^{-3} de S
26 houve comportamento linear, onde com o aumento das doses de N também houve aumento dos SS, com o
27 maior incremento ocorrendo na dose 100 mg dm^{-3} de N, sendo este de $12,85\%$. Como a maior dose testada
28 neste experimento foi de 100 mg dm^{-3} de N supõe-se que doses maiores levariam a maiores valores de SS,
29 indicando estreita relação entre este parâmetro e o N. No geral, observou-se aumento no teor de SS com o
30 incremento de doses de S. Quando comparado a aplicação de 20 e 40 mg dm^{-3} de S com o controle houve
31 incremento de $81,15$ e $81,89\%$, nessa ordem. Esse resultado pode ser explicado em razão do S participar dos
32 processos de formação dos açúcares na cebola principalmente glicose, frutose, sacarose e frutanos, o que elava
33 o teor de SS (RANDLE et al., 1995).

34 Observa-se que os valores de SS encontrados neste trabalho foram próximos com os reportados por
35 Grangeiro et al. (2008), que avaliaram 18 cultivares de cebola em Mossoró-RN, entre elas a IPA 11 com $10,61$
36 $^{\circ}\text{Brix}$ e demais cultivares variando entre $6,06$ e $11,63 ^{\circ}\text{Brix}$. Schunemann et al. (2006) encontraram variação
37 de $6,06$ a $11,00 ^{\circ}\text{Brix}$ em 18 genótipos de cebola que foram cultivados no Vale do Itajaí-SC. A aplicação de S
38 proporcionou maior teor de SS, mantendo-se valor médio quando aplicado a maior dose de S e apresentando

1 aumento em função do incremento nas doses de N quando aplicado a dose intermediária de S. Os teores de SS
2 encontrados nesse trabalho oscilaram de 10 a 15,5 °Brix. Esses valores encontram-se dentro da faixa
3 estabelecida por Carvalho (1980) que tem a variação de 5 a 20 °Brix.

4 A relação SS/AT (Figura 2C) apresentou ajuste quadrático para as doses de 0, 20 e 40 mg dm⁻³ de S.
5 Nas doses de 0 e 40 mg dm⁻³ de S, observou-se redução dos valores da relação SS/AT em função do aumento
6 de doses de N, enquanto que para a dose 20 mg dm⁻³ de S a aplicação de N proporcionou pequeno aumento
7 nesta relação.

8 A partir da equação gerada pode-se estimar a maior SS/AT para as doses de S em estudo. A maior
9 relação SS/AT foi de 11,86 ocorrendo para a dose de 40 mg dm⁻³ de S combinada com a dose de 16,25 mg dm⁻³
10 de N. Sem a aplicação de S, a maior SS/AT ocorreu na dose de 16,93 mg dm⁻³ de N, sendo este de 5,7, porém
11 quando se aplicou 20 mg dm⁻³ de S a maior SS/AT ocorreu para a dose de 100 mg dm⁻³ de N com valor de 6,2.
12 A dose de 40 mg dm⁻³ promoveu incremento de 47,5 e 52,5% em relação a 0 e 20 mg dm⁻³ de S,
13 respectivamente.

14 A aplicação de S, na dose de 40 mg dm⁻³ resultou na maior relação SS/AT, porém a adição de N fez
15 com que esta relação diminuísse. Já na dose de 20 mg dm⁻³ de S combinada às doses de N proporcionou ligeiro
16 aumento na relação SS/AT. O aumento em SS/AT demonstra o incremento no sabor. Quando associada aos
17 teores de sólidos solúveis, a relação obtida entre esses atributos é parâmetro importante para se avaliar a
18 qualidade do pós-colheita, pois é mais significativo do que a análises desses atributos isoladamente. Chitarra
19 e Chitarra (2005) afirmam que a acidez titulável correlaciona-se com os teores de ácidos orgânicos.
20 Considerando que os alimentos são compostos por vários ácidos orgânicos, o aumento na AT indica que houve
21 maior quantidade de ácidos orgânicos produzidos, repercutindo no sabor mais acentuado.

22 Com relação à MFB e MSB (Figura 4a e 4b), para as doses 0, 20 e 40 mg dm⁻³ de S houve ajuste
23 quadrático. Quando não aplicado S, os maiores valores foram encontrados para a dose de 100 mg dm⁻³ de N,
24 sendo elas de 17,77 g para MFB e 7,11 g para MSB. Com a aplicação de S os maiores valores foram observados
25 sem a aplicação de N. Na dose de 20 mg dm⁻³ de S, obteve-se 20,47 e 8,18 g e na dose de 40 mg dm⁻³ de S
26 obteve-se 26,0 e 10,40 g para MFB e MSB, respectivamente, com o maior incremento ocorrendo na dose de
27 40 mg dm⁻³ de S combinado com a dose 0 mg dm⁻³ de N.

28 Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Chattopadhyay et al. (2015), ao verificarem
29 aumento significativo do rendimento de bulbo com a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de S. Estudando a relação entre
30 a aplicação de S e a absorção de nutrientes pela cebola Pradhan et al. (2015) observaram que a aplicação das
31 doses de 30 e 45 kg ha⁻¹ de S na forma de gesso agrícola promoveu incremento no rendimento do bulbo, além
32 de aumentar a absorção de N, P, K e S. A redução da MFB e MSB em função do aumento das doses de N,
33 pode ter ocorrido em razão dos elevados níveis desse nutriente, nesse sentido Randle (2000) observou uma
34 diminuição do bulbo com o aumento da disponibilidade de N, e segundo o mesmo autor os altos níveis de N
35 ocasionaram produção de folhagem excessiva, o que diminui o rendimento do bulbo.

36 Observa-se que a aplicação de S resultou em maiores MFB e MSB quando em baixas doses de N
37 aplicadas. Porém, com a aplicação de N houve uma queda na MFB e MSB, voltando a aumentar na dose de 80
38 mg dm⁻³ de N. Quando não foi aplicado S houve resposta crescente com as doses de N. O S apresenta relação

1 direta com o acúmulo de massa seca dos bulbos, uma vez que é o quarto elemento mais acumulado em cebolas
2 (PÔRTO et al. 2007), constatado neste experimento com a aplicação de S. Resende et al. (2016) que
3 verificaram incrementos na MFB aplicando, 172,5 kg ha⁻¹ de N (Brisa IPA-12) e 196,9 kg ha⁻¹ de N (Vale
4 Ouro IPA-11), o mesmo foi observado quando não aplicou S, houve aumento na MFB em função do N
5 aplicado. O aumento na MFB e MSB, obtido nesse trabalho a partir da dose de 80 mg dm⁻³ de N permite inferir
6 que seria obtido maiores valores para essas variáveis em doses maiores de N baseando-se nos resultados
7 obtidos por Resende et al. (2016).

8 Para a perda de massa fresca do bulbo (PMFB) (Figura 5) durante o armazenamento observou-se
9 interação significativa entre N e S. Aos 10 e 55 dias após a colheita, em função do incremento de doses de N,
10 houve comportamento quadrático para 0 e 20 mg dm⁻³ de S, enquanto que para a dose 40 mg dm⁻³ de S o efeito
11 foi linear. Aos 110 dias após a colheita foi observado comportamento linear em 0 e 40 mg dm⁻³ de S, enquanto
12 que para 20 mg dm⁻³ de S houve efeito quadrático crescente. Conforme observado para o teor de SS, a perda
13 de PMFB apresenta tendência de aumentar com o aumento na dose de N aplicada.

14 A aplicação de S proporcionou menor PMFB quando em doses baixas de N. No entanto, quando se
15 aumentou as doses de N verifica-se que não há diferenças entre as doses de S. A maior PMFB ocorreu na maior
16 dose de N aplicada (100 mg dm⁻³) nos três períodos avaliados, com aumento cumulativo em função do tempo
17 de armazenamento. Rezende e Costa (2014) observaram que na dose de 149 kg ha⁻¹ de N houve perda de
18 38,4%, porém sem a aplicação de N houve perda de 33,8%. Já Kurtz et al. (2012) aos 135 dias após a colheita
19 encontraram perda de massa de 19,5% sem a aplicação de N, e 34,5%, com a aplicação de 158 kg ha⁻¹ de N.
20 Observa-se neste trabalho que o aumento das doses de N incrementa a PMFB atingindo 71% aos 110 dias após
21 a colheita. Em baixas doses de N o aumento nas doses de S (20 e 40) reduz essas perdas, pois quando não
22 houve a aplicação de N e aplicou-se 40 mg dm⁻³ de S ocorreu a PMFB de 28,5% aos 110 dias. Esses resultados
23 estão de acordo com Ristimäki e Papadopoulos (2000) que afirmam que tanto a qualidade quanto a conservação
24 dos bulbos podem ser influenciadas pelo N.

25 O aumento de perda de matéria fresca ao longo do armazenamento pode ser atribuído ao aumento
26 cumulativo na perda de massa, devido à perda de água a partir dos bulbos. A perda de água é umas das
27 precursoras das alterações que influenciam na qualidade pós-colheita, o que dificulta a conservação da cebola
28 (SANTOS; ARAÚJO, 1993). A maior conservação do produto no período de pós-colheita é desejável devido
29 as oscilações de preços em curtos períodos de tempo que ocorrem na comercialização (RESENDE; COSTA,
30 2014).

31 Essa redução da massa fresca que ocorre ao longo dos dias causa alterações quantitativas como a perda
32 de massa e qualitativas como aparência e textura (KADER, 2002). Dankhar e Singh (1991) reportam que a
33 perda de peso dos bulbos aumentou com o aumento de dose de N. Paralelamente aos resultados encontrados
34 neste trabalho, Singh e Dhankar (1995) e Pandey e Pandey (1994) avaliaram que o aumento da taxa de N
35 aplicado de 50 para 150 kg ha⁻¹ levou ao aumento significativo na perda de massa fresca de cebolas
36 armazenadas durante 4 a 5 meses sob condições ambientais.

37

38

1 **Conclusão**

2

3 A interação entre N e S influencia favoravelmente na qualidade do pós-colheita dos bulbos de cebola
4 da cultivar híbrida Diamantina.

5 A aplicação de S contribui para redução da PMFB e aumento de MFB e MSB em baixas doses de N.
6 Bulbos mais pungentes, maiores %SS e menores AT são observados com a aplicação de S independentemente
7 da quantidade de N disponível.

8 A combinação de 40 mg dm⁻³ de S e 40 mg dm⁻³ de N proporcionou melhor qualidade aos bulbos de
9 cebola.

10

11 **Agradecimentos**

12

13 À Universidade Federal de Lavras (UFLA), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
14 (CAPES), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional
15 de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio a pesquisa.

16

17 **Referências**

18

19 ANTHON, G. E.; BARRETT, D. M. Modified method for the determination of pyruvic acid with
20 dinitrophenylhydrazine in the assessment of onion pungency. *Journal of the Science of Food and Agriculture*,
21 London, v. 83, p. 1210-1213, 2003.

22 ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. *Official methods of analysis of AOAC*
23 *International*. 17th ed. Gaythersburg, Maryland, 2000.

24 BELITZ, H. D.; GROSCH, W. *Química de los alimentos*. Zaragoza: Acribia. 1988. 813p.

25 BONFIM-DA-SILVA, E.M.; MONTEIRO, F.A. Nitrogênio e enxofre em características produtivas do capim-
26 braquiária proveniente de área de pastagem em degradação. *Revista Brasileira Zootecnia*, Viçosa, v. 35, p.
27 1289-1297, 2006.

28 CARVALHO, V. D. Características nutricionais, industriais e terapêuticas da cebola. *Informe Agropecuário*,
29 Belo Horizonte, v. 6, n. 62, p. 71-78, 1980.

30 CHAGAS, S. J. R.; RESENDE, M. R.; PEREIRA, L. V. Características qualitativas de cultivares de cebola no
31 Sul de Minas Gerais. *Ciências e Agrotecnologia*, Lavras, v. 28, n. 1, p. 102-106, 2004.

32 CHANNAGOUDRA, R. F.; PRABHUDEVA, A.; KAMBLE, A. S. Response of onion (*Allium cepa* L.) to
33 different levels of irrigation and sulphur in alfisols of northern transitional tract of Karnataka. *The Asian*
34 *Journal of Horticulture*, Ghaziabad, v. 4, n. 1, p. 152-155, 2009.

35 CHATTOPADHYAY, S.; SANTRA, P.; BEHERA, S.; MAITY, T. K. Efficacy of sulphur on growth, yield
36 and quality of onion (*Allium cepa* L.). *Journal Crop and Weed*, Nadia, v. 11, n. 2, p. 86-89, 2015.

37 CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio*. 2 ed.
38 Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

- 1 COOLONG, T. W. KOPSELL, D. A.; KOPSEL, D. E.; RANDLE, W. M. Nitrogen and Sulfur Influence
2 Nutrient Usage and Accumulation in Onion. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 27, n. 9, p. 1667-1686,
3 2005.
- 4 COOLONG, T. W.; RANDLE, W. M. Sulphur and nitrogen availability interact to affect the flavor
5 biosynthetic pathway in onion. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v. 128,
6 p. 776-783, 2003.
- 7 CRAWFORD, N. M.; KAHN, M. L.; LEUSTEK, T.; LONG, S. R. Nitrogen and sulphur. In: BUCHANAN,
8 B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Org). *Biochemistry and molecular biology of plants*. Rockville:
9 American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 786-849.
- 10 DANKHAR, B. S; SINGH J. Effect of Nitrogen, Potash and Zinc on storage loss onion bulbs (*Allium cepa*
11 L.). *International Journal of Vegetable Science*, United States, v. 18, p. 16-23, 1991.
- 12 DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.
13 *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- 14 EL-HADIDY, E. M.; MOSSA, M. E. A.; HABASHY, H. N. Effect of freezing on the pungency and
15 antioxidants activity in leaves and bulbs of green onion in Giza and Photon varieties. *Annals of Agricultural*
16 *Science*, Cairo, v. 59, n. 1, p. 33-39, 2014.
- 17 EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. Londrina: Editora Planta,
18 2006. 403p.
- 19 FINGER, F. L.; ENDRES, L.; MOSQUIM, P. R.; PUIATTI, M. Physiological changes during postharvest
20 senescence of broccoli. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1565-1569, 1999.
- 21 GRANGEIRO, L. C.; SOUZA, J. O.; AROUCHA, E. M. M.; NUNES, G. H. S.; SANTOS, G. M.
22 Características qualitativas de genótipos de cebola. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1087-
23 1091, 2008.
- 24 INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. Brasília: Ministério
25 da Saúde, 2005.1020 p.
- 26 JAGGI, R. C. Sulphur levels and sources affecting yield and yield attributes in onion (*Allium cepa* L.). *Indian*
27 *Journal of Agricultural Sciences*, New Delhi, v. 75, p. 154-156, 2005.
- 28 KADER, A. A. Postharvest biology and technology: an overview. In: KADER, A. A. (Ed.) - *Postharvest*
29 *technology of horticultural crops*. 3rd ed. California: University of California, p. 435-461. 2002.
- 30 KURTZ, C.; ERNANI, P. R.; COIMBRA, J. L. M.; PETRY, E. Rendimento e conservação de cebola alterados
31 pela dose e parcelamento de nitrogênio em cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, p.
32 865-876, 2012.
- 33 LANZOTTI, V. The analysis of onion and garlic. *Journal of Chromatography A*, Amsterdam, v. 1112, p. 3-
34 22, 2006.
- 35 MALLOR, A. C.; SALES, B, E. Yield and traits of bulb quality in the Spanish sweet onion cultivar ‘Fuentes
36 de Ebro’ after selection for low pungency. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 140, p. 60-65, 2012.
- 37 MALLOR, C.; ARNEDO-ANDRÉS, M. S.; GARCÉS-CLAVER, A. Assessing the genetic diversity of
38 Spanish *Allium cepa* landraces for onion breeding using microsatellite markers Agrifood. *Scientia*

- 1 *Horticulturae*, Amsterdam, v. 170, p. 24-31, 2014.
- 2 MARINO, A. S.; BASSOB, B.; LEONEC, A. P. Alvinoa Agronomic traits and vegetation indices of two
3 onion hybrids. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 155, p. 56-64, 2013.
- 4 MCCALLUM, J.; PORTER, N.; SEARLE, B.; SHAW, M.; BETTJEMAN, B.; M MCMANUS, M. Sulfur and
5 nitrogen fertility affects flavour of field-grown onions. *Plant and Soil*, The Hague, v. 269, n. 1, p. 151-158,
6 2005.
- 7 MENDES, M. C.; WALTER, A. L. B.; POSSATO JUNIOR, O.; RIZZADI, D. A.; SCHLOSSER, J.;
8 SZEUCZUK, K. Dose de nitrogênio associado a enxofre elementar em cobertura na cultura do milho em
9 plantio direto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 13, n. 1, p. 96-106, 2014.
- 10 MORSY, M. G.; MAREY, R. A.; KARAM, S. S.; ABO-DAHAB, A. M. A. Productivity and storability of
11 onion as influenced by the different levels of NPK fertilization. *Journal of Agricultural Research*,
12 Whashington, v. 38, n. 1, p. 171-187, 2012.
- 13 PANDEY, R. P.; PANDEY, A. Storage losses of onion bulbs. *Madras Agricultural Journal*, Coimbatore, v.
14 81, p. 603-605, 1994.
- 15 PÔRTO, D. R. Q.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MAY, A.; VARGAS, P. F. Acúmulo de macronutrientes pela
16 cultivar de cebola “Superex” estabelecida por semeadura direta. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 37, p. 949-955,
17 2007.
- 18 PRADHAN, R.; PATTNAIK, A. K.; TRIPATHY, P.; MALLIKARJUNARAO, K.; SAHOO, B. B.; LENKA,
19 J. Influence of sulphur fertilization on nutrient uptake of onion (*Allium cepa* L.). *Journal of Crop and Weed*,
20 West Bengal, v. 11, p. 134-138, 2015.
- 21 R DEVELOPMENT CORE TEAM - RDCT. R: *A language and environment statistical computing*. Vienna:
22 R Foundation for Statistical Computing, 2015.
- 23 RANDLE, W. M. Onion flavor chemistry and factors influencing flavor intensity. *ACS symposium series*,
24 Washington, v. 660, p. 41-42, 1997.
- 25 RANDLE, W. M.; LANCASTER, J. E.; SHAW, M. L.; SUTTON, K. H.; HAY, R. L.; BUSSARD, M. L.
26 Quantifying onion flavor compounds responding to sulfur fertility: sulfur increases levels of alk(en)yl cysteine
27 sulfoxides and biosynthetic intermediates. *Journal of the American Society for Horticultural Science*,
28 Alexandria, v. 120, p. 1075–1081, 1995.
- 29 RESENDE, G. M.; COSTA, N. D. Dose econômica de nitrogênio na produtividade e armazenamento de
30 cultivares de cebola. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 3, p. 357-362, 2014.
- 31 RESENDE, G. M.; COSTA, N. D.; YURI, J. E. Doses de nitrogênio na produtividade e classificação de bulbos
32 de cultivares de cebola. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, v.10, n. 3, p. 605-613, 2016.
- 33 RISTIMÄKI, L. M.; PAPADOPOULOS, I. Slow-release fertilizers on vegetables. *Acta Horticulturae*, The
34 Hague, v. 511, p.125-131, 2000.
- 35 SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.;
36 COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. *Sistema brasileiro de*
37 *classificação de solos*. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- 38 SANTOS, R. F. A. E.; ARAÚJO, M. T. Conservação pós-colheita da cebola "São Paulo". *Horticultura*

- 1 *Brasileira*, Brasília, v. 11, n. 1, p. 41-42, 1993.
- 2 SCHUNEMANN, A. P.; TREPTOW, R.; LEITE, D. L.; VENDRUSCOLO, J. L. Pungência e características
3 químicas em bulbos de genótipos de cebola (*Allium cepa* L.) cultivados no Alto Vale do Itajaí, SC,
4 Brasil. *Revista Brasileira Agrociência*, Pelotas, v. 12, p. 77-80, 2006.
- 5 SCHWIMMER, S.; WESTON, W. J. Enzymatic development of pyruvic acid in onion as measure of
6 pungency. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Easton, v. 9, p. 301-304, 1961.
- 7 SINGH, J.; DHANKAR, B. S. Effect of pre-harvest chemical treatment on the storage loss of onion. *Advances*
8 *in Horticulture and Forestry*, Jodhpur, v. 4, p. 119-126, 1995.
- 9 SLIMESTAD R.; FOSSEN, T.; VÅGEN, I. M. Onions: a source of unique dietary flavonoids. *Journal of*
10 *Agricultural and Food Chemistry*, Easton, v. 55, p. 10067-10080, 2007.
- 11 SOUZA, J. O.; GRANGEIRO, L. C.; SANTOS, G. M. COSTA, N. D. SANTOS, C. A. F.; NUNES, G. H. de
12 S. Avaliação de genótipos de cebola no semi-árido Nordeste. *Horticultura Brasileira*, v. 26, n. 1, p. 97-101.
13 2008.
- 14 TRANI, P. E.; BREDA JÚNIOR, J. M.; FACTOR, T. L. *Calagem e adubação da cebola (Allium cepa L.)*.
15 Campinas: Instituto Agronômico, 2014. 35 p.
- 16 YOO, K. S.; PIKE, L.; CROSBY, K.; JONES, R.; LESKOVAR, D. Differences in onion pungency due to
17 cultivar, growth environment, and bulb sizes. *Science Horticulturae*. Amsterdam, v. 110, p. 144-149, 2006.

18

19 Tabela 1: Valores do quadrado médio da análise de variância para atributos sólidos solúveis (SS), acidez
20 titulável (AT), relação sólidos solúveis e acidez titulável total (SS/ATT), pungência, massa fresca do bulbo
21 (MFB), massa seca do bulbo (MSB), perda de matéria fresca do bulbo aos 10 dias após a colheita (PMFB10),
22 aos 55 dias após a colheita (PMFB 55), e aos 110 dias após a colheita (PMFB 110) de acordo com as doses de
23 N e S aplicadas em plantas de cebola. UFLA, Lavras 2016.

Atributos	Fontes de Variação				
	N (4) ¹	S (2) ¹	N*S (8) ¹	Resíduo (45) ¹	CV (%)
SS	3,2854 ^{ns}	29,40 **	5,1760 *	2,2220	12,47
AT	1,2675 **	7,200 **	0,543 **	0,0735	13,74
SS/AT	7,4010 **	186,7 **	4,4400 *	1,2410	16,21
Pungência	0,1287 ^{ns}	6,544 **	0,2134 *	0,0846	3,02
MFB	131,15 **	69,52 **	105,2 **	3,3880	14,12
MSB	20,999 **	11,11 **	16,83 **	0,5429	14,13
PMFB 10	3386,4 **	331,8 **	78,10 **	26,50	13,12
PMFB 55	2988,6 **	353,9 **	77,03 **	24,17	10,74
PMFB 110	2632,5 **	383,3 **	93,40 **	23,44	9,26

24 ¹ Grau de liberdade. ^{ns}, *, **: não significante e significante a 5% e a 1% de probabilidade pelo teste F.

25

26

27

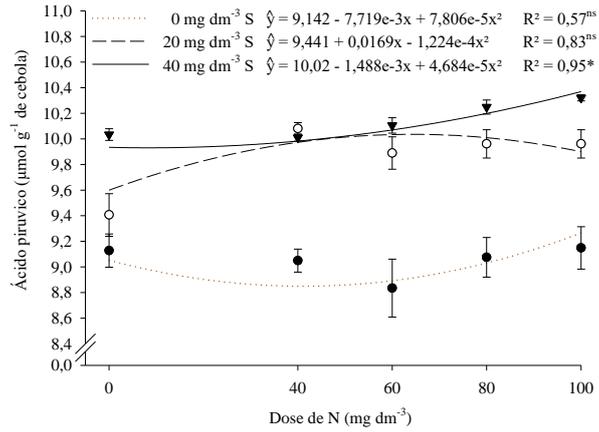
28

29

30

31

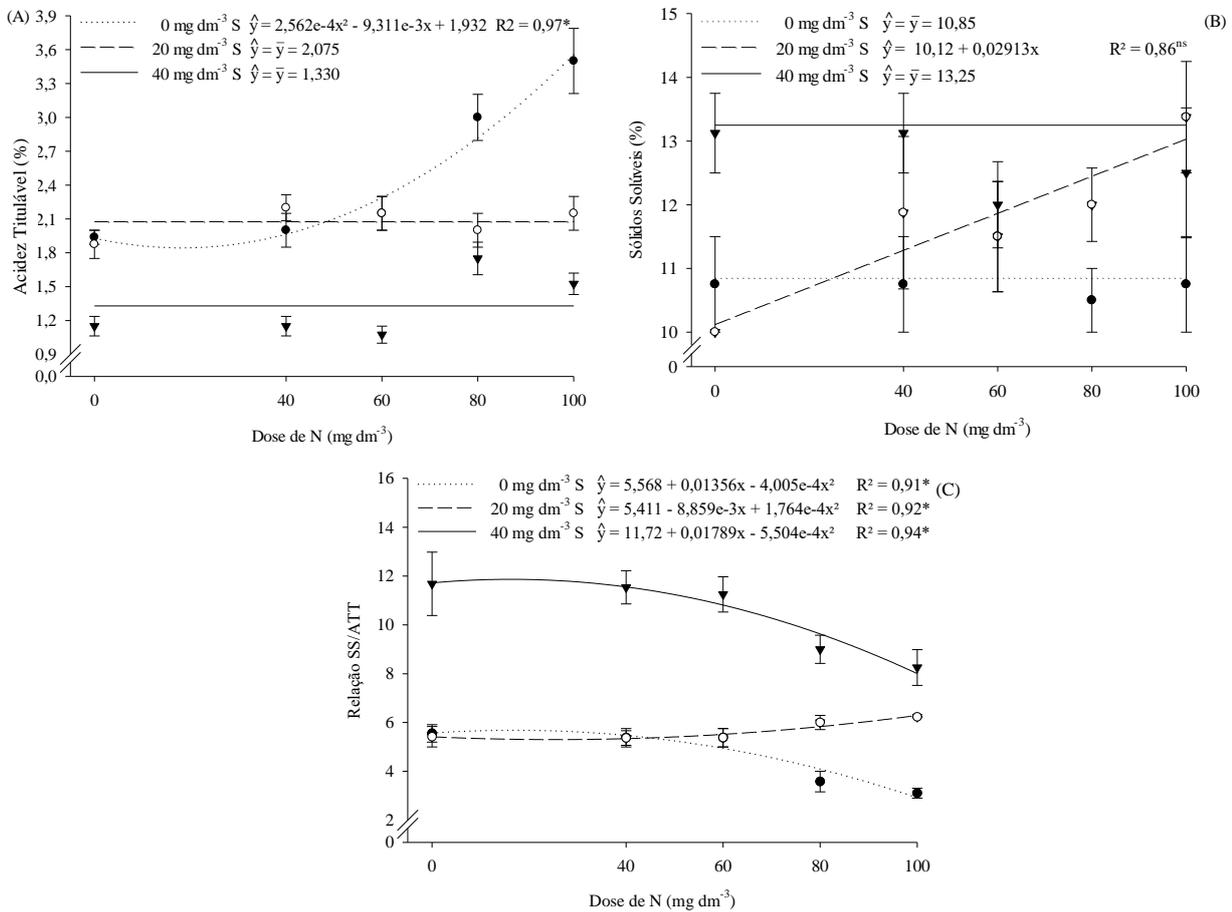
1 Figura 1. Pungência em resposta as diferentes doses de N e S aplicadas em plantas de cebola.



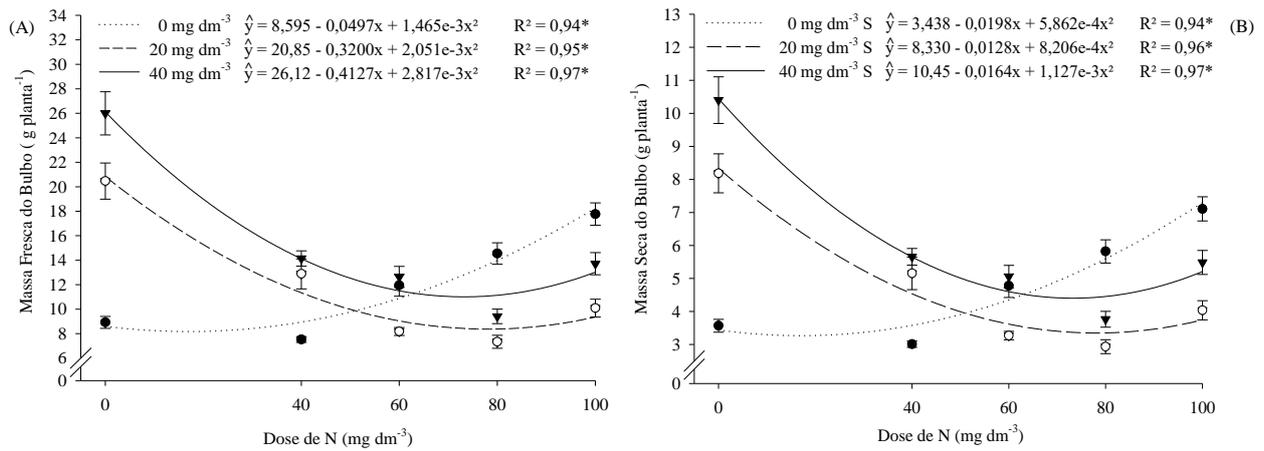
2

3

4 Figura 2. Acidez titulável (AT) (A), Sólidos Solúveis (SS) (B) e Relação Sólidos Solúveis / Acidez Titulável (SS/AT) (C) em resposta as diferentes doses de N e S aplicadas em plantas de cebola.

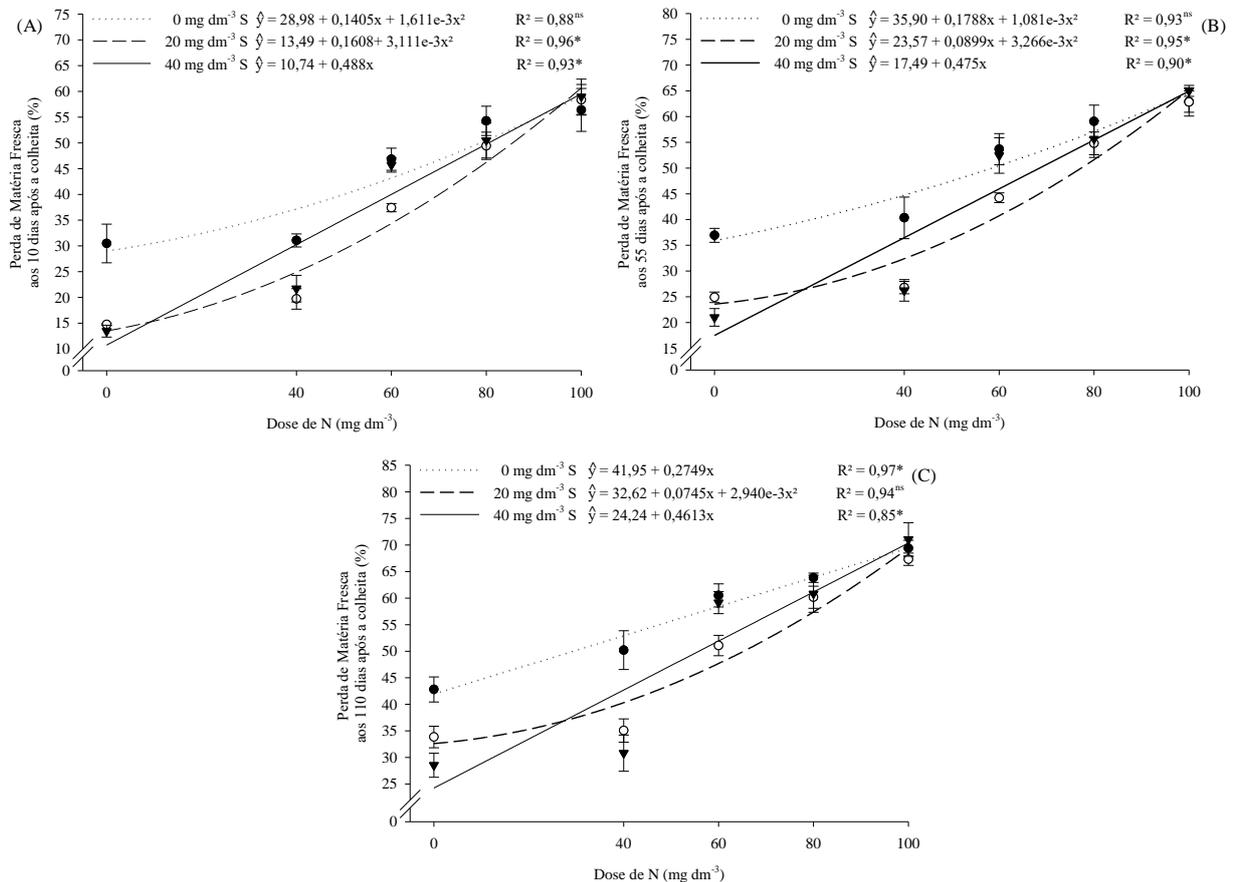


1 Figura 3. Massa Fresca do Bulbo (MFB) (A) e Massa Seca do Bulbo (MSB) (B) em resposta as diferentes
 2 doses de N e S aplicadas em plantas de cebola.



3
 4

5 Figura 4. Perda matéria fresca do bulbo aos 10 (PMFB 10) (A), 55 (PMFB 55) (B) e 110 (PMFB 110) (C)
 6 dias após colheita, em resposta as diferentes doses de N e S aplicadas em plantas de cebola.



7

8

9

10

11 ARTIGO 2 NITROGÊNIO E ENXOFRE NO CRESCIMENTO DA CEBOLA

12

13 Patriciani Estela Cipriano¹, Maria Ligia de Souza Silva¹, Anderson Ricardo Trevizam¹, Luiz Roberto
14 Guimarães Guilherme¹, José Albertino Bendassolli²

15

16 ¹ Universidade Federal de Lavras – UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail:
17 patriciani_estela@hotmail.com, marialigia.silva@dcs.ufla.br, aanrt@hotmail.com,
18 guilherm@dcs.ufla.br

19 ² Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP, Avenida Centenário, 303 - São Dimas,
20 CEP: 13416-000 - Piracicaba (SP). jab@cena.usp.br

21

22 Artigo redigido de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo

23

24 RESUMO

25 O uso de fertilizantes é de grande importância para aumentar a produção e a qualidade da cebola,
26 porém existem poucos estudos sobre a influência da interação entre nitrogênio (N) e enxofre (S) na
27 cultura da cebola. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o efeito de doses combinadas de N e S e sua
28 interação no crescimento da cebola (*Allium cepa* L.). O experimento foi realizado em casa de
29 vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 5, com três doses de
30 S (0, 20, 40 mg dm⁻³) e cinco doses de N (0, 40, 60, 80, 100 mg dm⁻³) com quatro repetições, utilizando
31 a técnica do elemento marcado (¹⁵N). Foram avaliados: massa seca parte aérea (MSPA), massa seca
32 total (MST), teor e acúmulo de N e S, relação N/S, N na planta proveniente de fertilizante (%NPPF),
33 quantidade de N na planta proveniente de fertilizante (QNPPF), e aproveitamento pela planta do N
34 do fertilizante (%APF). A aplicação de S aumenta a produção de MSPA independente da dose de N
35 aplicada, no entanto, o aumento na MST ocorre sem a aplicação de S e acompanha o incremento nas
36 doses de N. Também há maior acúmulo tanto de N quanto de S na parte aérea com o aumento nas
37 doses de N. Já a relação N/S com os melhores resultados foi de 24/1. Na dose de 100 mg dm⁻³ de N
38 as variáveis QNPPF e APF não sofrem influência da aplicação de S. Nas doses 40 e 100 mg dm⁻³ de
39 N, o maior APF ocorre com a aplicação de 40 mg dm⁻³ de S. O maior aproveitamento do N
40 proveniente do fertilizante pela cebola foi obtido com as doses de 40 mg dm⁻³ tanto para N quanto
41 para S, com 56,4% nas condições em que foram realizadas esse experimento. Houve interação
42 positiva entre N e S, com os melhores resultados ocorrendo na combinação entre as maiores doses de
43 N e S estudadas, 100 mg dm⁻³ e 40 mg dm⁻³, respectivamente.

44 **Palavra-chave:** *Allium cepa* L.; isótopos; relação N/S; sinergismo.

45 NITROGEN AND SULFUR IN ONION GROWTH

46

47 ABSTRACT

48 The use of fertilizers is of great importance to increase production and quality of the onion, but there
49 are few studies on the influence of the interaction between nitrogen (N) and sulfur (S) on the onion
50 crop. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of doses for a combination
51 of N and S and their interaction in the culture of onion (*Allium cepa* L.). The experiment was
52 conducted in a greenhouse, in a completely randomized factorial 3 x 5, with three doses of S (0, 20,
53 40 mg dm⁻³) and five doses of N (0, 40, 60, 80, 100 mg dm⁻³) with four replications, using the
54 technique of the marked element (¹⁵N). Were evaluated: dry mass aerial part (DMAP), total dry mass
55 (TDM), content and accumulation of N and S, N/S, N in the plant from fertilizer (%Ndff), amount of
56 N in the plant from fertilizer (Adff), and use by the plant of N from fertilizer (%UNff). The application
57 of S increases the production of DMAP independent of the dose of N applied, however, the increase
58 in TDM occurs without the application of S and accompanies the increase in doses of N. There is also
59 greater accumulation of both N and S in the aerial part with the increase in the doses of N. The N/S
60 ratio with the best results was 24/1. At the dose of 100 mg dm⁻³ of N the variables Adff and UNff are
61 not influenced by the application of S. At doses 40 and 100 mg dm⁻³ of N, the highest UNff occurs
62 with the application of 40 mg dm⁻³ of S. Higher N fertilizer utilization by onion was obtained with
63 the doses of 40 mg dm⁻³ for both N and S, with 56.4% under the conditions in which this experiment
64 was performed. There was a positive interaction between N and S, with the best results occurring in
65 the combination between the highest doses of N and S studied, 100 mg dm⁻³ and 40 mg dm⁻³,
66 respectively.

67 **Key word:** *Allium cepa* L.; Isotopes; N/S ratio; Synergism.

68

69 INTRODUÇÃO

70 O N participa de processos fisiológicos vitais da planta, tais como a absorção de íons,
71 respiração, fotossíntese, sínteses bioquímicas e crescimento vegetativo (Trani et al., 2014)
72 influenciando na altura e número de folhas, comprimento e diâmetro do bulbo, área foliar, taxa de
73 crescimento e massa seca (El-Tantawy e El-Beik, 2009). Porém, quando em excesso, pode ser
74 limitante para a produtividade e aumentar as perdas no armazenamento (Souza e Resende, 2002)
75 devido a sua interferência na qualidade dos bulbos (Rodrigues et al., 2015).

76 O N que não é absorvido pelas plantas pode ser perdido por lixiviação, volatilização e
77 desnitrificação (Ruijter et al., 2010) ou tornam-se indisponível devido à imobilização temporária ou
78 incorporação na matéria orgânica do solo (Amado et al., 2002).

79 Em pesquisas com N é difícil determinar a origem desse nutriente devido a sua dinâmica no
80 sistema solo-planta (Scivittaro et al., 2000). A metodologia que utiliza o isótopo, no caso o ^{15}N é
81 considerada como forma direta de quantificar a absorção de N proveniente do fertilizante aplicado e
82 também a forma mais precisa de verificar o destino do N no sistema de solo-planta. Por meio deste
83 método, o isótopo traçador enriquecido pode ser pré-determinado garantindo a identificação de
84 diferenças significativas em % ^{15}N (Sturm et al., 2010). Dessa forma, a utilização de metodologias
85 que usam fonte marcada com ^{15}N , possuem boa precisão para determinar a eficiência de utilização e
86 a fonte deste nutriente (Muraoka et al., 2002). Sendo o método isotópico, a única maneira direta de
87 quantificação da absorção de N a partir da aplicação de fertilizantes (Sturm et al., 2010).

88 Entre N e S pode ocorrer interação sinérgica, a qual atua diretamente na qualidade dos
89 produtos colhidos (Malavolta; Moraes, 2007). Neste contexto, observa-se que a síntese de cisteína
90 conecta as três principais vias de metabolismo primário: fixação de carbono, absorção de nitrato e de
91 sulfato. Para a síntese de proteínas são necessários N e S onde cada um é essencial para fazer vários
92 tipos de outras micro e/ou macromoléculas, como por exemplo, enzimas, coenzimas e aminoácido
93 (Long et al., 2015).

94 A atuação do S na síntese de proteínas, é essencial para síntese dos aminoácidos cisteína,
95 cistina e metionina. O S promove aumento na produção e melhora a qualidade dos bulbos, tendo
96 efeito significativo na pungência (Jiang et al., 2007), que é a principal característica da cebola
97 (Schunemann et al., 2006).

98 Mesmo sendo elemento essencial às plantas, o S por muito tempo recebeu pouca atenção
99 devido ao fato de fertilizantes e o S atmosférico fornecerem quantidades adequadas deste elemento
100 (Jamal et al., 2010). Áreas deficientes em S têm ocorrido em vários países (Scherer, 2009), inclusive
101 no Brasil (Pereira et al., 2016) sendo relatado como as principais causas a redução da emissão de
102 dióxido de S na atmosfera (Lehmann et al., 2008), o uso de fertilizantes com pouco ou nenhum S, o
103 aumento da remoção S de solos sob sistemas de cultivo intensivo, variedades de alto rendimento e
104 diminuição no uso de fungicidas que contém S (Jamal et al., 2010).

105 A deficiência severa de S durante o desenvolvimento do bulbo promove efeito negativo sobre
106 a produtividade e a qualidade de cebola (Nasreen et al., 2007). Assim, diante do exposto, objetivou-
107 se avaliar o efeito de doses combinadas de N e S e sua interação para a cultura da cebola, usando a
108 técnica do elemento marcado.

109

110 MATERIAL E MÉTODOS

111 Este experimento foi conduzido de março a outubro de 2015, em casa de vegetação no
112 Departamento de Ciência do Solo pertencente à Universidade Federal de Lavras (UFLA) (21° 14' 43"

113 S; 44° 59' 59" W, Altitude de 919 m), no município de Lavras (MG).

114 Foram utilizados 4 dm³ por vaso de Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico (Santos et
115 al., 2013), coletado na profundidade 0 a 20 cm em área com cobertura vegetal de mata nativa do
116 Bioma de Cerrado, no município de Itumirim - MG. O solo de textura média, apresentou
117 granulometria de 660, 20 e 320 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, com análise física e
118 química realizada conforme Donagema et al. (2011) e os resultados demonstrados na Tabela 1.

119 O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x
120 5, com quatro repetições, totalizando 60 parcelas experimentais, sendo os tratamentos constituídos
121 por três doses de S (0, 20 e 40 mg dm⁻³) e cinco doses de N (0, 40, 60, 80 e 100 mg dm⁻³), aplicados
122 na forma de sulfato de cálcio e ureia marcada com 3% de ¹⁵N, respectivamente.

123 Com base na análise química do solo, foi efetuada à calagem para elevar a saturação por bases
124 a 80% (Trani et al., 2014) com a incorporação de 2,25 mg dm⁻³ carbonato de cálcio p. a. e 0,75 mg
125 dm⁻³ carbonato de magnésio p. a.. Em seguida, as amostras de solo foram homogeneizadas e
126 incubadas por 30 dias com umidade próxima a 60% do volume total de poros (VTP). Após esse período
127 de incubação foi realizado a adubação de base, com 150 mg dm⁻³ de P (superfosfato triplo), 30 mg
128 dm⁻³ de K (cloreto de potássio), e a aplicação de S conforme os tratamentos e em dose única. Já o
129 isótopo ¹⁵N foi aplicado utilizando a ureia marcada, enriquecida com 3% de átomos de ¹⁵N em
130 excesso. A aplicação do ¹⁵N foi realizada na forma de solução nutritiva, e parcelada em 4 aplicações,
131 sendo a primeira no plantio e as demais aplicadas a cada 20 dias.

132 Em seguida, cada vaso recebeu uma muda de cebola (*Allium cepa* L.) do cultivar híbrida
133 Diamantina. Esse Híbrido apresenta como características bulbos grandes, precoce, coloração amarelo
134 escuro, tipo texas grano e forma de globo, variedade de dias curtos. As mudas foram preparadas em
135 bandejas de poliestireno expandido com 128 células preenchidas com substrato comercial, colocando
136 uma semente por célula, sendo transplantadas com 40 dias após a semeadura. Durante o período de
137 cultivo foram realizadas duas adubações de cobertura com 30 mg dm⁻³ de K. Não foi necessário
138 controle fitossanitário e a umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo repondo o
139 volume de água sempre que necessário.

140 Após 130 dias do transplantio, realizou-se a colheita. Durante a colheita foram separados os
141 bulbos da parte aérea e o material vegetal obtido foi seco em estufa à 65 °C até atingir peso constante.
142 Após obtenção da matéria seca, as amostras foram mensuradas e posteriormente moídas em moinho
143 tipo willey com peneira de 20 mesh e acondicionadas em sacos de papel, para posterior determinação
144 dos teores de macronutrientes. As análises químicas para a determinação de N e S na parte aérea
145 foram realizadas conforme Silva (2009). Com os dados obtidos, estimou-se a relação
146 nitrogênio/enxofre (N/S) e o acúmulo foi calculado em função da massa seca da parte aérea.

147 As análises isotópicas foram determinadas em espectrômetro de massa (IRMS), conforme
148 metodologia descrita em Barrie e Prosser (1996). A determinação da eficiência de utilização do N
149 pela cebola baseou-se no princípio da diluição isotópica, utilizando-se os seguintes cálculos:

150 a) Porcentagem de N na planta proveniente do fertilizante (%NPPF)

$$151 \quad \%NPPF = \frac{\text{Abundância de } ^{15}\text{N} - 0,366\%}{0,366\%} \times 100$$

152 b) Quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNPPF, mg planta⁻¹).

$$153 \quad QNPPF = \frac{\%NPPF \times NA}{100}$$

154 c) Porcentagem de aproveitamento pela planta de N do fertilizante (%APF)

$$155 \quad \%APF = \frac{QNPPF}{QNA} \times 100$$

156 Onde, NA = N acumulado, QNA = quantidade de N aplicado (mg vaso⁻¹).

157 Os dados obtidos foram submetidos à análises de variância, ao teste de pelo intervalo de
158 confiança, ao nível de 5% de significância para as variáveis qualitativas e regressão polinomial para
159 as quantitativas com o uso do software estatístico R versão 3.2.3 (RDCT, 2015). Quando não houve
160 interação significativa as médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott à 5%.

161

162 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

163 As variáveis em estudo apresentaram interação significativa quanto às doses de N e S, com
164 exceção da relação N/S e a %NPPF (Tabela 2). Porém quando analisados os efeitos isolados de N e
165 S para relação N/S e a %NPPF, obteve-se diferença significativa entre as doses de N e S.

166 Para a MSPA (Figura 1A), o aumento das doses de N proporcionou aumento linear sem a
167 aplicação de S e comportamento quadrático nas doses de 20 e 40 mg dm⁻³ de S. Houve aumento na
168 produção de massa seca ao se comparar as doses de S aplicadas, sendo que a maior produção de massa
169 seca ocorreu na dose de 100 mg dm⁻³ de N e 40 mg dm⁻³ de S, promovendo o aumento de 23% e 5%,
170 em relação as doses de 0 e 20 mg dm⁻³ de S, respectivamente. Cecílio Filho et al. (2009) ao avaliarem
171 doses crescentes de N observaram que estas promoveram respostas diferentes quanto ao acúmulo de
172 MSPA ao longo do ciclo, porém não observaram diferenças no acúmulo de MSPA ao final do ciclo.
173 Pode-se inferir que a maior MSPA observada foi decorrente da ação do N, promovendo a expansão
174 da área fotossinteticamente ativa, ou seja, maior crescimento das plantas.

175 A massa seca total (MST) (Figura 1B) apresentou comportamento quadrático para as doses S
176 aplicadas. O maior incremento ocorreu quando aplicado 40 mg dm⁻³ de S e sem aplicação de N, com
177 12,4 g planta⁻¹. A combinação de 40 mg dm⁻³ de S e sem aplicação de N proporcionou o aumento de

178 29% na MST em relação a combinação de 0 mg dm⁻³ de S com 100 mg dm⁻³ de N e de 21% em
179 relação a combinação de 20 mg dm⁻³ de S com 0 mg dm⁻³ de N. Pôrto et al. (2007) encontraram
180 acúmulo máximo de 21,77 g planta⁻¹ de MST com o híbrido “Superex” e Pôrto et al. (2006)
181 encontraram o acúmulo de 18,64 mg planta⁻¹ de MST com a cebola “Optima”, ao avaliarem o acúmulo
182 de macronutrientes em sistema de semeadura direta. A aplicação de S promoveu maior MST quando
183 aplicadas baixas doses de N, porém observa-se efeito inverso quando aplicadas altas doses de N, pois
184 há redução na MST. De acordo com Resende e Costa (2014) a cebola responde positivamente a
185 aplicação de N. No entanto, observa-se que neste trabalho houve decréscimo na MST com a aplicação
186 de N, porém pode-se inferir que a partir da dose de 80 mg dm⁻³ de N haveria aumento na MST com
187 incrementos nas doses de N aplicadas. Supõem-se que a presença de S permitiu melhor absorção do
188 N proveniente da matéria orgânica, obtendo assim as maiores MST sem a aplicação de N. Pode-se
189 inferir que a redução na massa seca com os incrementos nas doses de N aplicadas se deve à falta de
190 enzimas, como a redutase do nitrato, para promover as reduções necessárias para a assimilação de N
191 pela planta.

192 Resultados semelhantes foram encontrados por Pôrto et al. (2007) com produção de 20% para
193 a parte aérea (folhas) e 80% para o bulbo. Já Vidigal et al. (2002) obtiveram produção MSPA de 36%
194 e do bulbo de 64%. Pôrto et al. (2006) obtiveram contribuição de 30 e 70% da parte aérea e do bulbo,
195 respectivamente, na MST. Esses resultados demonstram que a maior produção de massa seca ocorre
196 no bulbo. Devido ao fato do bulbo ser um órgão de reserva, durante seu crescimento demandam
197 grande quantidade por fotoassimilados e outros compostos. Para atender essa demanda, ocorre a
198 translocação desses produtos das folhas para os bulbos, ocasionando redução da MSPA e aumento na
199 MSB (Brewster, 1994). Essa translocação faz com que o bulbo se desenvolva e que ocorra o maior
200 acúmulo de massa seca no bulbo, quando considerado proporcionalmente em relação a MST.

201 O teor de N (Figura 2A) apresentou comportamento linear, aumentando em função do
202 incremento na dose de N. Quando aplicado S sem aplicação de N as plantas apresentaram baixo teor
203 de N, porém, ao aplicar N no solo os teores de N na parte aérea da planta aumentaram em função das
204 doses de N aplicadas. No entanto, o maior incremento ocorreu quando aplicado 100 mg dm⁻³ de N e
205 20 mg dm⁻³ de S, com 31,46 g kg⁻¹. Para as doses de 0 e 40 mg dm⁻³, obteve-se teores máximos de
206 27,55 e 27,95 g kg⁻¹, respectivamente. Os resultados obtidos se devem ao maior aproveitamento do
207 N pela cultura devido a aplicação de doses de N parceladas ao longo do crescimento da cultura. Esses
208 valores estão próximos aos encontrados por Kurtz et al. (2012), que obtiveram a concentração
209 máxima de 40, 35 e 32 g kg⁻¹ de N, obtidos pela adição de 237, 136 e 150 kg ha⁻¹ de N,
210 respectivamente.

211 As doses de S estudadas nesse trabalho não diferiram significativamente entre si para a variável

212 teor de N na parte aérea das plantas de cebolas. Neste estudo, os teores de N mostraram que quando
213 aplicado 100 mg dm⁻³ de N, independente da dose de S mostram-se adequados, posto que estão entre
214 19 e 40 g kg⁻¹ e essa faixa de variação é considerada adequada para a cultura da cebola conforme
215 trabalhos de Caldwell et al., (1994).

216 Já o teor de S na parte aérea (Figura 2B), quando não aplicado S apresentou valor médio de
217 0,92 g kg⁻¹ em função das doses de N aplicadas. Quando aplicado 20 mg dm⁻³ de S observou-se
218 comportamento linear, aumentando em função das doses de N aplicadas, com 1,33 g kg⁻¹ de S na dose
219 de 100 mg dm⁻³ de N. No entanto, a dose de 40 mg dm⁻³ de S apresentou comportamento quadrático
220 com o maior incremento ocorrendo na dose de 52 mg dm⁻³ de N, com o teor de 1,32 g kg⁻¹ de S. As
221 doses de 20 e 40 mg dm⁻³ proporcionaram incremento de 31 e 30% em relação à não aplicação de S,
222 o que demonstra a resposta positiva da cultura em relação a aplicação desse elemento. A aplicação de
223 40 mg dm⁻³ de S proporcionou aumento no teor de S com a aplicação de N em conjunto até a dose de
224 52 mg dm⁻³ de N, a partir da qual não houve aumento no teor de S encontrados na planta.

225 Huett et al. (1997) e Mills e Jones Jr (1996) consideram a faixa de 5 a 10 g kg⁻¹ de S como
226 adequadas para a cebola. Neste trabalho obteve-se valores semelhantes obtidos por Paula et al. 2012,
227 que foi de 2,5 a 4,4 g kg⁻¹ de S, com essa variação na dose de S de 0 a 200 kg ha⁻¹. Pode-se inferir
228 que a os teores de S obtidos nesse trabalho se apresentam inferiores devido as diferenças entre as
229 doses de fertilizantes aplicados, condições de cultivo, cultivar, e solo em que foram realizados cada
230 um dos experimentos. É desejável altos teores de S nas plantas devido ao fato deste nutriente ser
231 constituinte de alguns aminoácidos, e também precursor de compostos sulfurados voláteis
232 responsáveis pelo aroma da cebola (Trani et al., 2014).

233 O acúmulo de N (Figura 3A) teve comportamento quadrático para as três doses de S. Na
234 ausência de adubação nitrogenada o maior acúmulo ocorreu quando aplicado 40 mg dm⁻³ de S com
235 197,14 mg planta⁻¹. No entanto, o maior incremento ocorreu na maior dose de N aplicada e sem
236 aplicação de S com 240,25 mg planta⁻¹ promovendo incremento de 11,4% em relação a dose de 40
237 mg dm⁻³ S, e de 20,9% em relação a dose de 20 mg dm⁻³ S.

238 Com o incremento nas doses de N observa-se o aumento no acúmulo de N, demonstrando que
239 a cultura responde a aplicação desse nutriente positivamente, já que esse elemento é o segundo mais
240 acumulado pela cebola (Pôrto et al. 2007). A aplicação de S também proporcionou maior acúmulo de
241 N, quando aplicadas baixas doses de N, indicando efeito da interação positiva entre esses elementos.
242 Isso pode ser explicado pelo fato de que a assimilação desses elementos ocorre durante a formação
243 da cisteína quando o sulfeto é introduzido na O-acetilserina com a ação da enzima OAS-tiol-liase
244 (Crawford et al., 2000).

245 O S acumulado (Figura 3B), quando não aplicado este nutriente ao solo, apresentou aumento

246 linear em função das doses de N, demonstrando que o N pode ter promovido maior aproveitamento
247 do S presente no solo, indicando efeito sinérgico no processo de absorção destes elementos pela
248 planta. O N pode aumentar a absorção de S pelas plantas (Dhankar et al., 1995) devido à função do
249 N e S na síntese proteica, o suprimento desses nutrientes em plantas está interligado (Jamal et al.,
250 2010). A limitação de S pode levar à redução da atividade da enzima redutase do nitrato o que implica
251 no aumento na concentração de NO_3^- nas plantas (Silva; Trevizam, 2015).

252 Pôrto et al. (2006) obtiveram resultados superiores com o S acumulado de $78,36 \text{ mg planta}^{-1}$
253 e também Pôrto et al. (2007) obtiveram $73,47 \text{ mg planta}^{-1}$ em relação a planta inteira quando
254 estudaram o acúmulo do macronutrientes. O maior acúmulo de S ocorre no bulbo, sendo observado
255 por alguns autores a ocorrência de 82% (Nasreen et al., 2003), 70% (Pôrto et al., 2006), e 81% (Pôrto
256 et al., 2007) de acúmulo de S no bulbo e na parte aérea de (Nasreen et al., 2003), 30% (Pôrto et al.,
257 2006) e 12% 19% (Pôrto et al., 2007). No entanto, essas porcentagens podem variar em função da
258 cultivar e das condições climáticas do local de cultivo.

259 Na relação N/S na parte aérea (Figura 4) avaliando os efeitos isolados do N e S, observa-se
260 que o tratamento em que não houve aplicação de S apresentou diferença significativa em relação as
261 doses de S aplicadas, apresentando a maior relação N/S. No entanto, quando observando as duas
262 doses de S aplicadas, estas não apresentaram diferenças significativas quando comparadas.

263 Entretanto, todas as doses de N aplicadas diferiram significativamente entre si, com a maior
264 relação N/S ocorrendo na maior dose aplicada. Com a aplicação de S, houve incremento no teor deste
265 elemento na parte aérea proporcionando queda na relação N/S que passou de 26/1 para 19,2/1 e 18,6/1
266 com a aplicação de 20 e 40 mg dm^{-3} de S, respectivamente. Devido ao incremento nas doses de N,
267 houve aumento na relação N/S, que passou de 16,5/1 sem a aplicação de N para 26,2/1 na maior dose
268 aplicada.

269 De acordo com os valores apresentados por Huett et al. (1997) a relação N/S variaria entre 2
270 a 11/1 em folhas de cebola. Sendo que Magalhães (1993) indica 6,8/1 como ideal. Em trabalho
271 realizado por Paula et al. (2002), encontraram relação N/S de 5,55 a 6,00/1 em folhas de cebolas
272 cultivar Baía Periforme. Rein e Sousa (2004) afirmam que a proporção média é de 10/1 de N/S para
273 os vegetais, porém essa proporção pode variar em função das espécies, inclusive entre as partes de
274 uma mesma planta. Neste trabalho houve a variação média de 16,5/1 a 26,2/1 na relação N/S, valores
275 com o valor mínimo encontrado próximo ao estabelecido para proteínas, onde para cada 15 partes de
276 N na proteína há uma parte de S, que implica que a relação de N/S de 15/1 (Cram, 1990). Altas doses
277 de S podem ocasionar redução da relação N/S, porém o equilíbrio de disponibilidade de N e S poderá
278 favorecer uma melhor relação N/S (Jamal et al. 2010).

279 Avaliando efeito das doses de S na %NPPF (Figura 5A) observa-se que a aplicação de 40 mg

280 dm^{-3} diferiu significativamente, apresentando o maior valor encontrado, de 65%. Avaliando o efeito
281 das doses de N (Figura 5B), a dose 100 mg dm^{-3} , diferiu das demais, com 90,7% do N na planta sendo
282 proveniente de fertilizante. O uso de fertilizantes marcados com ^{15}N demonstrou diferenças na
283 absorção de N pelas plantas. A quantidade de N derivada do fertilizante foi maior que a quantidade
284 de N derivada do solo. Neste trabalho, a maior porcentagem de N encontrada na planta proveniente
285 do fertilizante, com cerca de 53,5 a 90,7%, pode-se afirmar que o restante do N na planta é oriundo
286 do solo. Essa variação provavelmente se deve à disponibilidade diferenciada de N do solo e do
287 fertilizante ao longo do ciclo da cultura devido as diferentes doses de N aplicadas em função dos
288 tratamentos e em função das perdas de N (volatilização, imobilização) que podem ter ocorrido durante
289 a condução do experimento.

290 Quando avaliado a QNPPF (Figura 6A), observa-se que sem a aplicação de S houve
291 comportamento linear e com a aplicação das doses de 20 e 40 mg dm^{-3} de S observa-se
292 comportamento quadrático. Com o maior incremento ocorrendo na dose de 100 mg dm^{-3} de N,
293 independente da aplicação ou não de S. Do qual a maior dose de N aplicada promoveu incremento de
294 77,8, 63,1 e 56% em relação a menor dose aplicada de N, combinadas com 0, 20 e 40 mg dm^{-3} de S,
295 respectivamente. Esses resultados demonstram que há aumento no QNPPF em função dos
296 incrementos nas doses de N, no entanto não há diferenças entre a aplicação de alta dose de S com a
297 não aplicação de S, nesse parâmetro avaliado. A aplicação da maior dose de N permitiu o maior
298 acúmulo de N e também a maior QNPPF, o que permite inferir que não houve interferência dos
299 processos de lixiviação, desnitrificação e volatilização, possibilitando maior absorção de N pelas
300 plantas de cebola.

301 Sendo assim, é importante a aplicação de quantidade adequada de fertilizante nitrogenado para
302 promover melhor aproveitamento desse tipo de fertilizante (Zheng et al., 2007). Uma vez que o N é
303 um elemento essencial para o crescimento das plantas e com o intuito de produzir em maior
304 quantidade, os agricultores aplicam quantidades altas de fertilizantes nitrogenados (Sturm et al. 2010)
305 o que pode resultar em prejuízos ao produtor e ao ambiente.

306 O aproveitamento de N na planta do fertilizante (%APF) (figura 6B), quando não aplicado o
307 S foi maior na dose de $95,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de N com aproveitamento de 50,1%. Já na dose de 20 mg dm^{-3} ,
308 houve aproveitamento de 43,7% quando aplicado a maior dose de N. Porém, na dose de 40 mg dm^{-3}
309 o melhor aproveitamento ocorreu quando combinado com a dose de 40 mg dm^{-3} de N, com 56,4%,
310 que de acordo com Cantarella (2007) excede a eficiência média da adubação nitrogenada, que
311 geralmente está em torno de 50%. O N que não foi absorvido pela planta pode ter sido perdido por
312 lixiviação, volatilização e desnitrificação (Ruijter et al., 2010) ou indisponibilizado devido à
313 imobilização temporária pelos microorganismos do solo (Amado et al., 2002). Assim, pode-se inferir

314 que a aplicação de S promoveu melhor aproveitamento do N quando aplicado baixa dose de N. A
315 eficiência do uso de fertilizantes merece atenção visto que os agricultores necessitam atingir a
316 produção máxima das culturas e evitar a poluição das águas com nutrientes de plantas (Bijay-Singh
317 et al., 1995).

318

319 **CONCLUSÃO**

320 Houve interação positiva entre N e S, com os melhores resultados ocorrendo na combinação
321 entre as maiores doses de N e S estudadas (100 mg dm⁻³ de N e 40 mg dm⁻³ de S).

322 A relação N/S na combinação de 100 mg dm⁻³ de N com 40 mg dm⁻³ de S foi de 24/1.

323 A aplicação de S aumenta a produção de MSPA independente da aplicação de N. Quando na
324 ausência de aplicação de S, o aumento na MST acompanha o incremento nas doses de N.

325 A aplicação de N promove maior acúmulo tanto de N quanto de S na parte aérea.

326 Nas doses de 100 mg dm⁻³ de N e 40 mg dm⁻³ de S houve aproveitamento de 51,2 % do N
327 proveniente do fertilizante.

328

329 **AGRADECIMENTOS**

330 À Universidade Federal de Lavras (UFLA), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
331 Superior (CAPES), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao
332 Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio a pesquisa.

333

334 **REFERENCIAL**

335 Amado TJC, Mielniczuk J, Aita C. Recommendation of nitrogen fertilization for no-till corn in RS
336 and SC, adapted to the use of soil cover crops. R. Bras Ci Solo. 2002;26:241-248. doi:
337 10.1590/S0100-06832002000100025.

338 Bijay-Singh, Yadvinder-Singh, Sekhon GS. Fertilizer-N use efficiency and nitrate pollution of
339 groundwater in developing countries. J. Contam. Hydrol. 1995;20:167-184.

340 Brewster JL. Onions and other vegetable alliums. Wallingford - UK: CAB International; 1994.

341 Caldwell JON, Sumner ME, Vavrina CS. Development and testing of preliminary foliar DRIS norms
342 for onions. HortScience. 1994;29:1501-1504.

343 Cantarella H. Nitrogênio. In: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB,
344 Neves JCL, editores. Fertilidade do solo. v.1. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007.
345 p.375-470.

346 Cecílio Filho AB, May A, Pôrto DRQ, Barbosa JC. Crescimento da cebola em função de doses de
347 nitrogênio, potássio e da população de plantas em semeadura direta. Hortic. bras. 2009;27: 49-54.

348 doi: 10.1590/S0102-05362009000100010.

349 Cram WJ. Uptake and transport of sulphate. In: Rennenberg H (ed.) Sulphur Nutrition and
350 Assimilation in Higher Plants. The Hague, The Netherlands: SPB Academic Publishing; 1990.

351 Crawford NM, Kahn ML, Leustek T, Long SR. Nitrogen and sulphur. In: Buchanan BB, Gruissem,
352 W, Jones RL. (Org). Biochemistry and molecular biology of plants. Rockville: American Society of
353 Plant Physiologists, 2000.

354 Dhankar JS, Kumar V, Karwasra SPS. Effect of N and S application on yield, uptake and utilisation
355 of soil and fertilizers S in raya (*Brassica juncea* L. Czern and Coss). *Agrochimica*. 1995;39:240-251.

356 Donagema GK, Campos DVB, Calderano SB, Teixeira WG, Viana JHM. Manual de métodos de
357 análise de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2011.

358 El-tantawy EM, El-Beik AK. Relationship between growth, yield and storability of onion
359 (*Allium cepa* L.) with fertilization of nitrogen, sulphur and copper under calcareous Soil Conditions.
360 *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 2009;5:361-371.

361 Huett DO, Maier NA, Sparrow LA, Piggott TJ. Vegetables. In: Reuter DJ, Robinson JB, editors. 2
362 ed. *Plant Analysis: an interpretation manual*. Collingwood, Australia: CSIRO; 1997. p.385-464.

363 Jamal A, Moon YS, Abdin MZ. Sulphur -a general overview and interaction with nitrogen. *Aust J.*
364 *Crop Sci.* 2010;4:523-529.

365 Jiang LH, Liu ZH, Chen Q, Lin HT, Zhang WJ. Study of the effect of nitrogen on green Chinese
366 spring onion yield and supplying target value. *Plant Nutr. Fert. Sci.* 2007;13:890-896.

367 Kurtz C, Ernani PR, Coimbra JLM, Petry E. Rendimento e conservação de cebola alterados pela dose
368 e parcelamento de nitrogênio em cobertura. *R. Bras Ci Solo.* 2012;36:865-875. doi: 10.1590/S0100-
369 06832012000300017.

370 Lehmann J, Solomon D, Zhao FJ, Mcgrath SP. Atmospheric SO₂ emission since the late 1800 s change
371 organic sulphur forms in humic substances extracts of soils. *Environ. Sci. Technol.* 2008;42:3550-
372 3555. doi: 10.1021/es702315g.

373 Long SR. et al. Nitrogen and sulfur. In: Buchanan BB, Gruissem W, Jones RL. *Biochemistry &*
374 *Molecular Biology of Plants*. 2nd ed. Rockville: John Wiley & Sons Ltd, 2015. chap. 16, p. 711-768.

375 Magalhães JR. Nutrição e adubação da cebola. In: Ferreira ME, Castellane PD, Cruz MCP, editores.
376 *Nutrição e adubação de hortaliças*. Piracicaba: Potafos; 1993.

377 Malavolta E, Moraes MF. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas
378 cultivadas. In: Yamada T, Abdala SRS, Vitti GC. *Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira*.
379 Piracicaba: IPNI, 2007. cap. 6, p. 189-250. Muraoka T, Ambrosano EJ, Zapata, F Bortoletto N,
380 Martins ALM, Trivelin PCO, Boaretto AE, Scivittaro WB. Eficiencia de abonos verdes (crotalaria y
381 mucuna) y urea, aplicados solos o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz. *Terra*

382 Latinoamericana. 2002; 20: 17-23.

383 Nasreen S, Haque MM, Hossain MA, Farid ATM. Nutrient uptake and yield of onion as influenced
384 by nitrogen and sulphur fertilization. Bangladesh j. agric. res. 2007; 32: 413-420. doi:
385 10.3329/bjar.v32i3.543.

386 Nasreen S, Haq SMI, Hossain MA. Sulphur effects on growth responses and yield of onion. Asian J
387 Plant Sci. 2003; 12:897-902. doi: 10.3923/ajps.2003.897.902.

388 Paula MB, Pádua JG, Fontes PC, Bertoni JC. Produtividade e qualidade de bulbos de cebola e teores
389 de nutrientes na planta e influenciados por fontes de potássio e doses de gesso. Rev. Ceres.
390 2012;49:231-144.

391 Pereira CS, Freitas AA, Chapla MV, Lange A. Doses de potássio com a presença de enxofre na cultura
392 da soja. Global Sci Technol. 2016;09:22-32.

393 Pôrto DRQ, Cecílio Filho AB, May A, Barbosa JC. Acúmulo de macronutrientes pela cebola
394 “Optima” estabelecida por semeadura direta. Hort Bras. 2006; 24:470-475. doi: 10.1590/S0102-
395 05362006000400015.

396 Pôrto DRQ, Cecílio Filho AB, May A, Vargas PF. Acúmulo de macronutrientes pela cultivar de
397 cebola “Superex” estabelecida por semeadura direta. Ciênc. Rural. 2007; 37: 949-955. doi:
398 10.1590/S0103-84782007000400005.

399 R development core team - RDCT. R: A language and environment statistical computing. Vienna: R
400 Foundation for Statistical Computing, 2015.

401 Rein TA, Sousa DMG. Adubação com enxofre. In: Sousa DMG, Lobato E. Cerrado: correção do solo
402 e adubação. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; 2004. p.129-146.

403 Resende GM, Costa ND. Effects of levels of potassium and nitrogen on yields and post-harvest
404 conservation of onions in winter. Rev. Ceres. 2014;61:572-577. doi: 10.1590/0034-
405 737X201461040018.

406 Rodrigues GSO, Grangeiro LC, Negreiros MZ, Silva AC, Novo Junior J. Qualidade de cebola em
407 função de doses de nitrogênio e épocas de plantio. RC. 2015; 28: 239-247. doi: 10.1590/1983-
408 21252015v28n327rc.

409 Ruijter FJ, Huijsmans JFM de, Rutgers B. Ammonia volatilization from crop residues and frozen
410 green manure crops. Atmos. Environ. 2010;44:3362-3368. doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.06.019.

411 Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC dos, Oliveira VA de, Lumberras JF, Coelho MR, Almeida JA de,
412 Cunha TJF.; Oliveira JB de. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília: Embrapa; 2013.

413 Scherer HW. Sulfur in soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. 2009;172: 326-335. doi:10.1002/jpln.200900037.

414 Schunemann AP, Treptow R, Leite DL, Vendruscolo JL. Pungência e características químicas em
415 bulbos de genótipos de cebola (*Allium cepa* L.) cultivados no Alto Vale do Itajaí, SC, Brasil. Rev.

416 Bras. Agrociência. 2006; 12; 77-80.

417 Scivittaro WB, Muraoka T, Boaretto AE, Trivelin PCO. Utilização de nitrogênio de adubos verdes e
418 mineral pelo milho. R. Bras Ci Solo. 2000; 24; 917-926. doi:10.1590/S0100-06832000000400023.

419 Silva FC da, editor. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasília:
420 Embrapa Informação Tecnológica; 2009.

421 Silva MLS, Trevizam AR. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. Inf. Agron.
422 Piracicaba, 2015; 149: 10-16.

423 Souza RJ, Resende GM. *Cultura da cebola*. Lavras: UFLA; 2002. (Texto Acadêmico, 21).

424 Sturm M, Kacjan-Marsic N, Zupanc V, Bračič-Železnik B, Lojen S, Pintar M. Effect of different
425 fertilization and irrigation practices on yield: nitrogen uptake and fertilizer use efficiency of white
426 cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata L.). Hort. Sci. 2010; 25: 103-109. doi:
427 10.1016/j.scienta.2010.03.017.

428 Trani PE, Breda Júnior JM, Factor TL. Calagem e adubação da cebola (*Allium cepa* L.). Campinas:
429 Instituto Agronômico; 2014.

430 Vidigal SM, Pereira PRG, Pacheco DD. Nutrição mineral e adubação de cebola. *Inf. Agropec.*,
431 2002;23:36-50.

432 Zheng YM, Ding YF, Wang, QS, Li GH, Wu H, Yuan Q, Wang HZ, Wang SH. Effect of nitrogen
433 applied before transplanting on nue in rice. Agric. Sci. China. 2007; 6:842-848. doi: 10.1016/S1671-
434 2927(07)60120-5.

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450 Tabela 1 – Análises químicas do Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico.

Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	pH	P rem	K	P	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn	MO
----- cmol _c dm ⁻³ -----					%	H ₂ O	mg L ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----					g kg ⁻¹			
0,3	0,1	0,3	2,1	2,87	26,8	4,9	17,4	26	0,3	7,0	0,2	0,6	1,3	12	1,4	5,4

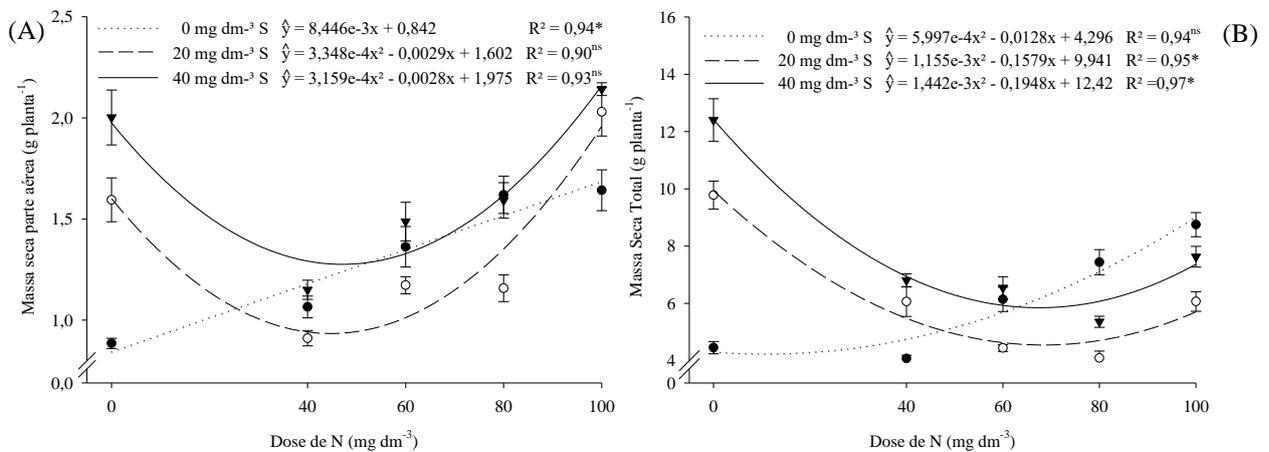
451

452 Tabela 2 – Valores do quadrado médio da análise de variância para as variáveis massa seca parte
 453 aérea (MSPA), massa seca total (MST), Teor de N e S, Relação N/S, Acúmulo N e S, N na planta
 454 proveniente de fertilizante (NPPF), quantidade de N na planta proveniente de fertilizante (QNPPF) e
 455 aproveitamento de N proveniente de fertilizante (APF).

Variáveis	Quadrado médio				
	N	S	N*S	Resíduo	CV (%)
GL	4	2	8	45	
MSPA	1,25707 **	0,74723 **	0,30910 **	0,02778	11,46
MST	25,7850 **	17,4649 **	19,9573 **	0,5973	11,59
Teor de N	273,946 **	5,769 ns	11,857 **	3,470	7,95
Teor de S	0,04278 **	0,59765 **	0,02527**	0,0082	8,03
Relação N/S	170,13 **	335,91 **	3,39 ns	3,99	9,39
Acúmulo de N	15862,4 **	7570,4 **	6119,6 **	337,3	12,03
Acúmulo de S	1,5675 **	3,7021 **	0,4308 **	0,0293	10,43
GL	3	2	6	36	
NPPF	15671,0 **	504,0 **	57,9 ns	29	8,98
QNPPF	56134 **	5970 **	1242 **	248	16,12
APF	4474,7 **	769,4 **	265,2 **	25,1	14,83

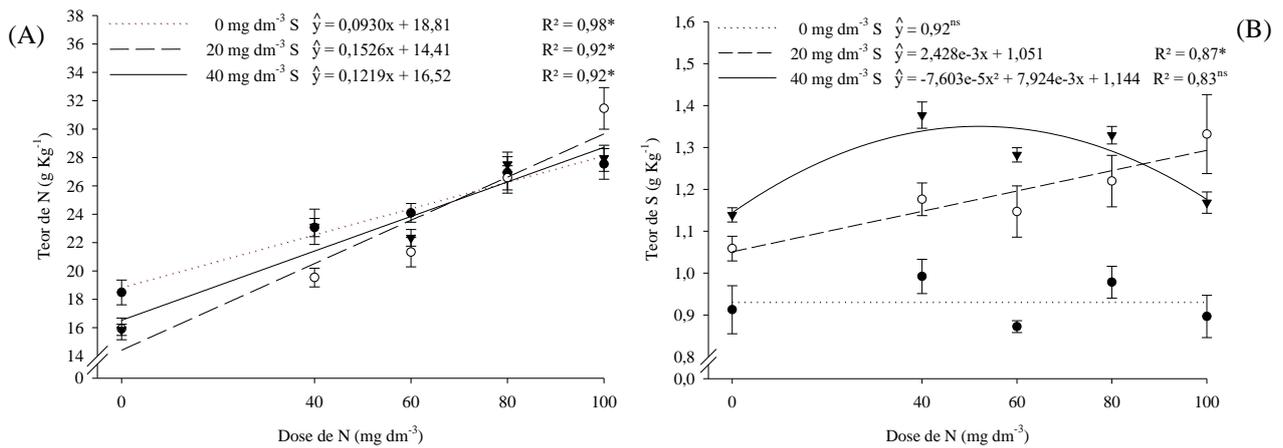
456 GL – Grau de liberdade; ns – não significativo; * - significativo a 5% pelo teste F; ** - significativo a 1% pelo teste F.

457



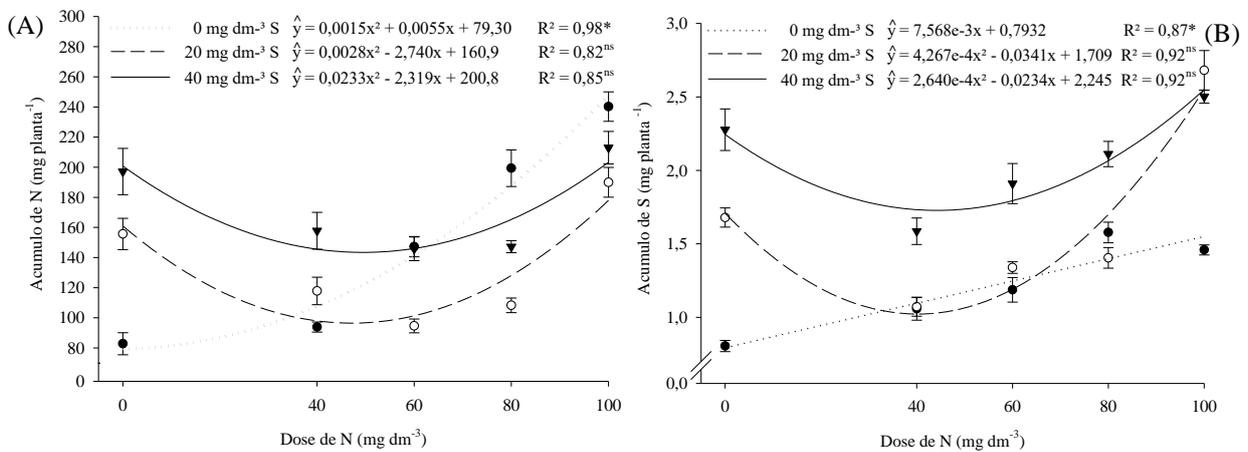
458

459 Figura 1 – Massa seca parte aérea (A) e Massa seca total (B) de plantas de cebolas submetidas a
 460 diferentes doses de N e S.



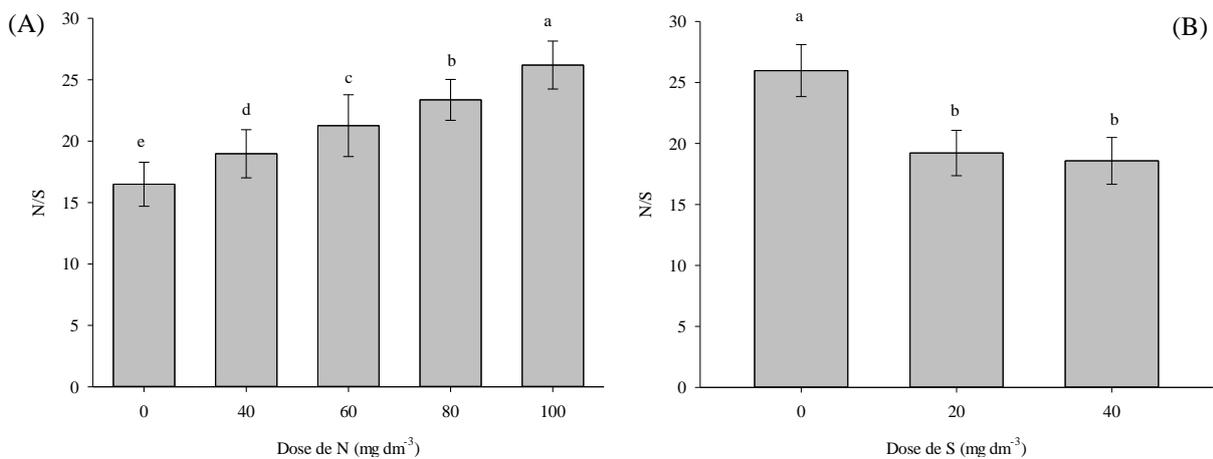
461
462 **Figura 2 – Teor de N (A), Teor de S (B), em parte aérea de plantas de cebola submetidas a diferentes**
463 **doses de N e S.**

464

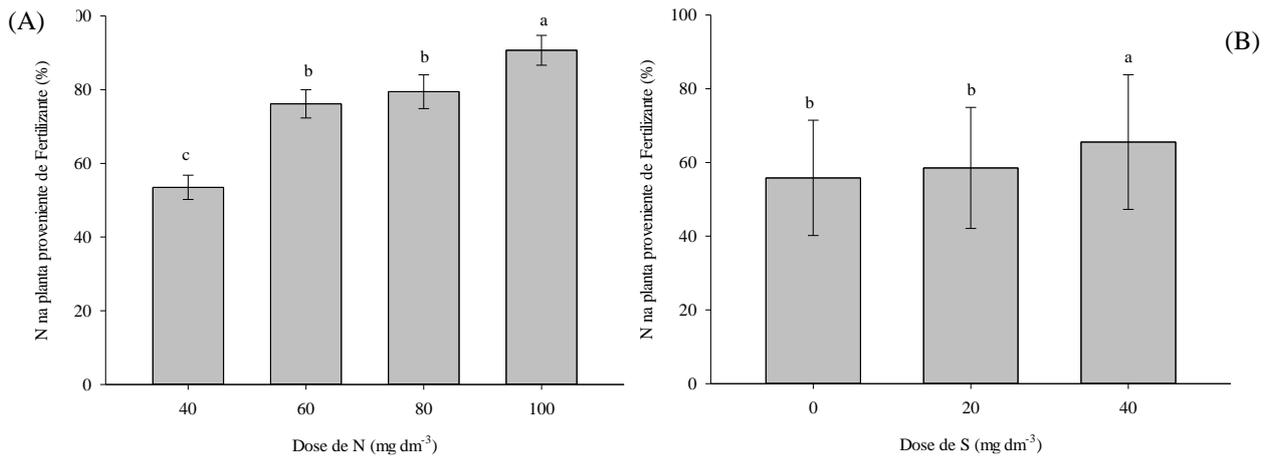


465
466 **Figura 3 – Acúmulo de N (A), Acúmulo de S (B), em parte aérea de plantas de cebola submetidas a**
467 **diferentes doses de N e S.**

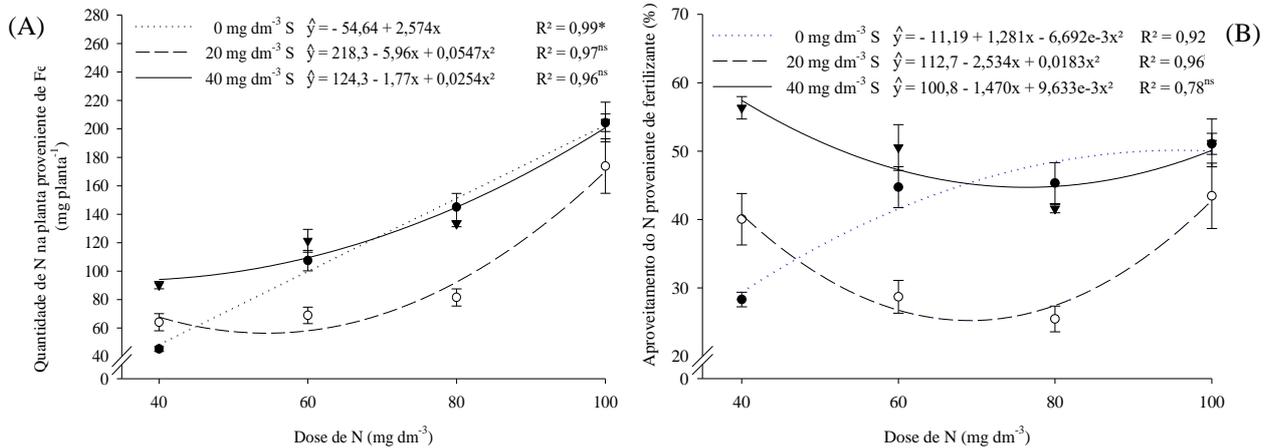
468



469
470 **Figura 4 – Relação N/S em parte aérea de plantas de cebola submetidas a diferentes doses de N (A)**
471 **e S (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-**
472 **Knott a 5% de probabilidade.**



473
 474 **Figura 5 – % de N na planta proveniente de fertilizante em parte aérea de plantas de cebola submetidas**
 475 **a diferentes doses de N (A) e S (B). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente**
 476 **entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.**
 477



478
 479 **Figura 6 – Quantidade de N na planta proveniente de fertilizante (A) e Aproveitamento de N**
 480 **proveniente de fertilizante (B) em parte aérea de plantas de cebola submetidas a diferentes doses de**
 481 **N e S.**

1 **ARTIGO 3 - ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS DE ALFACE CULTIVADAS**
2 **SOB EFEITO RESIDUAL DA ADUBAÇÃO COM N E S EM CEBOLA.**

3
4 Patriciani Estela Cipriano¹, Maria Ligia de Souza Silva¹, Anderson Ricardo Trevizam¹, Luiz
5 Roberto Guimarães Guilherme¹

6
7 Universidade Federal de Lavras – UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-
8 mail: patriciani_estela@hotmail.com, marialigia.silva@dcs.ufla.br, aanrt@hotmail.com,
9 guilherm@dcs.ufla.br

10

11 Artigo redigido de acordo com as normas da Revista Ciência Agronômica.

12

13 Evaluation of the nutritional status of lettuce cultivated under the residual effect of onion
14 fertilization

15 **RESUMO** - A sucessão de culturas proporciona o aproveitamento do fertilizante residual,
16 promovendo assim melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicado nas culturas. Sendo assim,
17 objetivou-se avaliar o efeito residual da adubação com N e S realizada para plantas de cebola
18 na produção e qualidade nutricional das plantas de alface. O experimento com a cultura da
19 cebola foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 x 5, sendo
20 três doses de S (0, 20 e 40 mg dm⁻³) e cinco doses de N (0, 40, 60, 80 e 100 mg dm⁻³), com
21 quatro repetições. Após a colheita da cebola, procedeu o transplântio das mudas de alface
22 crespa, cv. Verônica, as quais durante o cultivo não receberam adubação. O efeito residual da
23 adubação utilizada para as plantas de cebola não limitou o desenvolvimento das plantas de
24 alface. O incremento nas doses de N e S proporcionam o aumento no acúmulo de N, S e P e
25 redução no acúmulo de K. A aplicação de S reduz o acúmulo de Ca e Mg, porém esses valores
26 aumentam com o incremento nas doses de N. A combinação entre as maiores doses de N e S
27 aplicadas proporciona o maior acúmulo de MSPA. A combinação entre N e S com melhores
28 resultados são de 100 mg dm⁻³ de N com 40 mg dm⁻³ de S. A relação N/S obtida na melhor

29 combinação de doses de N e S foi de 18/1.

30 **Palavras-chave:** *Lactuca sativa* L.. Macronutrientes. Fertilização.

31 **Abstract** - The succession of crops provides the use of residual fertilizer, thus promoting better
32 use of fertilizers applied to crops. The objective of this study was to evaluate the residual effect
33 of N and S fertilization for onion plants on yield and nutritional quality of lettuce plants. The
34 experiment with onion culture was installed in a completely randomized design, in a 3 x 5
35 factorial arrangement, with three doses of S (0, 20 and 40 mg dm⁻³) and five doses of N (0, 40,
36 60, 80 and 100 mg dm⁻³), with four replicates. After harvesting of the onion, the seedlings were
37 transplanted, which during the cultivation did not receive fertilization. The residual effect of
38 the fertilization used for onion plants did not limit the development of lettuce plants. The
39 increase in N and S doses provides an increase in N, S and P accumulation and a reduction in
40 K accumulation. The application of S reduces the accumulation of Ca and Mg, but these values
41 increase with the increase in the doses of N. The combination of the higher doses of N and S
42 applied provides the greatest accumulation of MSPA. The combination of N and S with best
43 results is 100 mg dm⁻³ of N with 40 mg dm⁻³ of S. The N/S ratio obtained in the best combination
44 of N and S doses was 18/1.

45 **Key words:** *Lactuca sativa* L.. Macronutrients. Fertilization.

46

47

INTRODUÇÃO

48 Em hortaliças, a obtenção de altas produtividades tem ocorrido com a aplicação de altas
49 doses de fertilizantes minerais, devido ao fato dos solos das regiões tropicais serem pobres em
50 matéria orgânica (PERIN *et al.*, 2004) a qual poderia disponibilizar nutrientes para as plantas.
51 Neste contexto, o propósito de se obter sustentabilidade ambiental máxima, é necessário o
52 emprego de técnicas que melhorem a gestão dos nutrientes visando aprimoramento da
53 utilização de fertilizantes minerais (AMADO *et al.*, 2002).

54 A alface é a hortaliça folhosa que apresenta grande importância, sendo a mais consumida
55 no Brasil (RESENDE *et al.*, 2003). É composta basicamente por folhas, portanto tem resposta
56 satisfatória a adubação nitrogenada devido ao N promover o crescimento vegetativo
57 (RESENDE *et al.*, 2005). O suprimento adequado de nutrientes é primordial para o cultivo da
58 alface, já que a aplicação de doses excessivas eleva os custos de produção, prejudica o ambiente
59 e afeta a qualidade do produto (SILVA *et al.*, 2010).

60 A adubação nitrogenada influencia na qualidade comercial, que é caracterizada pelo
61 tamanho e cor, e no estado nutricional das plantas (MILHOMENS *et al.*, 2015). N e S interagem
62 na formação dos aminoácidos cisteína e metionina (TAIZ; ZEIGER, 2013). Sendo assim, as
63 doses de S a serem aplicadas merecem atenção.

64 Com a sucessão de culturas é possível o aproveitamento de fertilizante residual. No
65 entanto, o N pode ser lixiviado por meio de precipitações e umidade do solo, promovendo assim
66 baixo efeito residual. Porém, com a utilização de altas doses de N em solos argilosos é possível
67 encontrar efeito residual maior devido a sua retenção neste tipo de solo (COSTA *et al.*, 2012).
68 A sucessão de cultura promove vários benefícios, dentre estes a melhora na fertilidade do solo
69 (CAMPBELL *et al.*, 1991).

70 No intuito de reduzir os custos de produção e maximizar a eficiência do uso do solo faz-
71 se necessário realizar pesquisas para verificar qual a hortaliça mais adequada para o cultivo
72 após a colheita de cebola visando aproveitar o residual da adubação feita para a cultura anterior.
73 Sendo assim, objetivou-se avaliar o efeito residual da adubação com N e S em plantas de cebola
74 na produção e qualidade nutricional das plantas de alface.

75

76

MATERIAL E MÉTODOS

77 O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo
78 pertencente à Universidade Federal de Lavras (UFLA) em Lavras/MG (21° 14' 43" S; 44° 59'

79 59" W, Altitude de 919 m), em vasos com 4 dm³ de solo, preenchidos com amostras da camada
 80 de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, classificado de acordo com Santos
 81 *et al.* (2013)., com as análises químicas e física do solo (tabela 1) foram realizadas de acordo
 82 com Donagema *et al.* (2011), apresentando de textura média,.

83 **Tabela 1** – Análises químicas e físicas do Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico.

Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	P rem	K	P	pH
----- cmol _c dm ⁻³ -----					%	mg L ⁻¹	--- mg dm ⁻³ ---		(em água)
0,3	0,1	0,3	2,1	2,87	26,8	17,4	26	0,3	4,9
S	B	Cu	Mn	Fe	Zn	MO	Areia	Silte	Argila
----- mg dm ⁻³ -----						----- g kg ⁻¹ -----			
7,0	0,2	0,6	1,3	12	1,4	5,4	660	20	320

84 No experimento com a cultura da cebola, primeiramente, procedeu-se a correção da
 85 acidez do solo, com a incorporação de 2,25 mg dm⁻³ carbonato de cálcio (CaCO₃) p. a. e 0,75
 86 mg dm⁻³ de carbonato de magnésio (MgCO₃) p. a. baseado em análise química do solo para
 87 elevar a saturação por bases a 80% (Trani *et al.*, 2014). Após a calagem o solo foi mantido por
 88 30 dias com umidade próxima a 60% do volume total de poros (VTP).

89 O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo
 90 fatorial 3 x 5, sendo três doses de S (0, 20 e 40 mg dm⁻³) e cinco doses de N (0, 40, 60, 80 e 100
 91 mg dm⁻³), e quatro repetições, totalizando 60 parcelas experimentais, onde cada parcela
 92 experimental foi constituída por uma planta por vaso.

93 Após a incubação foi realizada a aplicação dos tratamentos com N (ureia) e S (sulfato de
 94 cálcio) juntamente com a adubação básica de plantio com 150 mg dm⁻³ de P (superfosfato triplo)
 95 e 30 mg dm⁻³ K (cloreto de potássio). A Adubação básica com micronutrientes consistiu na
 96 aplicação de 1 mg de B e de 2 mg Zn por dm⁻³ por meio de ácido bórico (H₃BO₃) e sulfato de
 97 zinco (ZnSO₄.7H₂O). As mudas de cebola cv. Diamantina foram produzidas em bandejas de
 98 poliestireno com 128 células sendo semeada uma semente por célula. O transplante foi realizado
 99 aos 30 dias após a semeadura. Durante o período de cultivo, a cebola recebeu adubações de
 100 cobertura na dose de 30 mg de K por dm⁻³ por duas vezes e as doses de N referente aos

101 tratamentos por três vezes, por meio de solução nutritiva, com intervalos de 20 dias. Durante a
102 condução do experimento, não foi necessário controle fitossanitário e a umidade do solo foi
103 mantida próxima à capacidade de campo repondo-se o volume de água sempre que necessário.

104 Com a colheita da cebola, aos 130 dias, procedeu-se o transplante das mudas de alface
105 do cultivar Verônica do grupo solta cressa. As mudas de alface foram produzidas em bandejas de
106 poliestireno com 128 células sendo semeada uma semente por célula. O transplante foi realizado
107 aos 15 dias após a semeadura. Durante o cultivo não foi feita nenhuma adubação. Após 45 dias
108 foi realizada a colheita das plantas de alface, as quais foram secas em estufa de circulação de ar
109 forçado, à 65 °C, até atingir massa constante para a quantificação da produção de massa seca
110 das plantas. As plantas foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de 20 mesh e
111 acondicionadas em sacos de papel, para posterior determinação dos teores de macronutrientes.
112 As determinações dos teores dos macronutrientes de acordo com metodologia descrita por Silva
113 (2009), com as determinações de: N por Destilação – titulação Kjeldahl; P por
114 espectrofotometria – amarelo-de-vanadato; S por turbidimétrica; K por fotometria de chama;
115 Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica. Os acúmulos dos nutrientes foram
116 calculados pela multiplicação do teor do nutriente pela massa seca da planta. Com os teores de
117 N e S foi obtida a relação N/S.

118 Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância, ao teste de média pelo
119 intervalo de confiança, ao nível de 5% de significância para as variáveis qualitativas e regressão
120 polinomial para as quantitativas com o uso do software estatístico R versão 3.2.3 (RDCT, 2015).

121

122

RESULTADOS E DISCUSSÃO

123 As variáveis (tabela 2) apresentaram diferenças significativas pelo teste F, indicando que
124 as doses de N e S em estudo influenciaram todas as variáveis avaliadas. Houve interação
125 significativa para as variáveis estudadas, com exceção do teor de Ca e acúmulo de S, mas estes

126 apresentaram diferenças significativas quando avaliados os efeitos isolados de N e S.

127 **Tabela 2** – Valores do quadrado médio da análise de variância para variáveis massa seca parte
128 aérea (MSPA), Teor de N, S, P, K, Ca e Mg e Acúmulo de N, S, P, K, Ca e Mg.

F.V.	G. L.	Quadrado Médio						
		TN	TS	TP	TK	TCa	TMg	N/S
N	4	38,278**	0,0892**	0,1115**	69,737**	13,320**	1,444**	18,167*
S	2	1,124 ^{ns}	0,1022**	0,1223**	2,565 ^{ns}	50,361**	2,0409**	139,980**
N*S	8	9,092*	0,0045*	0,2463**	9,558**	1,043 ^{ns}	0,3399**	36,637**
Resíduo	45	1,365	0,0016	0,0052	0,97	0,631	0,0415	6,405
CV (%)		8,82	6,64	6,02	3,53	5,5	5,98	11,49
		MSPA	AcN	AcS	AcP	AcK	AcCa	AcMg
N	4	42,570**	15100**	56,172**	0,2590**	265,3**	78,589**	924,15**
S	2	11,659**	2369,3**	17,064**	0,2751**	1339,5**	39,189**	2143,92**
N*S	8	1,263*	506,5*	1,457 ^{ns}	0,0848**	159,26*	70,086**	78,03**
Resíduo	45	0,416	169,4	1,14	0,0035	44,04	2,644	20,62
CV (%)		7,91	11,56	12,48	7,9	7,07	9,3	9,06

129 F.V. - Fonte de Variação; N - Nitrogênio; S - Enxofre; TN - Teor foliar de nitrogênio (g kg^{-1}); TS - Teor foliar de
130 enxofre (g kg^{-1}); TP - Teor foliar de fósforo (g kg^{-1}); TK - Teor foliar de potássio (g kg^{-1}); TCa - Teor foliar de
131 cálcio (g kg^{-1}); TMg - Teor foliar de magnésio (g kg^{-1}); N/S - relação entre nitrogênio e enxofre; MSPA - massa
132 seca parte aérea (g/planta^{-1}); AcN - Acúmulo de nitrogênio (mg planta^{-1}); AcS - Acúmulo de enxofre (mg planta^{-1});
133 AcP - Acúmulo de fósforo (mg planta^{-1}); AcCa - Acúmulo de cálcio (mg planta^{-1}); AcMg - Acúmulo de
134 magnésio (mg planta^{-1}); CV - coeficiente de variação; G.L. - grau de liberdade; ^{ns} - não significativo; * -
135 significativo à 5% pelo teste F; ** - significativo à 1% pelo teste F.

136 A produção máxima de MSPA (Figura 1) pode ser estimada a partir das equações geradas.

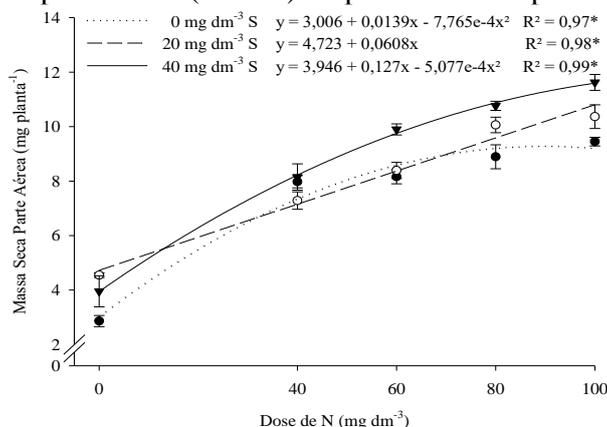
137 Quando não aplicado S foi encontrado $9,2 \text{ mg planta}^{-1}$ de MSPA na dose de $89,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de

138 N. Para a dose de 20 mg dm^{-3} de S, obteve-se $10,8 \text{ mg dm}^{-3}$ de MSPA na dose de 100 mg dm^{-3}

139 de N, entretanto a resposta linear à aplicação de N demonstra que a planta ainda poderia

140 responder ao incremento de N nesta dose de S.

141 **Figura 1** – Massa seca da parte aérea (MSPA) na parte aérea de plantas de alface.



142

143 Já na dose de 40 mg dm^{-3} de S e 100 mg dm^{-3} de N, obteve-se $11,6 \text{ mg planta}^{-1}$ de MSPA.

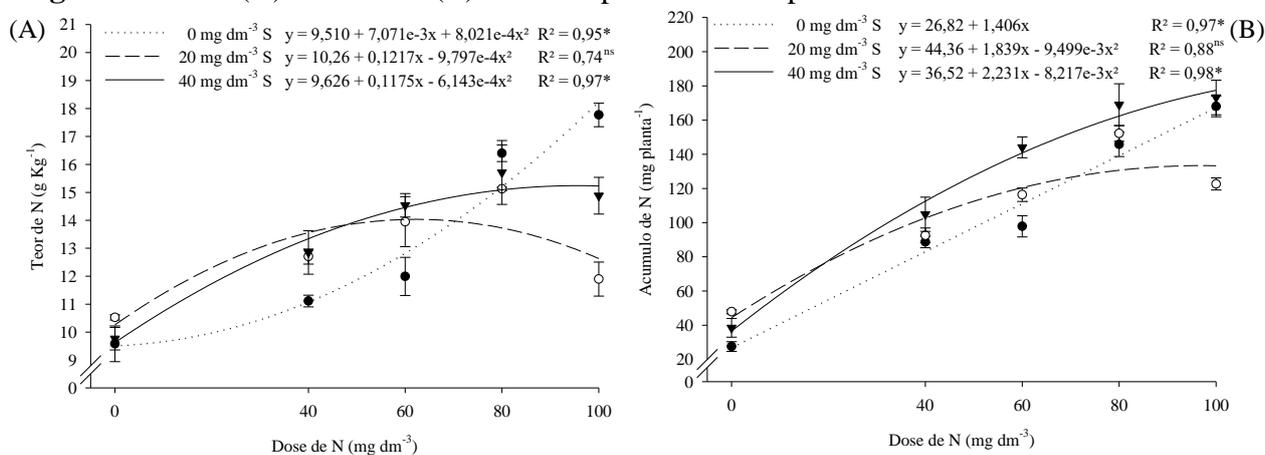
144 A resposta quadrática em relação as doses de N das doses de 0 e 40 mg dm^{-3} de S permite

145 afirmar que a partir de 9,2 e 11,6 mg planta⁻¹, houve redução na produção de MSPA, sendo
 146 esses os valores máximos a ser obtidos nessas condições. Observa-se que a aplicação de 40 mg
 147 dm⁻³ proporcionou incremento de 18,5 e 10,7% em relação a 0 e 20 mg dm⁻³ de S,
 148 respectivamente, na maior dose de N aplicada.

149 O aumento na produção de MSPA em função do incremento em doses de N se deve ao
 150 fato deste nutriente proporcionar aumento da área foliar (MARSCHNER, 2012). Isso se deve
 151 ao fato do N ser constituinte de aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos (TAIZ; ZEIGER,
 152 2013).

153 O maior teor de N (17,8 g kg⁻¹) (Figura 2A) foi obtido com dose de 100 mg dm⁻³ de N e
 154 sem aplicação de S. Quando aplicado 20 mg dm⁻³ de S, obteve-se teor de 14 g kg⁻¹ na dose
 155 estimada de 62,1 mg dm⁻³ de N. Já na dose de 40 mg dm⁻³ de S obteve-se teor de 15,2 g kg⁻¹
 156 na dose estimada de 95,6 mg dm⁻³ de N. O maior teor de N observado na ausência de aplicação
 157 de S quando comparado ao máximo valor estimado nas doses de 20 e 40 mg dm⁻³ de S aplicadas,
 158 proporcionou o incremento de 21,3% e 14,6%, respectivamente. Neste trabalho, observa-se o
 159 aumento no teor de N nas doses maiores de N. Esse resultado é devido ao aumento na
 160 concentração de N em função do incremento das doses de N (Alvarenga *et al.*, 2003) sendo a
 161 alface composta basicamente por folhas a mesma apresenta resposta positiva ao fornecimento
 162 de N (Resende *et al.*, 2012) devido as funções que esse nutriente exerce na planta.

163 **Figura 2** – Teor (A) e acúmulo (B) de N em parte aérea de plantas de alface.



165 Esses resultados foram inferiores aos obtidos por Resende *et al.* (2012) com a alface cv.
166 Raider, que ao aplicarem 161,5 kg ha⁻¹ de N, constatando o maior teor de N em 32,6 g kg⁻¹.
167 Alvarenga *et al.* (2003) obtiveram com a cv. Raider o teor médio de 33,7 g kg⁻¹ de N aplicando
168 as doses de 120, 180 e 240 kg ha⁻¹. Embora o teor de N obtido seja inferior ao observado pelos
169 autores citados, vale ressaltar que nesses trabalhos foi feita aplicação de N na cultura e neste
170 estudo avaliou-se o efeito residual da aplicação de N que foi feita em cebola, sem a adição de
171 novas doses de N no cultivo da alface.

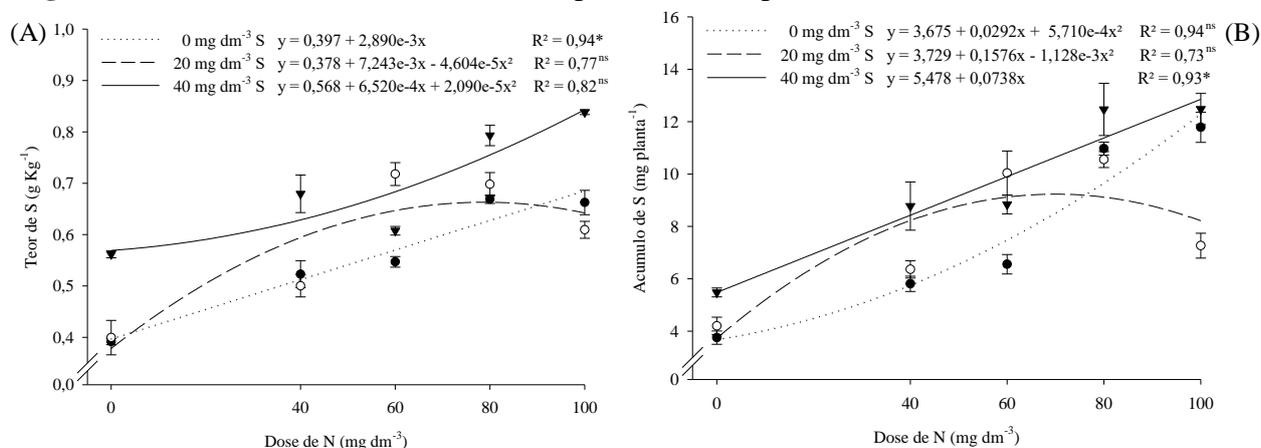
172 Quanto ao acúmulo de N (Figura 2B), sem a aplicação de S e com a aplicação de 100 mg
173 dm⁻³ de N, obteve-se 167,42 mg planta⁻¹. Para as doses 20 e 40 mg dm⁻³ de S, devido ao
174 comportamento quadrático estimou-se o acúmulo de 133, 4 e 177,45 mg planta⁻¹ quando
175 combinadas com as doses de 96,8 e 100 mg dm⁻³ de N, respectivamente. O maior acúmulo de
176 N foi observado na combinação de 100 mg dm⁻³ de N com 40 mg dm⁻³ de S, esse resultado pode
177 ser atribuído ao fato do N e S interagirem na formação de proteínas, com a aplicação de S
178 promovendo aumento na produção dos aminoácidos cisteína e metionina, o que implica no
179 aumento da produção de proteínas que contém esses aminoácidos, necessitando assim de maior
180 quantidade de N.

181 Quanto ao S, o maior teor e acúmulo de S (Figura 3A e 3B) ocorreu na maior dose de N
182 e de S aplicadas. Devido ao papel central de N e S na síntese de proteínas, estes elementos estão
183 interligados nas plantas (JAMAL; MOON; ABDIN, 2010) com a assimilação desses elementos
184 ocorrendo durante a formação da cisteína quando o sulfeto é introduzido na O-acetilserina com
185 a ação da enzima OAS-tiol-liase (CRAWFORD *et al.*, 2000).

186 Ahmad *et al.* (1998) afirmam que se o solo estiver deficiente em S durante o cultivo, não
187 atingirá o máximo potencial produtivo, mesmo que todas as outras condições sejam adequadas
188 e o manejo seja executado adequadamente. Neste estudo observa-se que os maiores teores e
189 acúmulos de S ocorrem quando se aplicou S, demonstrando a resposta positiva da cultura ao

190 efeito residual desse elemento no solo. Também vale ressaltar que o N presente no residual
 191 favoreceu a maior absorção de S devido a interação sinérgica que ocorre entre esses nutrientes.

192 **Figura 3** - Teor (A) e acúmulo (B) de S na parte aérea de plantas de alface.



193

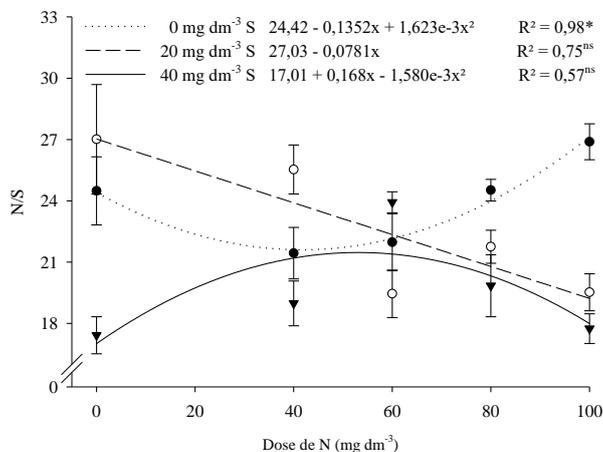
194 Resende *et al.* (2012) encontraram teor de 2,1 g kg⁻¹ de S com a alface cv. Raider, esse
 195 teor é superior ao teor máximo encontrado neste trabalho que foi de 0,84 g kg⁻¹ de S com a cv.
 196 Verônica. O maior acúmulo de S, 12,5 mg planta⁻¹, encontrado nesse trabalho é inferior ao
 197 obtido por Almeida *et al.* (2011), com 22,6 mg planta⁻¹ com alface cv. Verônica, porém
 198 cultivada em solução nutritiva. Em solução nutritiva os nutrientes estão prontamente
 199 disponíveis para a planta, permitindo assim maior absorção e conseqüentemente maior
 200 acúmulo. Essa discrepância entre os resultados obtidos neste trabalho e a literatura se deve as
 201 doses de fertilizantes aplicados e as condições de cultivo em que foram realizadas cada um dos
 202 experimentos

203 A relação N/S (Figura 4) apresentou ajuste quadrático quando não aplicado S e na dose
 204 de 40mg dm⁻³. Quando aplicado 20 mg dm⁻³ houve ajuste linear. A maior relação N/S (26,8)
 205 ocorreu com a aplicação de 100 mg dm⁻³ de S sem a aplicação de S, sendo que a com aplicação
 206 S houve redução em N/S para esta dose de N aplicada.

207 Matraszek *et al.* (2016) afirmam que a alface tem requisito médio-baixo para S, o que é
 208 evidenciado pela relação N/S. Cram (1990) afirma que a proporção média geral de N/S para as
 209 plantas seria 20/1. Seguindo esse conceito, obter-se-ia essa relação com a aplicação das

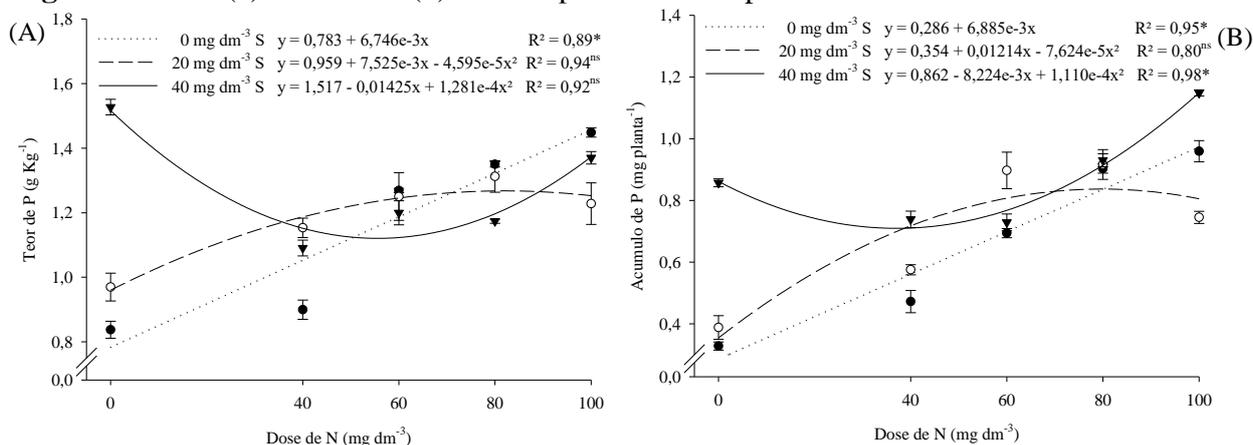
210 combinações de 100 mg dm^{-3} de N com 20 mg dm^{-3} de S e 80 mg dm^{-3} de N com 40 mg dm^{-3}
 211 de S nas condições em que foi realizado esse trabalho.

212 **Figura 4** – Relação N/S na parte aérea de plantas de alface.



213 O maior teor de P, $1,53 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 5A), foi encontrado sem a aplicação de N e com a
 214 aplicação de 40 mg dm^{-3} de S. Pela equação gerada pode-se estimar o maior acúmulo na dose
 215 de 20 mg dm^{-3} de S quando combinado com $81,9 \text{ mg dm}^{-3}$ de N, obtendo $1,3 \text{ g kg}^{-1}$. Sem a
 216 aplicação de S obteve-se o teor de $1,45 \text{ g kg}^{-1}$ de P com a máxima dose de N aplicada nesse
 217 estudo.
 218 estudo.

219 **Figura 5** - Teor (a) e acúmulo (b) de P na parte aérea de plantas de alface.



220 Para ocorrer a assimilação de S, o sulfato reage primeiro com a ATP para formar o 5'-
 221 fosfosulfato de adenosina (APS), e essa reação é catalisada pela ATP sulfurilase. Sendo assim,
 222 a redução do sulfato é altamente intensiva em energia (LONG *et al.*, 2015) o que promove
 223 maior absorção de P presente no solo, implicando em maiores teores na planta.
 224 maior absorção de P presente no solo, implicando em maiores teores na planta.

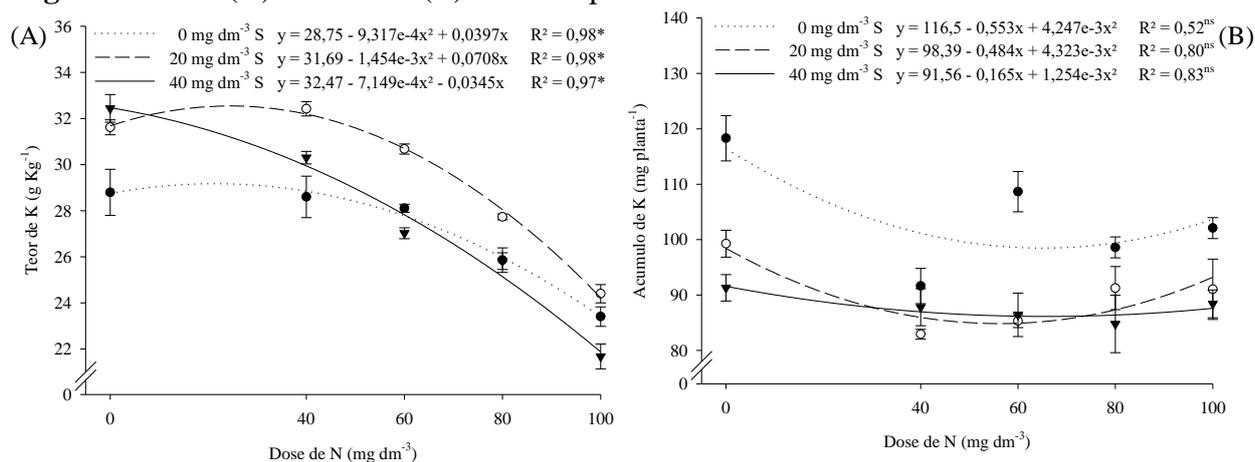
225 O maior acúmulo (Figura 5B) ocorreu na maior dose de N aplicada combinada à dose

226 de 40 mg dm⁻³ de S, promovendo incrementos de 16,5 e 27% em relação a não aplicação de S
 227 e a dose de 20 mg dm⁻³ de S. Quanto ao acúmulo de P, Almeida *et al.* (2011) obtiveram 38,8
 228 mg planta⁻¹ com alface cv. Verônica cultivada em solução nutritiva, valor esse superior ao
 229 encontrado neste trabalho, de 1,15 mg planta⁻¹ com a mesma cultivar, que, no entanto, foi
 230 conduzida sob efeito residual de adubação.

231 O fato do maior acúmulo ocorrer quando aplicado a maior dose de N se deve ao
 232 sinergismo que ocorre entre N e P (SHUMAN, 2000) devido a assimilação de N requerer alta
 233 energia metabólica na forma de ATP e poder redutor (TAIZ; ZEIGER, 2013), o que favorece o
 234 acúmulo no teor de P. O P tem elevada importância nas reações fotossintéticas e no
 235 metabolismo de carbono, processos estes fundamentais para assimilação e utilização do N
 236 (ELSER *et al.*, 2007).

237 Tanto o teor de K (Figura 4A) quanto o acúmulo de K (figura 4b) apresentaram
 238 comportamento quadrático. Os teores máximos de K foram de 29,2 g kg⁻¹ (0 mg dm⁻³ de S com
 239 21,3 mg dm⁻³ de N), 32,6 g kg⁻¹ (20 mg dm⁻³ de S com 24,3 mg dm⁻³ de N), e 32,4 g kg⁻¹ (40
 240 mg dm⁻³ de S com 0 mg dm⁻³ de N).

241 **Figura 6 - Teor (A) e acúmulo (B) de K em plantas de alface.**



242
 243 Souza *et al.* (2005) ao avaliarem a alface cv. Babá de Verão sem a aplicação de composto
 244 orgânico, encontraram 34,1 g kg⁻¹ de K. Com o incremento nas doses de N houve decréscimo
 245 no teor de K. O mesmo fato ocorreu com Resende *et al.*, (2012) ao trabalharem com a alface

246 cv. Raider. Os autores obtiveram o teor 34 g kg^{-1} de K com aplicação de $76,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de N,
247 sendo esse o máximo teor de K encontrado nas condições em que foi realizado o estudo.

248 O maior acúmulo de K, $118,2 \text{ mg planta}^{-1}$, ocorreu sem a aplicação de N e S, com valor
249 inferior ao encontrado por Almeida *et al.*, (2011) de $421,7 \text{ mg planta}^{-1}$ em plantas de alface cv.
250 Verônica. No entanto, esses resultados encontrados para o K são opostos aos observados na
251 literatura posto que Resende *et al.* (1997) afirmam que existe efeito complementar entre K e N
252 e Primavesi *et al.* (2006), afirmam que as os teores de K tendem a aumentar com o incremento
253 nas doses de N.

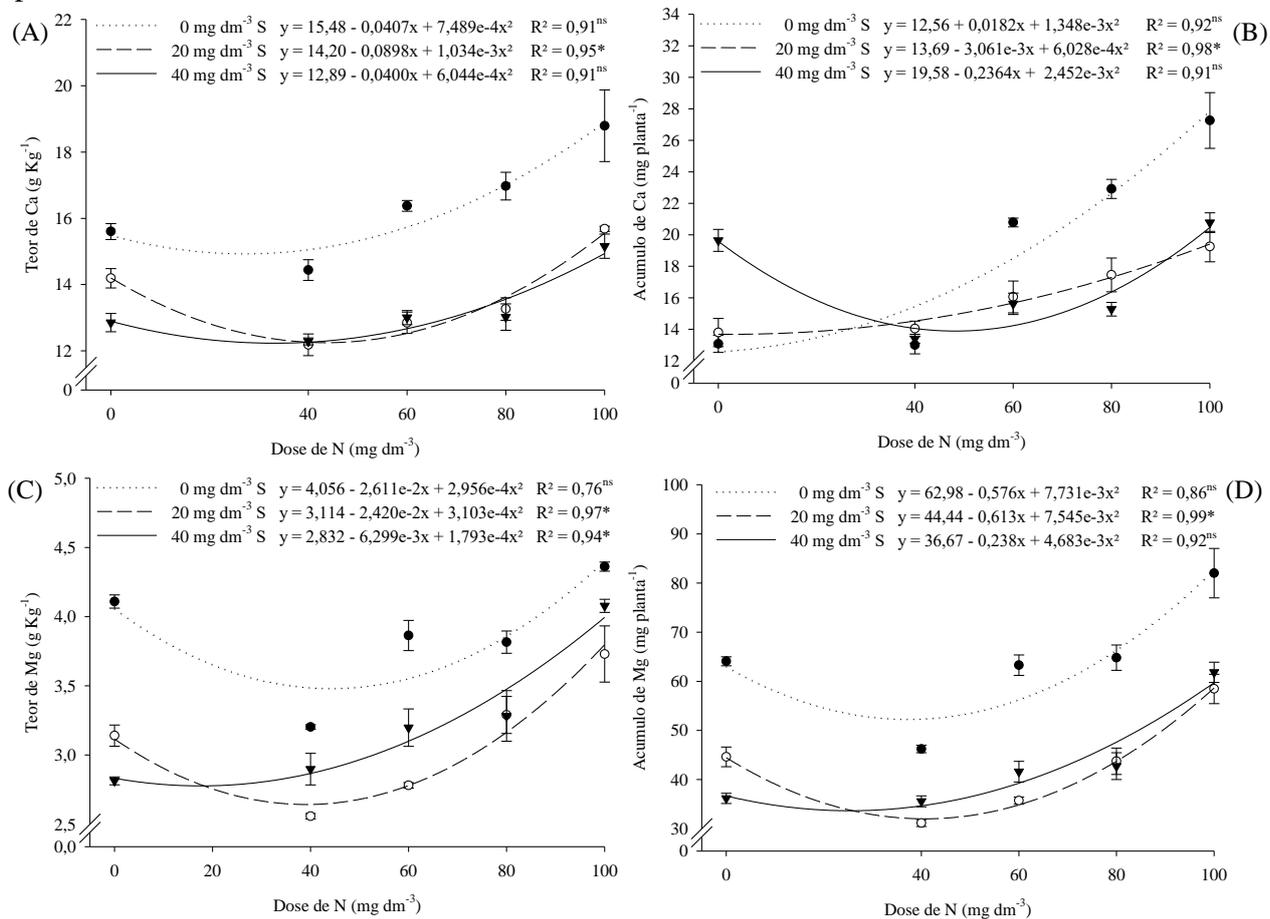
254 A redução que ocorreu com o teor de K quando em função do incremento nas doses de
255 N, pode estar associada a ocorrência do efeito de diluição. Considerando que a maior MSPA
256 ocorreu nas maiores doses de N e S, pode-se afirmar que a absorção de K não acompanhou o
257 crescimento da alface, proporcionando redução acentuada nos teores de K nas maiores doses
258 de N.

259 Para Ca e Mg (Figura – 7A, 7B, 7C e 7D), tanto o maior teor quanto o maior acúmulo
260 foram encontrados sem a aplicação de S, combinado à maior dose de N aplicada. Sem a
261 aplicação de S, o teor de Ca (Figura 7A) apresentou incremento de 16,6% em relação a dose de
262 20 mg dm^{-3} S e 19,3% em relação a dose de 40 mg dm^{-3} S. Já o acúmulo (Figura 7B) apresentou
263 incremento de 29,4 e 23,8%, para as doses de 20 e 40 mg dm^{-3} S, respectivamente, em relação
264 não aplicação de S. O fato do maior teor e o maior acúmulo de Ca e Mg ocorrerem sem
265 aplicação de S e na maior dose de N aplicada é devido ao N interagir sinergicamente com Ca e
266 Mg (MALAVOLTA; MORAES, 2007) promovendo efeito positivo.

267 Souza *et al.* (2005) encontraram valores de Ca na faixa de 11,7 a $13,7 \text{ mg kg}^{-1}$. Resende
268 *et al.* (2012) observaram incremento no teor de Ca com o incremento nas doses de N,
269 encontrando $5,5 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca com $93,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N e $6,6 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca com $124,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N
270 em alface cv. Raider. Os teores de Ca encontrados neste trabalho estão próximos aos

271 estabelecidos como adequados por Trani e Rajj (1997) (15 a 25 g kg⁻¹) e Malavolta, Vitti e
 272 Oliveira (1997) (12,5 g kg⁻¹) para a alface, sendo esses valores médios estipulados para as
 273 cultivares.

274 **Figura 7** - Teor (A) e acúmulo (B) de Ca e teor (C) e acúmulo de Mg (D) na parte aérea de
 275 plantas de alface.



277
 278

279 Para o teor de Mg (Figura 7C) sem a aplicação de S, houve incremento de 14,4 e 6,04%
 280 e no acúmulo (Figura 7D) de 29 e 24,6% em relação as doses de 20 e 40 mg dm⁻³ de S,
 281 respectivamente. Resende *et al.* (2012) encontraram 1,9 g kg⁻¹ de Mg com a dose de 125,8 mg
 282 ha⁻¹ de Mg com alface cv. Raider. Souza *et al.* (2005) encontraram teores na faixa de 3,9 a 5,2
 283 mg kg⁻¹ com alface cv. Babá de Verão. Nogueira Filho *et al.* (2003) obtiveram 2,4 g kg⁻¹ de Mg
 284 com a cv. Vera. O máximo teor de Mg encontrado está entre 4 a 6 g kg⁻¹, que é o estabelecido
 285 como adequado por Trani e Rajj (1997) para a cultura da alface em geral.

286 A diminuição nos teores de Ca e Mg quando aplicado S, pode ter relação com a fonte de

287 S utilizada, o gesso agrícola. De acordo com Caires *et al.* (1999), o gesso agrícola por meio da
288 percolação da água pode movimentar-se no perfil do solo. Com essa movimentação ocorre
289 lixiviação de Ca e Mg junto ao sulfato (SHMIDT; TOMELERO; BONA, 2016).

290 O acúmulo máximo de Ca e Mg ocorreu na combinação de 0 mg dm⁻³ de S com 100 mg
291 dm⁻³ de N, com acúmulo de 27,26 mg planta⁻¹ de Ca e 82,07 mg planta⁻¹ de Mg. Os valores
292 encontrados nesse trabalho são inferiores para o acúmulo de Ca e superior para o acúmulo de
293 Mg quando comparados aos acúmulos encontrados por Almeida *et al.* (2011). Os autores
294 citados trabalharam com alface cv. Verônica e obtiveram o acúmulo de 86,8 mg planta⁻¹ de Ca
295 e 39,2 mg planta⁻¹ de Mg. O acúmulo de Ca ocorrido nesse trabalho é inferior ao acúmulo obtido
296 pelos autores citados. Porém, o acúmulo de Mg deste trabalho foi superior ao obtido pelos
297 autores. Em ambos trabalhos se utilizou alface cv. Verônica, porém as condições de cultivo
298 foram diferenciadas, o que pode ser a causa dessa discrepância entre os resultados obtidos com
299 os resultados encontrados por esses autores.

300

301

CONCLUSÕES

302 1. O efeito residual da adubação utilizada para as plantas de cebola não limitou o
303 crescimento das plantas de alface.

304 2. O incremento nas doses de N e S proporcionam o aumento no acúmulo de N, S e P e
305 redução no acúmulo de K. A aplicação de S reduz o acúmulo de Ca e Mg, porém esses valores
306 aumentam com o aumento nas doses de N

307 4. A combinação entre as maiores doses de N e S aplicadas proporciona o maior acúmulo
308 de MSPA.

309 5. A combinação entre N e S com melhores resultados são de 100 mg dm⁻³ de N com 40
310 mg dm⁻³ de S.

311 6. A relação N/S obtida na melhor combinação de doses de N e S foi de 18/1.

AGRADECIMENTOS

312
313 À Universidade Federal de Lavras (UFLA), a Coordenação de Aperfeiçoamento de
314 Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas
315 Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
316 (CNPq) pelo apoio a pesquisa.

REFERÊNCIAS

319 AHMAD, A. *et al.* Interactive Effect of Nitrogen and Sulphur on Growth and Yield of Rape-
320 seed- Mustard (*Brassica juncea* L. Czern. and Coss. and *Brassica campestris* L.) Genotypes.
321 **Journal Agronomy & Crop Science**, v. 181, p. 193-199, 1998. ALMEIDA, T. B. F. *et al.*
322 Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes.
323 **Revista Biotemas**, v. 24, p. 27-36, 2011.

324 ALVARENGA, M. A. R. *et al.* Teores e acúmulos de macronutrientes em alface americana,
325 em função da aplicação de nitrogênio no solo e de cálcio via foliar. **Ciência e Agrotecnologia**,
326 Edição Especial, p. 1569-1575, 2003.

327 AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para
328 o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto.
329 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 241-248, 2002.

330 CAMPBELL, C. A.; *et al.* Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter,
331 microbial biomass and respirations in a thin back chernozem. **Canadian Journal of Soil**
332 **Science**, v. 71, n. 3, p. 363-376, 1991.

333 CAIRES, E. F. *et al.* Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características
334 químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície em sistema de plantio direto.
335 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 315-327, 1999.

336 COSTA, E. *et al.* Production of tomato seedlings using different substrates and trays in three
337 protected environments. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 822-830, 2012.

- 338 CRAM, W. J. Uptake and transport of sulphate. In: RENNENBERG, H. (ed.). **Sulphur**
339 **Nutrition and Assimilation in Higher Plants**. The Hague, The Netherlands: SPB Academic
340 Publishing; 1990.
- 341 CRAWFORD, N. M.; KAHN, M. L.; LEUSTEK, T.; LONG, S. R. Nitrogen and sulphur. In:
342 BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Org). **Biochemistry and molecular**
343 **biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 786-849.
- 344 DONAGEMMA, G. H; *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa
345 Solos, 2011. 230 p.
- 346 ELSER, J. J. *et al.* Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers
347 in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. **Ecology Letters**, v. 10, p. 1-8, 2007.
- 348 JAMAL, A.; MOON, Y.S.; ABDIN, M. Z. Sulphur -a general overview and interaction with
349 nitrogen. **Australian Journal Crop Science**, v. 4, p. 523-529, 2010.
- 350 LONG, S. R. *et al.* Nitrogen and sulfur. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.
351 L., eds. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. 2nd ed. Rockville: John Wiley & Sons
352 Ltd, 2015. chap. 16, p. 711-768.
- 353 MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição
354 mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Org).
355 **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. cap. 6, p. 189-238.
- 356 MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das**
357 **plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.
- 358 MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. London: ACADEMIC, 2012.
359 651p.
- 360 MATRASZEK, R. *et al.* Macroelemental composition of cadmium stressed lettuce plants
361 grown under conditions of intensive sulphur nutrition. **Journal of Environmental**
362 **Management**, v. 180, p. 24-34, 2016.

- 363 MILHOMENS, K. K. B. *et al.* Avaliação de características agronômicas de cultivares de alface
364 sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento**
365 **Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 143-148, 2015.
- 366 NOGUEIRA FILHO, H. *et al.* Aquaponia: Interação entre alface hidropônica e criação
367 superintensiva de Tilápias. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 2, s/paginação, 2003.
- 368 PERIN, A. *et al.* Efeito residual da adubação verde no rendimento de brócolo (*Brassica*
369 *oleraceae* L. var. *Italica*) cultivado em sucessão ao milho (*Zea mays* L.). **Ciência Rural**, v. 34,
370 n. 6, p. 1739-1745, 2004.
- 371 PRIMAVERESI, A. C.; PRIMAVERESI, O.; CORRÊA, L. A.; SILVA, A. G.; CANTARELLA, H.
372 Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. **Ciência**
373 **e Agrotecnologia**. v. 30, p. 562-568, 2006.
- 374 R DEVELOPMENT CORE TEAM - RDCT. R: A language and environment statistical
375 computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015.
- 376 RESENDE, G. M.; SILVA, G. L.; PAIVA, L. E.; DIAS, P. F.; CARVALHO, J. G. Resposta
377 do milho (*Zea mays* L.) a doses de nitrogênio e potássio em solo da região de Lavras-MG. II.
378 Macronutrientes na parte aérea. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 21, p. 477-483, 1997.
- 379 RESENDE, G. M. *et al.* Produtividade e qualidade pós-colheita da alface americana em função
380 de doses de nitrogênio e molibdênio. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 976-98, 2005.
- 381 RESENDE, G. M. *et al.* Rendimento e teores de macronutrientes em alface americana em
382 função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 373-378, 2012.
- 383 RESENDE, G. M. *et al.* Efeitos de tipos de bandejas e idade de transplântio de mudas sobre o
384 desenvolvimento e produtividade de alface americana. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 3, p.
385 558-563, 2003.
- 386 SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa,
387 2013. 353p.

- 388 SCHMIDT, F; TOMELERO, V.; BONA, F. D. de. Gesso agrícola e calcário aplicados no
389 sistema de plantio direto com e sem revolvimento do solo. **Agropecuária Catarinense**,
390 Florianópolis, v. 29, n. 1, p. 86-93, 2016.
- 391 SHUMAN, L. M. Mineral nutrition. In: WILKINSON, R. E. (Ed.). **Plant environment**
392 **interactions**. 2 ed. New York: Marcel Dekker, 2000. cap. 3, p. 65-110.
- 393 SILVA, F. A. M.; VILAS BOAS, R. L.; SILVA, R. B. Resposta da alface à adubação
394 nitrogenada com diferentes compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos. **Acta Scientiarum**
395 **Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 131-137, 2010.
- 396 SILVA, F. C. da. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed.
397 Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.
- 398 SOUZA, P. A. de *et al.* Características químicas de folhas de alface cultivada sob efeito residual
399 da adubação com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n.3, p. 754-757, 2005.
- 400 TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.
- 401 TRANI, P. E.; BREDA JÚNIOR, J. M.; FACTOR, T. L. **Calagem e adubação da cebola**
402 **(*Allium cepa* L.)**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2014. 35 p.
- 403 TRANI, P. E.; RAIJ, B. Hortaliças. In: RAIJ, B.; *et al.* (Eds). **Recomendações de adubação e**
404 **calagem para o Estado de São Paulo**. 2 eds. rev. atual. Campinas: Instituto
405 Agrônômico/Fundação IAC, (Boletim Técnico, 100), cap. 18, 1997. p. 157-185.