



**MATIAS SIUEIA JÚNIOR**

**INTERAÇÃO NITROGÊNIO E ENXOFRE NA PRODUÇÃO E  
QUALIDADE PÓS-COLHEITA DO TOMATEIRO**

**LAVRAS - MG**

**2017**

**MATIAS SIUEIA JÚNIOR**

**INTERAÇÃO NITROGÊNIO E ENXOFRE NA PRODUÇÃO E QUALIDADE PÓS-  
COLHEITA DO TOMATEIRO**

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.

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Ligia de Souza Silva  
Orientadora  
Prof. Dr. Valdemar Faquin  
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).

Júnior, Matias Siueia.

Interação nitrogênio e enxofre na produção e qualidade pós-  
colheita do tomateiro / Matias Siueia Júnior. - 2017.

84 p.

Orientador(a): Maria Ligia de Souza Silva.

Coorientador(a): Valdemar Faquin.

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

Bibliografia.

1. *Solanum lycopersicum*. 2. Nutrição de plantas. 3.  
Características de fruto. I. Silva, Maria Ligia de Souza. II. Faquin,  
Valdemar . III. Título.

**MATIAS SIUEIA JÚNIOR**

**INTERAÇÃO NITROGÊNIO E ENXOFRE NA PRODUÇÃO E QUALIDADE PÓS-  
COLHEITA DO TOMATEIRO**

**NITROGEN AND SULFUR INTERACTION IN THE PRODUCTION AND POST-  
HARVEST QUALITY OF TOMATO**

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.

APROVADO em 20 de Fevereiro de 2017.

Prof. Dr. Takashi Muraoka

USP/CENA

Prof. Dr. Wilson Roberto Maluf

UFLA

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Ligia de Souza Silva  
Orientadora

**LAVRAS – MG**

**2017**

*A Deus pela vida e por me dar forças para vencer mais esta etapa;*  
*À minha mãe, Etelvina Violeta Alberto Manhique, que ensinou-me a viver a vida com dignidade,*  
*que iluminou meus caminhos com afeto e dedicação para que eu os trilhasse sem medo. A você que*  
*muitas vezes renunciou seus próprios sonhos para que eu pudesse realizar os meus;*  
*Às minhas irmãs pela cumplicidade, pelo carinho e atenção nos momentos mais difíceis;*  
*Aos meus avós (in memoriam), pela lição da vida;*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre presente na minha vida e tornar tudo possível;

À minha mãe, Etelvina e às minhas irmãs Benvinda Siueia e Natália Rosa, pelo carinho, incentivo e paciência.

À Universidade Federal de Lavras e em especial ao Departamento de Ciência do Solo e Grupo de pesquisa em Nutrição de Plantas, pela oportunidade e apoio durante o período de realização dos trabalhos;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos por meio do Programa Estudante Convênio de Pós-Graduação (PEC-PG). À FAPEMIG e a CAPES;

À professora Maria Ligia de Souza Silva pela orientação, ensinamentos e por todos os esforços dedicados à execução deste trabalho;

Ao Cléber e Anderson, pelo apoio e ensinamento prestado durante o curso;

A todo corpo docente do curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFLA;

Aos funcionários e técnicos do Departamento de Ciência do Solo, por terem contribuído de alguma forma para a minha formação profissional;

Aos alunos da graduação em Agronomia: Bárbara, Agmar, Rafael, Fabrício, Stefanny pelo apoio prestado;

Aos meus amigos e alunos da Pós-Graduação em Ciência do Solo, Rodrigo, Geslin, Leandro, Franklin, Deivisson, Juliana Volpi, Thaís, Raquel, Patriciani, Emanuely, Juliana Mara (*in memorian*) e Aline pelo convívio diário, pelo suporte nas horas difíceis, pela ajuda e por alegrarem meus dias.

Especial agradecimento para Mário Tuzine, Denilson Mavaeie, Joel Nuvunga, Jonas Massuque, Júlio Miguel (garoto), Lourenço, Quim, Stélio, João e Tábua pelos sorrisos, companhia, amizade e apoio;

À minha namorada Clotildes Paulino, pela dedicação, carinho e compreensão ao longo desta caminhada acadêmica.

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

*... Um pouco mais de conhecimento ilumina o nosso caminho”*

*Yoda*

## RESUMO

O consumo de hortaliças está em constante crescimento, tendo as solanáceas, principalmente o tomate, lugar de destaque. O tomate é usado tanto *in natura* quanto na agroindústria, por isso é importante levar em consideração a qualidade do fruto e seu tempo de vida útil. Dentre os pontos que podem influenciar essas características está a nutrição da planta. O objetivo com este trabalho foi avaliar combinações de doses de nitrogênio e enxofre sobre a nutrição, a produção e as qualidades de pós-colheita do tomateiro. Como substrato foi usado o Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf), no qual foram aplicadas três doses de enxofre (0; 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup>) na forma de sulfato de cálcio e cinco doses de nitrogênio (0, 100; 200; 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup>) na forma de ureia marcada com isótopo <sup>15</sup>N, num esquema fatorial 3x5, em delineamento inteiramente casualizado, sob condições de casa de vegetação. Foram realizadas as seguintes avaliações: produção de frutos, teores foliares de N e S, acidez titulável, sólidos solúveis, teor de vitamina C, e pigmentos carotenoides. A produção total, massa seca da parte aérea, teor de N e acúmulo assim como o índice SPAD, aumentaram em função das doses de N. A interação entre as doses de N e S influenciaram positivamente as variáveis firmeza do fruto, sólidos solúveis, acidez titulável e a relação SS/AT, porém negativamente para o teor de vitamina C, licopeno e betacaroteno apesar não alterar as características de qualidade de fruto do tomateiro em relação aos valores recomendados; o pH apenas foi influenciado pelas doses crescentes de N, atingindo máximo de 4,2 que resultou em frutos com grau de acidez recomendável. A dose de S que proporcionou o maior aproveitamento do N do fertilizante pelo tomateiro foi de 120 mg dm<sup>-3</sup> com 36,47%. A absorção pelo tomateiro de N respondeu positivamente para as doses de S, atingindo máxima absorção na dose máxima de 400 mg dm<sup>-3</sup> de N. A relação N/S apresentou melhor resposta para a dose 60 mg dm<sup>-3</sup> de S.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum*. Nutrição de plantas. Características de fruto. Licopeno.

## ABSTRACT

The consumption of vegetable is in constant growth, having the solanáceas, mainly the tomato, place of prominence. The tomato can be used both in natura and agroindustry, so it is important to take into consideration the quality of the fruit and its shelf life. Among the points that can influence these characteristics is the nutrition of the plant. The objective of this work was to evaluate combinations of nitrogen and sulfur rates on the nutrition, production and postharvest qualities of tomato. As a substrate, the dystroferic Red Latosol (LVdf) was used, in which three rates of sulfur (0, 60 and 120 mg dm<sup>-3</sup>) applied in the form of calcium sulfate and five rates of nitrogen (0, 100, 200, 300 and 400 mg dm<sup>-3</sup>) as urea labeled with <sup>15</sup>N, in a 3x5 factorial scheme, in a completely randomized design, under greenhouse conditions. The following evaluations were performed: fruit production, leaf contents N and S, titratable acidity, soluble solids, vitamin C content, and carotenoid pigments. The total production, dry shoot mass, N content and accumulation, as well as the SPAD index, increased as a function of N rates. The interaction between the N and S rates positively influenced the variables: firmness of the fruit, soluble solids, acidity and the SS / AT ratio, but negatively for the vitamin C, lycopene and β - carotene content, although it did not alter the fruit quality characteristics of the tomato in relation to the recommended values, in relation to the pH was only influenced by the increasing doses of N, reaching a maximum of 4.2 that resulted in fruits with a recommendable acidity degree. The rate of S that provided the greatest by fertilizer N utilization by the tomato was 120 mg dm<sup>-3</sup> with 36.47%. Absorption of N tomato responded positively to S rate, reaching maximum absorption at the maximum dose of 400 mg dm<sup>-3</sup> of N. The N/S ratio presented better response to the rate 60 mg dm<sup>-3</sup> of S.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*. Plant nutrition. Fruit characteristics. Lycopene.

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	11
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
<b>2.1 CULTURA DO TOMATEIRO</b> .....	12
<b>2.2 NITROGÊNIO (N)</b> .....	13
<b>2.3 ENXOFRE (S)</b> .....	15
<b>2.4 RELAÇÕES NITROGÊNIO E ENXOFRE</b> .....	16
<b>2.5 QUALIDADE PÓS-COLHEITA DOS FRUTOS DE TOMATE</b> .....	17
<b>2.5.1 Acidez titulável e pH</b> .....	18
<b>2.5.2 Sólidos solúveis e relação Sólidos Solúveis e Acidez titulável (SS/AT)</b> .....	18
<b>2.5.3 Firmeza</b> .....	18
<b>2.5.4 Vitamina C</b> .....	19
<b>2.5.5 Pigmentos carotenoides (Licopeno e Betacaroteno)</b> .....	19
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	20
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	20
<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS</b> .....	26
<b>ARTIGO 1 INTERAÇÃO DE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA NUTRIÇÃO, CRESCIMENTO E TEOR DE CLOROFILA NA CULTURA DO TOMATEIRO</b> .....	26
<b>ARTIGO 2 QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE TOMATE EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO NITROGÊNIO E ENXOFRE</b> .....	45
<b>ARTIGO 3 APROVEITAMENTO DO NITROGÊNIO (<sup>15</sup>N) EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ENXOFRE NO TOMATEIRO</b> .....	71

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das mais importantes hortaliças no Mundo, e a sua produção ronda os 145 milhões de toneladas de acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT, 2013).

Destacam-se a contribuição socioeconômica do tomateiro, devido ao seu alto rendimento por área, e também sua importância nutricional, uma vez que essa hortaliça constitui em rica fonte de vitaminas e minerais para o homem.

Assume-se que o crescimento no consumo está relacionado com a consolidação das redes de *fast food*, hábitos alimentares, disponibilidade contínua no mercado, e a sua versatilidade de consumo, *in natura* ou industrializado (FIORI, 2006).

No Brasil, é uma das culturas hortícolas de maior importância econômica e social, estando presente sempre, quer seja em saladas, molhos ou temperos, e seu cultivo encontra-se distribuído em quase todos os estados.

O tomate é um alimento funcional devido às suas características nutracêuticas, com altos teores de vitamina A e C, além de ser rico em licopeno com propriedades antioxidantes, tanto no fruto quanto no produto processado, que ajudam na prevenção de cânceres, principalmente os relacionados com o aparelho digestivo.

Atualmente, pelo aumento da população mundial, intensifica-se a pressão para o aumento da produção de alimentos. A tomaticultura tem proporcionado expansão da área agrícola e seu cultivo intensivo tem permitido aumento de produção.

A maximização do desenvolvimento das culturas depende de vários fatores, dentre eles, a disponibilidade de nutrientes em quantidade e em equilíbrio, uma vez que a deficiência e/ou excesso de um elemento pode inibir a ação dos demais, causando uma redução na produção.

O nitrogênio (N) sendo um elemento essencial às plantas, é importante para o crescimento das culturas e o incremento da produtividade. O seu ciclo metabólico é semelhante ao do enxofre (S), possuindo relação sinérgica com esse elemento. Contudo, mesmo que não haja limitação no suprimento de S, a aplicação de doses elevadas de N, pode resultar em queda da produtividade, devido ao desequilíbrio nas relações N e S.

Diante da necessidade de esclarecimentos científicos em relação à interação do N e S, com este estudo tem como objetivo avaliar a influência de combinações de doses de N e de S sobre a nutrição, produção e na qualidade pós-colheita dos frutos do tomateiro.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Cultura do tomateiro

O tomateiro é originário da América do Sul EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1994), e dentre as hortaliças é a cultura com maior importância econômica no mundo e no Brasil em particular (ALVARENGA, 2013; PORTO, 2013).

É uma hortaliça pertencente à família *Solanaceae*, que desde a sua domesticação até a sua aceitação e cultivo na Europa e Estados Unidos nos meados do século XIX, vem sofrendo seleções, com conseqüente melhoria na qualidade dos frutos (ALVARENGA, 2013).

No Brasil, existem relatos que a sua introdução tenha ocorrido pela imigração europeia, principalmente por portugueses e italianos, há mais de um século (ALVARENGA, 2013; FILGUEIRA, 2003).

É uma cultura perene, cultivada como anual, devido a sua larga adaptação climática e de porte arbustivo e ereto. As plantas apresentam um sistema radicular constituído de raiz principal ou pivotante, podendo alcançar 1,5 m de profundidade. O caule é ereto, que dá suporte as folhas que são alternadas, compostas e com um grande folíolo terminal e cerca de 6 a 8 folíolos laterais e herbáceo, suculento e coberto por tricomas que saem da epiderme. As flores do tomateiro são hermafroditas, conferindo à planta a autogamia, com baixa frequência de fecundação cruzada (ALVARENGA, 2013).

O fruto do tomateiro é uma baga, carnosa e suculenta, com aspecto, tamanho e massa fresca variada de acordo com a cultivar. No Brasil, quando maduro, o tomateiro predomina a coloração avermelhada, resultante da combinação de cor de polpa com película amarela. A coloração vermelha deve-se a presença de carotenoide licopeno. A massa fresca do fruto varia de 25g até 400g, com sementes pilosas e envoltas por mucilagem, quando no fruto (FILGUEIRA, 2003).

É de extrema importância na dieta humana, uma vez que, é fonte de carboidratos e proteínas, além de excelentes suprimentos de vitaminas e minerais. Entre os atributos mais importantes relacionados com o tomate, estão o sabor, o aroma, a textura e o valor nutricional, bem como a facilidade no preparo (ALVARENGA, 2013).

A China ocupa a posição de destaque, seguida pela Índia, EUA, Turquia, Iran, Egito, Itália, Rússia, ocupando o Brasil a nona posição dentre os maiores produtores de tomate (FAOSTAT, 2013).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), a área colhida na safra 2014/15 foi de 65.195 ha, e a produção brasileira de aproximadamente 4.294.912 toneladas, sendo os estados de Goiás, São Paulo, Minas Gerais, os maiores produtores de tomate no panorama nacional, com 52% da área total cultivada, correspondendo a 62% da produção nacional.

## 2.2 Nitrogênio (N)

O N encontra-se na atmosfera em 78%, sendo que no solo 98% está na forma orgânica e somente 2% em forma mineral. O  $N_2$  é a principal fonte natural gasosa do elemento para a biosfera, e o N é responsável por 5% da matéria orgânica do solo, fato que faz com que ele seja o nutriente mais exigido pelas plantas (FAQUIN, 2005; MALAVOLTA, 2006), e com maior impacto no desenvolvimento e na produtividade dos produtos agrícolas (MARSCHNER, 2012). Existem duas formas mais importantes do N inorgânico na solução do solo que são: nitrato ( $NO_3^-$ ) e amônio ( $NH_4$ ) (FAQUIN, 2005).

O N nas plantas pode ser absorvido do meio em duas formas: por meio da fixação biológica (FBN) e na forma mineral como  $NH_4$  e  $NO_3^-$ . Estas formas são absorvidas pelas raízes e a maior absorção de uma forma em relação à outra é acompanhada por variações no pH do meio (FAQUIN, 2005), sendo móvel no xilema assim como no floema (MARSCHNER, 2012).

O N faz parte de vários compostos vitais para as plantas, destacando-se os aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofilas, e, conseqüentemente participa de várias reações bioquímicas em plantas e microrganismos. Isso o posiciona, geralmente, como o nutriente mais absorvido pelas plantas cultivadas (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

O tomateiro é uma planta com alta exigência em nutrientes, sendo que os mais absorvidos são os micronutrientes e Fe, Mn, Zn, B, e Cu para os micronutrientes (EMBRAPA, 1994).

Entretanto, Bastos et al. (2013) e Prezotti (2010) relatam que apesar de o tomateiro responder bem as doses elevadas de fertilizantes, os teores e acúmulos de nutrientes na cultura também variam em função da cultivar, estágio de desenvolvimento da cultura, o nível de produção pretendido, temperatura do ar e do solo, luminosidade, época de plantio, umidade relativa, sistema de condução das plantas e espaçamento.

ON no tomateiro é um constituinte de vários compostos, como aminoácidos, as proteínas, a clorofila e as enzimas (BASTOS et al., 2013). Esse nutriente favorece o desenvolvimento foliar, aumentando a capacidade fotossintética da planta, tornando-a mais produtiva. Porém, o

seu uso inadequado pode causar desequilíbrio nutricional na planta, levando a sintomas de deficiência ou de toxidez.

O excesso ocasiona anomalias, como frutos ocos e com podridão-apical, além de tornar os tecidos mais moles e provavelmente mais suscetíveis às doenças fúngicas e bacterianas (FILGUEIRA, 2003), enquanto que sua deficiência as plantas apresentam uma baixa taxa de crescimento, reduzido índice de área foliar, raízes sem ramificações, clorose acentuada e morte prematura das folhas mais velhas (MARSCHNER, 2012).

Almeida (2011), trabalhando com a adubação nitrogenada de tomateiros, concluiu que a necessidade da planta, a produtividade e o tipo de solo a ser cultivado devem ser observados para a recomendação de N, otimizando, assim, os custos de produção e a sustentabilidade ambiental.

Silva et al. (2009), analisando o efeito das doses de dois materiais orgânicos na nutrição do tomateiro, do grupo Santa Cruz, cultivados em vasos com Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, observaram que, entre os macronutrientes o N foi o mais absorvido em relação a K, Ca, S, Mg e P.

Em experimento com a absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido, com uso de duas cultivares distintas, Santa Clara e Híbrido EF-50, Fayad et al. (2002) chegaram à conclusão que o padrão de absorção de nutrientes seguiu o acúmulo na matéria seca, na ordem crescente K, N, Ca, S, P, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn.

O N apresenta uma dinâmica complexa, pelas múltiplas transformações caracterizadas por sete estados de oxidação (FRANCO et al., 2008) e por sua mobilidade no sistema solo-planta, permitindo que os fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo sofrem uma série de transformações químicas e microbianas, que podem resultar em perdas para os vegetais.

O alto custo de fertilizantes nitrogenados desperta interesse em desenvolvimento de técnicas de manejo adequado que possam maximizar o aproveitamento de N pela cultura (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; FRANCO et al., 2008).

Um dos métodos que permite quantificar com maior precisão aproveitamento de N é o uso de uma fonte marcada  $^{15}\text{N}$  (LARA CABEZAS et al., 2000). Franco et al. (2008), avaliando o aproveitamento do N da ureia pela cana-de-açúcar verificaram que o absorvido da ureia representou em média 11,7% do N total acumulado na planta toda.

Silva et al. (2006), trabalhando com o aproveitamento pelo milho do N residual da ureia, da crotalaria e do milheto marcados com  $^{15}\text{N}$ , concluíram que o aproveitamento médio do N

residual da parte aérea do milho e da crotalária pelo milho foi inferior a 3,5 e 3%, respectivamente, da quantidade inicial.

### 2.3 Enxofre (S)

O S do solo tem como fonte primária as rochas ígneas, porém em pequenas proporções como sulfato, ao passo que a atmosfera é considerada a outra fonte de S na forma de SO<sub>2</sub>. No solo, a maior parte do S encontra-se na forma orgânica e a fração mineral é, em geral, reduzida, representando menos de 5% total de S (FAQUIN, 2005).

Assim, o S pode ocorrer tanto em condições aeróbicas e anaeróbicas na forma de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) e sulfetos (S<sup>-2</sup>) respectivamente. Na planta, é absorvido, principalmente, pelas raízes e encontra-se na sua maior parte nas proteínas, sendo que os seus teores nas plantas variam de 0,1 a 0,5% da matéria seca (MARSCHNER, 2012). Nas plantas, o requerimento do S aumenta na ordem: *Poaceae* < *Fabaceae* < *Brassicaceae* e isso reflete no teor de S em suas sementes: 0,18 – 0,19; 0,25-0,30 e 1,1 -1,7 g kg<sup>-1</sup> na matéria seca respectivamente. O S pertence ao grupo dos nutrientes pouco móveis na planta, ele é pouco redistribuído e essa distribuição está ligada a nutrição com N (MARSCHNER, 2012).

De acordo com Epstein e Bloom (2006) os sintomas de deficiência do S aproximam-se aos do N, com clorose (nas folhas mais novas), baixo crescimento e redução no crescimento das raízes (MARSCHNER, 2012).

Rheinheimer et al. (2005) avaliaram a resposta de algumas culturas à aplicação de S e os teores de sulfato num solo com textura superficial arenosa sob plantio direto, concluíram que os teores de sulfato da camada superficial do solo (0-10 cm) não chegaram no nível de suficiência das culturas exigentes, mesmo com a aplicação de 60 kg ha<sup>-1</sup> de S.

Crusciol et al. (2006) observaram que a aplicação de S em cobertura aumenta o teor do elemento nas folhas, a produção de matéria seca da parte aérea, o número de vagens por plantas e a produtividade de grãos do feijoeiro em sistema de plantio direto.

De acordo com Bastos et al. (2013) o S é de suma importância para o tomateiro, já que o mesmo é constituinte de aminoácidos como cistina, cisteína e metionina, e também, proteínas, glicosídeos, vitaminas e coenzimas. Os sintomas de deficiência nesse nutriente em plantas estão relacionados à desordem nas estruturas dos cloroplastos, diminuição da atividade fotossintética e aumento na relação N solúvel/ N proteico.

Prezotti (2010) afirma que apesar de não existirem relatos de deficiência do S no tomateiro, a utilização de forma constante de fertilizantes que não possuem o S em sua composição, a título de exemplo ureia, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio, os seus teores podem ser limitantes no solo. Porém, a demanda do S pelo tomateiro tem sido atendida quando se utilizam fertilizantes que o contenham em sua composição, como os sulfatos e o superfosfato simples.

Silva et al. (2014), avaliando a aplicação de S no desenvolvimento e produtividade do tomateiro sob condições de casa de vegetação, observaram que a produção dos frutos de tomate aumentou em função das doses de S, tendo se obtido aumento de 23 a 34%, e que a massa seca da parte aérea, teve incremento em função do S aplicado no solo.

#### **2.4 Relações Nitrogênio e Enxofre**

Dentre os vários resultados obtidos na relação N e S, Silva e Trevizam (2015) estudando interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas concluíram que é frequente a utilização de um único nutriente, escalonando a dosagem, como forma de encontrar o ótimo que proporcione a maior produtividade, porém, um maior conhecimento dessas interações pode contribuir para a compressão da dinâmica no solo e na planta, e conseqüentemente um aumento da produtividade das culturas.

Considerando a semelhança das rotas metabólica entre o N e o S na planta, desde as formas de absorção até atuação, são fortes as evidências relacionando o contributo de ambos nas culturas, razão que justifica a pesquisa da sinergia dos dois elementos nesta cultura, com enfoque a colheita uma vez que estes nutrientes podem influenciar diretamente na qualidade do produto (MALAVOLTA; MORAIS, 2007).

O N e o S são abundantes constituintes de células de plantas (GIORDANO; RAVEN, 2014) e a relação entre eles tem sido estudada visando correlacioná-la tanto com o crescimento e desenvolvimento de plantas, quanto à produtividade e qualidade do produto colhido. Tanto Bonfim-Silva e Monteiro (2006) quanto Batista e Monteiro (2006), verificaram resultados positivos na produção de gramíneas em função de doses combinadas de N e S.

Sintim et al. (2015), determinaram os efeitos da aplicação quatro níveis N (0, 28, 56, e 112 kg ha<sup>-1</sup>) e dois níveis de S (0 e 25 kg ha<sup>-1</sup>) sobre o teor de crescimento, rendimento, proteína e óleo de semente de camelina (*Camelina sativa L*) uma Brassicaceae oleaginosa para as condições ambientais do norte de Wyoming (EUA). Verificaram que o S não teve efeitos

significativos sobre as respostas medidas, porém o N aplicado até a taxa de 56 kg ha<sup>-1</sup> mostrou uma resposta significativa no aumento dessas respostas exceto sobre o teor de óleo e proteína.

Liu, Feng e Chen (2009) não verificaram interação entre N e S no cultivo da cebolinha chinesa, porém, esta cultura mostrou-se responsiva aos nutrientes tratados de forma isolada.

Wysocki et al. (2013), determinaram o rendimento de sementes camelina (*Camelina sativa L.*) durante 3 anos e a eficiência de uso de N (EUN) em quatro locais de sequeiro no Noroeste do Pacífico (PNW) dos Estados Unidos, aplicando em taxa variável de S, e chegaram à conclusão de que não houve respostas significativas da aplicação do S em qualquer das fases, fato que não afetou a quantidade de óleo na semente quer seja com aplicação de N ou de S.

Chen et al. (2006) avaliaram o efeito de diferentes concentrações de N (5; 10; e 20 mmol L<sup>-1</sup>) e S (0,5; 1 e 2 mmol L<sup>-1</sup>) no rendimento e acúmulo glucosinatos (GSs) na *Brassica Campestris L. ssp chinensis* em hidroponia, e observaram que a melhor interação para o acúmulo de GSs foi proporcionada pela interação maior dose de N e S (20 mmol<sup>-1</sup> e 2 mmol<sup>-1</sup>).

## 2.5 Qualidade Pós-colheita dos frutos de Tomate

Os frutos de tomateiro são sensíveis ao manuseio e sua qualidade é afetada pelo sistema de cultivo e pelas práticas de conservação pós-colheita (MODOLON et al., 2012). Como um fruto climatérico, é recordista em perdas pós-colheita entre os produtos agrícolas devido a sua grande perecibilidade (PAULA et al., 2011).

De acordo com Chitarra e Chitarra (2005) o ponto de colheita referido está diretamente relacionado com a conservação pós-colheita do tomate, sendo que o incorreto manuseio no campo pode interferir na deterioração dos frutos.

Além do ponto de colheita e do manuseio dos frutos, outros fatores podem influenciar na qualidade pós-colheita do tomate, dentre eles, a nutrição da planta, que pode influenciar os níveis de alguns compostos orgânicos nas plantas devido à influência que exercem sobre o processo bioquímico ou fisiológico, como a atividade fotossintética e a taxa de translocação de fotoassimilados (FERREIRA et al., 2006).

A qualidade pós-colheita do tomate é medida por indicadores como aparência, cor, firmeza dos frutos, perda de peso, pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis, nitratos e nitritos, contagem de microrganismos, presença de pesticidas, teores de vitamina C (ANAÇ; ERIUCE; KILINÇ, 1994; CHITARRA; CHITARRA, 2005). Essas características físico-

químicas do tomate variam de acordo com a cultivar, condições de solo, temperatura, irrigação e a fertilização (GIORDANO; SILVA, 2000).

Portanto, o adequado manejo da nutrição influencia diretamente os aspectos de qualidade pós-colheita.

### **2.5.1 Acidez titulável e pH**

De acordo com Hobson e Davies (1971) a acidez de um produto é determinada em função de duas variáveis: pH e acidez titulável. Este último tem como pressuposto detectar o ácido predominante no alimento.

No tomateiro, dentre os principais ácidos encontrados (cítrico, málico e glutâmico), o mais abundante é o ácido cítrico, que corresponde a mais ou menos 90% do total da acidez, que com o avanço da maturação do fruto este tende a decrescer (HOBSON; DAVIES, 1971; THYBO et al., 2006).

### **2.5.2 Sólidos solúveis e relação Sólidos Solúveis e Acidez titulável (SS/AT)**

Segundo Naika et al. (2006) o sabor é o aspecto mais importante para o consumidor no momento de decidir qual tipo de tomate comprar, optando por uma proporção balanceada de açúcar/ácido, uma vez que altos teores de açúcar combinados com baixos teores de ácidos, o saber é muito doce, porém é considerado sem gosto, contrariamente ao combinar altos teores de ácidos e baixos teores de açúcares que o sabor é azedo.

Assim, os sólidos solúveis estão relacionados à capacidade de os frutos importarem e metabolizarem sacarose (HEWITT; DINAR; STEVENS, 1982).

De acordo com Sadker e Murphy (1998) a relação sólidos solúveis e acidez titulável é utilizada como parâmetro de comparação entre frutos de diferentes origens ou variedades, porém esta relação pode ser influenciada pelo clima, fatores genéticos e práticas culturais. Portanto, valores da relação SS/AT considerados ótimos encontram-se acima de 10 (KADER; MORRIS; CHEM, 1978).

### **2.5.3 Firmeza**

A firmeza de fruto é considerada um dos principais atributos de qualidade pós-colheita e no estudo dos eventos moleculares responsáveis pela sua mudança nos frutos. Este pode

exercer um efeito cooperativo sobre outros atributos sensoriais, como cor, sabor e aroma, porém é ainda essencial durante o transporte e comercialização, assim como na capacidade de armazenamento, influenciando desta forma na aceitabilidade, vida de prateleira e na capacidade de resistência ao cisalhamento e ao ataque de insetos, bactérias e fungos (CHITARRA; CHITARRA, 2005; MANRIQUE; LAJOLO, 2004; VILAS BOAS, 1998).

Para Andeuccetti, Ferreira e Tavares (2005) os aspectos intrínsecos ao fruto assim como os que antecedem a colheita do mesmo devem ser considerados quando o assunto é firmeza e qualidade, pois, a cadeia bioquímica, como a composição da parede celular, conteúdo de lipídio, espessura da casca, tamanho e formato, conteúdo de água nas células vegetais, estrutura locular dos frutos e fatores mecânicos contribuem para firmeza do produto.

Resende et al. (2004) afirmam que a firmeza é um fator de qualidade em tomates para o consumo *in natura*, uma vez que indica a tolerância do fruto ao transporte e ao manuseio durante e pós-colheita e a comercialização.

#### **2.5.4 Vitamina C**

A vitamina C é de grande importância devido às propriedades antioxidantes, que contribui para a redução do risco de doenças cardiovasculares e de alguma forma câncer (BOITEUX; MELO; VILELA, 2008).

De acordo com Lisiewska & Kmiecik (1996), Mozafar (1993) e Nagy (1980) o ácido ascórbico é um precursor de vitamina C e tem sido amplamente utilizado para quantificar a vitamina C nos estudos de qualidade de produtos vegetais.

Segundo Bérnard et al. (2009) o N influencia na disponibilidade de seus componentes como, a aplicação de baixas doses de N apresenta efeito positivo sobre a vitamina C e alguns compostos fenólicos, além de interferir também na disponibilidade dos minerais.

#### **2.5.5 Pigmentos carotenoides (Licopeno e Betacaroteno)**

Os frutos de tomate são caracterizados pela sua aparência, que é baseada principalmente na coloração, e é um atributo de qualidade que afeta diretamente a sua aceitação comercial (CAMPOS, 2006; CARVALHO et al., 2005; SANTOS JUNIOR et al., 2003).

Segundo RAO (2002) o pigmento licopeno presente nos frutos do tomateiro, pertence ao subgrupo dos carotenoides não oxidados, cuja característica em estrutura acíclica e simétrica

contendo 11 ligações duplas conjugadas, permite com que o licopeno seja considerado um dos melhores supressores biológicos de radicais livres e potente sequestrador de oxigênio singlet, que apresenta propriedades antioxidantes e anticancerígenas, que podem auxiliar na prevenção de alguns tipos de câncer, como próstata e pulmão, além de doenças cardiovasculares (CANENE-ADAMS et al., 2005; DILLINGHAM; RAO, 2009; FORD; ERDMAN JUNIOR, 2012).

Além do licopeno, os frutos de tomateiro e seus derivados também são uma importante fonte de betacaroteno, que é o principal carotenoide precursor da vitamina A. Este carotenoide possui ação protetora contra câncer e os possíveis mecanismos de proteção por intermédio de sequestro de radicais livres, modulação do metabolismo do carcinoma, inibição da proliferação celular, aumento da diferenciação celular via retinoide, estimulação da comunicação entre as células e aumento da resposta imune (THURNHAM, 2007).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A combinação de doses de N e S a partir de ureia marcada com o isótopo  $^{15}\text{N}$  comprovou a relevância que tem sido apontada em vários estudos com o tomateiro, em virtude da influência do N nesta hortaliça que apresenta uma maior expressão na alimentação.

Os resultados da relação N e S são equiparados aos resultados de pesquisa relatados na literatura, e que nos levam a conhecer os atributos que favorecem a uma maior absorção e acúmulo de N no tomateiro e conseqüentemente no aumento da produção e da qualidade pós-colheita.

Contudo, apesar da limitada pesquisa no tomateiro sobre a interação N e S, pode-se inferir que com auxílio do presente estudo, poderá se criar tópicos interessantes para futuras pesquisas com o intuito de favorecer o maior aproveitamento de N pelo tomateiro em função desta interação.

### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. F. de. Adubação nitrogenada de tomateiros. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 5, p. 25-30, dez. 2011.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate**: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidropônica. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 455 p.

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

ANAÇ, D.; ERIUCE, N.; KILINÇ, R. Effect of N, P, K fertilizer levels on yield and quality properties of processing tomatoes in Turkey. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 376, p. 243-250, 1994.

ANDREUCCETTI, C.; FERREIRA, M. D.; TAVARES, M. Perfil dos compradores de tomate de mesa em supermercados da região de Campinas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, p. 148-153, mar./abr. 2005.

BASTOS, A. R. R. et al. Nutrição mineral e adubação. In: ALVARENGA, M. A. R. (Ed.). **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidropônica**. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 65 p.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Respostas morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com doses combinadas de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 1281-1288, 2006.

BÉNARD, C. et al. Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids, and phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 57, p. 4112-4123, 2009.

BOITEUX, L. S.; MELO, P. C. T.; VILELA, J. V. Tomate para Consumo in natura. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2008. v. 1, p. 557-567.

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre em características produtivas do capim-braquiária proveniente de área de pastagem em degradação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 4, p. 1289-1297, 2006.

CAMPOS, F. M. **Avaliação de práticas de manipulação de hortaliças visando a preservação de vitamina C e carotenóides**. 2006. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Nutrição)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

CANENE-ADAMS, K. et al. The tomato as a functional food. **Journal of Nutrition**, Rockville, v. 135, p. 1226-1230, 2005.

CARVALHO, W. et al. Estimativa indireta de teores de licopeno em frutos de genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 3, p. 819-825, jul./set. 2005.

CHEN, X. J. et al. Effect of Nitrogen and Sulfur Supply on Glucosinolates in *Brassica campestris* ssp. *chinensis*. **Agricultural Sciences in China**, Amsterdam, v. 5, n. 8, p. 603-608, 2006.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: Ed. UFLA, 2005. 320 p.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Aplicação de enxofre em cobertura no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Brangatia**, Campinas, v. 65, n. 3, p. 459-465, 2006.

DILLINGHAM, B. L.; RAO, A. V. Biologically active lycopene in human health. **International Journal of Naturopathic Medicine**, San Francisco, v. 4, p. 23-27, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) para industrialização**. Brasília, DF, 1994. 36 p. (Instruções Técnicas da Embrapa Hortaliças, 12).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. 3. ed., rev. e atual. Brasília, DF, 2013. 353 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas princípios e perspectivas: metabolismo mineral**. 2. ed. Londrina: Ed. Planta, 2006. 393 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: Ed. UFLA/FAEPE, 2005. 175 p.

FAYAD, J. A. et al. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 1, p. 90-94, mar. 2002.

FERREIRA, M. M. M. et al. Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 2, p. 141-145, 2006.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: Solanáceas II, Tomate: a hortaliça cosmopolita**. 2. ed. Viçosa, MG: Campus, 2003. 412 p.

FIORI, M. P. **Comportamento de cultivares de tomateiro quanto à utilização de escórias siderúrgicas em ambiente protegido**. 2006. 54 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade de Marília, Marília, 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Faostat: production crops**. Rome, 2013. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anchor>>. Acesso em: 10 maio 2015.

FORD, N. A.; ERDMAN JUNIOR, J. W. Are lycopene metabolites metabolically active? **Acta Biochimica Polonica**, Warszawa, v. 59, n. 1, p. 1-4, Mar. 2012.

FRANCO, H. C. J. et al. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 2763-2770, 2008.

GIORDANO, L. B.; SILVA, J. B. C. **Tomate para processamento industrial**. Brasília, DF: EMBRAPA Hortaliças, 2000. 168 p.

GIORDANO, M.; RAVEN, J. A. Nitrogen and sulfur assimilation in plants and algae. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 118, n. 1, p. 45-61, Aug. 2014.

HEWITT, J. D.; DINAR, M.; STEVENS, M. A. Sink strength of fruits of two tomato genotypes differing in total fruit solids content. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 107, n. 5, p. 896-900, Oct. 1982.

HOBSON, G. E.; DAVIES, J. N. The tomato. In: HULME, A. C. (Ed.). **The biochemistry of fruits and their products**. London: Academic, 1971. v. 2, chap. 13, p. 437-482.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro, 2014. 458 p.

KADER, A.A.; MORRIS, L.L.; CHEM, P. Evaluation of two objective methods and a subjective rating scale for measuring tomato fruit firmness. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.103, n. 1, p.70-73, Jul. 1978.

LARA CABEZAS, W. A. R. et al. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 363-376, 2000.

LISIEWSKA, Z.; KMIĘCIK, W. Effect of level of nitrogen fertilizer, processing conditions and period of storage for frozen broccoli and cauliflower on vitamin C retention. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 57, p. 267-270, 1996.

LIU, S. et al. Effect of nitrogen and sulfur interaction on growth and pungency of different pseudostem types of Chinese spring onion (*Allium fistulosum* L.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 121, n. 1, p. 12-18, 2009.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 189-238.

MANRIQUE, G. D.; LAJOLO, F. M. Cell-wall polysaccharide modifications during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya*). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 11-26, July 2004.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3<sup>rd</sup> ed. Melbourne: Elsevier, 2012. 651 p.

MODOLON, T. A. et al. Qualidade pós-colheita de frutos de tomateiro submetidos a preparados em altas diluições. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 1, p. 58-63, 2012.

MOZAFAR, A. Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plants: a review. **Journal Plant Nutrition**, Georgia, v. 16, p. 2479-2506, 1993.

NAGY, S. Vitamin C contents of citrus fruit and their products: a review. **Journal Agricultural Food Chemistry**, Washington, v. 28, p. 8-18, 1980.

NAIKA, S. et al. **A cultura do tomate: produção, processamento e comercialização**. Wageningen: CTA, 2006. 104 p.

PAULA, J. T. et al. Qualidade pós-colheita de frutos de tomateiro orgânico, colhidos em diferentes estádios de maturação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 51., 2011, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: ABH, 2011. p. 5182-5189.

PORTO, J. S. **Fontes e doses de nitrogênio na produção e qualidade de tomate híbrido silvety**. 2013. 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2013.

PREZOTTI, L. C. **Nutrição e adubação do tomateiro**. Vitória: INCAPER, 2010. 430 p.

RAO, A. V. Lycopene, tomatoes, and the prevention of coronary heart disease. **Experimental Biology and Medicine**, Thousand Oaks, v. 227, p. 908-913, 2002.

RESENDE, J. M. et al. Atividade de enzimas pectinametilesterase e poligalacturonase durante o amadurecimento de tomates do grupo multilocular. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 206-201, mar./abr. 2004.

RHEINHEIMER, D. D. S. et al. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 562-569, 2005.

SADLER, G. D.; MURPHY, P. A. PH and titratable acidity. In: NIELSEN, S. S. (Ed.). **Food analysis**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Aspen, 1998. p. 99-117.

SANTOS JUNIOR, A. M. et al. Comportamento pós-colheita das características químicas, bioquímicas e físicas de frutos de tomateiros heterozigotos nos locos alcobaça e ripening inhibitor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 4, p. 749-757, jul./ago. 2003.

SILVA, E. C. et al. Utilização do nitrogênio (<sup>15</sup>N) residual de coberturas de solo e da ureia pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 965-974, 2006.

SILVA, J. A. C. D. et al. Nutrição do tomateiro (*lycopersicon esculentum*) em função de doses de fertilizantes orgânicos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, p. 242-253, 2009.

SILVA, M. L. S. et al. Tomato production in function of sulfur doses application. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 7, n. 1, p. 47-54, jan./abr. 2014.

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

SINTIM, H. Y. et al. Influence of nitrogen and sulfur application on camelina performance under dryland conditions. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v. 70, n. 1, p. 253-259, Mar. 2015.

THURNHAM, D. I. Bioequivalence of b-carotene and retinol. **Journal of Science of Food and Agriculture**, London, v.87, n. 1, p. 13-39, Feb. 2007.

THYBO, A. K. et al. Effect of organic growing systems on sensory quality and chemical composition of tomatoes. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 39, n. 8, p. 835-843, Oct. 2006.

VILAS BOAS, E. V. B. **Maturação pós-colheita de híbridos de tomate heterozigotos no loco alcobaça**. 1998. 105 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

WYSOCKI, D. et al. Camelina: seed yield response to applied nitrogen and sulfur. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 145, n. 1, p. 60-66, Feb. 2013.

## SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

### **ARTIGO 1 Interação de nitrogênio e enxofre na nutrição, crescimento e teor de clorofila na cultura do tomateiro**

Matias Siueia Júnior<sup>1</sup>, Maria Ligia de Souza Silva<sup>1</sup>, Anderson Ricardo Trevizam<sup>1</sup>, Valdemar Faquin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras – UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG).

E-mail: siueia.junior@gmail.com, marialigia.silva@dcs.ufla.br, aanrt@hotmail.com,  
vafaquin@dcs.ufla.br

(Artigo previamente submetido para a revista Pesquisa Agropecuária Tropical – Versão preliminar)

#### RESUMO

O conhecimento do comportamento vegetal em relação à absorção de nutrientes permite manusear ou modificar o sistema de cultivo para uma melhor eficiência na utilização de nitrogênio (N). A aplicação de enxofre (S) nas plantas pode estimular o aproveitamento do N, possibilitando que sua absorção, assimilação e conseqüentemente um aumento na produção da cultura. Com base nestes fatos, o objetivo com este estudo foi avaliar o efeito de combinações de doses de N e de S na nutrição, crescimento e teor de clorofila na cultura do tomate (*Solanum lycopersicum* L.). O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se vasos contendo 5 dm<sup>3</sup> de Latossolo Vermelho Distroférrico. O experimento foi instalado em um esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco doses de N (0; 100; 200; 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup>) e três doses de S (0; 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup>), com quatro repetições por tratamento. Os resultados mostraram que o fornecimento de N assim como S contribuíram para o crescimento da cultura do tomate, ocorrendo um incremento na absorção de N resultando em aumento na produção total de frutos,

massa seca da parte aérea, teor e acúmulo de N, índice SPAD e a massa seca dos frutos. As doses de S influenciaram na diminuição da relação N/S, assim como no valor do índice SPAD.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Solanum lycopersicum* L.; índice SPAD; sinergia; tomate.

#### ABSTRACT

Nutrition, growth and chlorophyll content in tomato crop as affected by nitrogen and sulfur interaction

Knowledge of plant behavior in relation to nutrient absorption allows to manage or modify the cropping system for better efficiency nitrogen (N) use. The application of sulfur (S) in the plant stimulates the utilization of N, enabling the absorption, assimilation and hence an increase in crop yield. Based on these facts, the objective of this study was to evaluate the effect of combinations of N and S rates in the nutrition, growth and chlorophyll content in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). The experiment was conducted in a greenhouse using pots containing 5 dm<sup>3</sup> of oxisol. The experiment was conducted in a factorial 5 x 3, five N rates (0, 100, 200, 300 and 400 mg dm<sup>-3</sup>) and three rates of S (0, 60 and 120 mg dm<sup>-3</sup>), four replicates per treatment. The results showed that the supply of N as S contributed to the growth of tomato crop, and there was an increase in the supply of N to the total production of fruit, dry weight of shoot, N content and accumulation of N, SPAD index and the dry weight of the fruit S rates influenced the decrease in N/S ratio, as the value of the SPAD index.

**KEY WORDS:** *Solanum lycopersicum* L; SPAD index; synergy, tomato.

## INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é considerado uma das culturas mais importantes para a humanidade, constituindo-se no alimento básico de quase metade da população mundial (Alvarenga 2013). No Brasil, ocupa lugar de destaque na economia, não somente pelo seu valor econômico, mas também por ser uma atividade geradora de grande número de empregos (Agriannual 2015).

Dentre os vários fatores que limitam a obtenção de alta produtividade e máximo retorno econômico no tomateiro a nutrição nitrogenada tem recebido atenção especial, em decorrência da escassez desse nutriente para as plantas (Ferreira et al. 2010).

Neste sentido, a adubação nitrogenada para a cultura do tomateiro tem um maior efeito sobre a taxa de crescimento e absorção de elementos, e promove um aumento do peso de matéria seca das raízes, do caule, das folhas e dos frutos, altura da planta, o número de folhas, área foliar, o florescimento, a frutificação e a produtividade (Huett & Dettmann 1988; Ferreira et al. 2003; Epstein & Bloom 2006). Porém, o excesso de nitrogênio (N), ou a aplicação do mesmo em época inadequada, pode reduzir a produtividade e a qualidade dos frutos, diminuindo seu valor comercial (Qi et al. 2005, Bastos et al. 2013). Assim, para a obtenção de respostas positivas quanto à aplicação de N no tomateiro, devem ser levadas em consideração as práticas de manejo apropriadas que possibilitem o melhor aproveitamento do N fornecido a planta (Araújo et al. 2007).

O enxofre (S) é reconhecido na literatura como um nutriente-chave no desenvolvimento das culturas, e junto com o N está presente em todas as funções e processos que são parte da vida da planta, da absorção iônica aos papéis do RNA e DNA, inclusive controle hormonal para o crescimento e a diferenciação celular (Malavolta 2006, Epstein & Bloom 2006, Malavolta & Moraes 2007, Marschener 2012, Bastos et al. 2013). A exigência em S e o metabolismo desse nutriente em plantas estão também relacionados à nutrição nitrogenada, pois o metabolismo do

N é fortemente afetado pela concentração de S na planta, uma vez que faz parte de um constituinte principal de aminoácidos (Ceccotti 1996, Malhi et al. 2005, Malhi et al. 2007).

Alguns autores têm estudado o efeito do S em várias culturas, assim como a forte interação entre N e S com vista ao incremento na produtividade (Jamal et al. 2005a, Crusciol et al. 2006, Jamal et al. 2006b, Jamal et al. 2010, Sattar et al. 2011, Orman 2012, Silva et al. 2013b, Silva et al. 2014a). Diante da necessidade de uma melhor compreensão da interação do N e S, foi testada nesse trabalho a hipótese de que adição de S poderia proporcionar um melhor aproveitamento de N fornecido à cultura do tomate, em razão do papel central do S e N na síntese de proteínas, em função das fontes desses nutrientes para as plantas.

Com o presente estudo objetivou-se avaliar o efeito das combinações de doses de N e de S na nutrição, crescimento e no teor de clorofila bem como a influência dessa interação na relação N/S no desenvolvimento da cultura do tomateiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras de Agosto a dezembro de 2015, em vasos com 5 dm<sup>3</sup> de solo, preenchidos com amostras da camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), de textura argilosa (Santos et al. 2013). As análises físicas e químicas do solo foram determinadas conforme Donagema et al. (2011) e Silva (2009) e apresentaram: teor de areia, 160 g kg<sup>-1</sup>; silte, 150 g kg<sup>-1</sup>; argila, 690 g kg<sup>-1</sup>; pH em água, 5,0; Matéria orgânica, 28,7 g kg<sup>-1</sup>; P (Mehlich-1), 1,1 mg dm<sup>-3</sup>; K, 54 mg dm<sup>-3</sup>; Ca, 1,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg, 0,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al, 0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al, 6,3 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>; Soma de Bases, 1,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC efetiva, 2,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC pH 7, 8,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Saturação por bases, 22%; Saturação por Al, 18%; Zn, 0,4 mg dm<sup>-3</sup>; Fe, 28 mgdm<sup>-3</sup>; Mn, 17,5 mg dm<sup>-3</sup>; Cu, 2,5 mg dm<sup>-3</sup>; B, 0,3 mg dm<sup>-3</sup>; S, 11,7 mg dm<sup>-3</sup> e P-rem, 12,9 mg L<sup>-1</sup>.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial  $5 \times 3$ , com cinco doses de N (0, 100, 200, 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup>) na forma de ureia, e três doses de S (0, 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup>) na forma de sulfato de cálcio, com quatro repetições, perfazendo um total de 60 parcelas.

Com base na análise química do solo, foi efetuada a calagem para elevar a saturação por bases a 80%, utilizando-se calcário filler de PRNT = 99,23%. Após incubação do solo por 30 dias, com umidade próxima a 60% do volume total de poros (VTP), as doses de S foram aplicadas ao solo, mediante a incorporação superficial, em uma única aplicação no transplante das mudas. Juntamente com a aplicação dos tratamentos com S, foi realizada a adubação básica de plantio onde foram aplicados 1463 mg dm<sup>-3</sup> de P, 689 mg dm<sup>-3</sup> de K, fornecidos na forma de superfosfato triplo (42% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O).

Em cada vaso foi transplantado uma muda de tomate, cultivar Angelim, do grupo saladete híbrida com hábito de crescimento determinado, ciclo de 120 dias, fruto uniforme, vermelho intenso. A irrigação foi realizada por gotejamento e o seu manejo feito pelo controle de água no solo.

As doses de N foram aplicadas em cobertura, parceladas em quatro aplicações, sendo estas aos 10, 40, 70 e 100 dias após o transplante (DAT). Concomitantemente as doses de N foi aplicado K, em solução, na dose de 75 mg de K. No início da floração plena do tomateiro foi realizada aplicação foliar de boro (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), semanalmente, na concentração de 2 g L<sup>-1</sup>.

Durante a condução do experimento outros tratamentos culturais adotados foram realizados, como a desbrota iniciada aos 20 DAT. As plantas foram tutoradas por meio de estacas de bambu com aproximadamente 1,5 m e amarradas com fita plástica. O controle fitossanitário foi realizado por meio da pulverização de acaricidas e fungicidas quando necessário, segundo as recomendações do manejo integrado de pragas e doenças, para a cultura do tomate.

Ao final do experimento, quando os frutos do tomateiro estavam com coloração vermelha, estes foram colhidos, pesados e secos. Os valores totais de produção foram obtidos ao final do experimento.

Foram determinadas características quantitativas como índice SPAD por meio de medições indiretas dos teores de clorofila nas folhas da planta de tomate aos 100 DAT, com o clorofilometro Minolta SPAD-502, conforme descrito em Blackmere Schepers (1995).

A colheita das plantas foi realizada no final do ciclo. O material vegetal foi cortado, seco em estufa a 65 °C até peso constante (aproximadamente 72h), para quantificação da massa seca da parte aérea (folhas e caule) e dos frutos. Foram realizadas, na parte aérea e nos frutos, análises químicas para determinação dos teores de N e S, de acordo com a metodologia descrita por Silva (2009). A partir dos resultados obtidos calculou-se o acúmulo de N e S na parte aérea e a relação N/S da parte aérea.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, ao teste de média (Scott-Knott) a 5% de probabilidade, e à regressão polinomial com uso do programa R (R development core team 2015). Para normalização dos dados obtidos foi aplicada a equação  $A = (x + 1)^{0.5}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da produção total de frutos (PTF) frescos, a massa seca da parte aérea (MSPA), o teor de N e o acúmulo de N foram influenciados ( $p < 0,05$ ) apenas pelas doses de N. Para o acúmulo do S na planta, houve significância ( $p < 0,05$ ) de doses de S. Já a relação N/S, o índice SPAD e o teor de S foram influenciadas ( $p < 0,05$ ) pelos fatores dose N e de S, sem influência da interação N x S.

A adubação com as doses N proporcionou acréscimo na PTF por vaso, em comparação ao tratamento controle, seguindo ajuste quadrático. A máxima PTF estimada foi de 828 g vaso<sup>-1</sup> obtida com a dose 232 mg dm<sup>-3</sup> de N (Figura 1A). Este fato reforça mais uma vez a ideia de

que o N é essencial para o rendimento da cultura do tomate e que a planta de tomate é bastante exigente, respondendo positivamente as adubações nitrogenadas.

Resultados semelhantes foram observados por Zhang et al. (2010) e Marouelli et al. (2014), ambos em experimento de campo para a cultura de tomate em dois anos de avaliação consecutivos, ambos trabalhos concluíram que os aumentos das doses de N elevaram de forma quadrática a PTF.

Um ponto importante para qual o N deve ter contribuído na maior produção, estaria relacionado à sua importância na nutrição do tomateiro no decorrer do seu ciclo vegetativo, pois a elevação do suprimento de N às plantas causa aumento no seu potencial fotossintético, conseqüentemente maior produção de esqueletos carbônicos nas folhas, aumentando o potencial da fonte, proporcionando maior suprimento ao dreno representado pelos frutos de tomate (Ferreira et al. 2010).

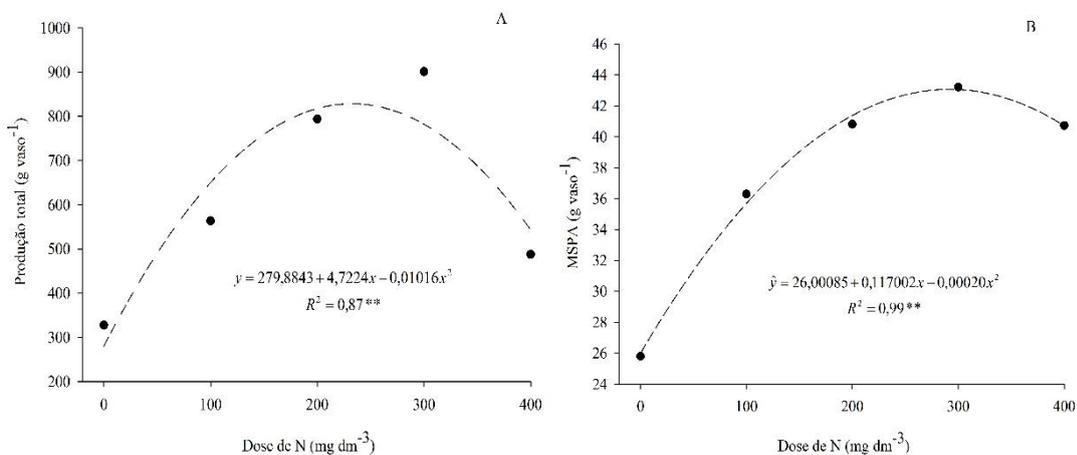


FIGURA 1. Produção total frutos (PTF) (A) e massa seca da parte aérea (MSPA) (B) na cultura do tomateiro submetido às doses de nitrogênio. \*\*:Significativo a 1% pelo teste F.

De acordo com Ferreira et al. (2010) a MSPA é utilizada para avaliar a eficiência da adubação nitrogenada em culturas, pois demonstra o acúmulo de biomassa vegetal em função

da maior produção de aminoácidos e assimilados de carbono da fotossíntese, em razão do ótimo fornecimento e absorção de nitrogênio na planta.

A MSPA apresentou ajuste quadrático em função das doses crescentes de N, alcançando o seu valor máximo na dose de 292 mg dm<sup>-3</sup> de N, que corresponde a 43 g vaso<sup>-1</sup> de MSPA (Figura 1B). A partir dessa dose, foi observada a redução do acúmulo da massa seca. Provavelmente, tenha ocorrido devido a relação fonte-dreno, onde os frutos passaram a acumular gradativamente os nutrientes. Estes resultados estão de acordo com o observado por Gloser & Gloser (2000), Zhang et al. (2010), Borgognone et al. (2013) e Marouelli et al. (2014) que obtiveram o mesmo comportamento em experimentos com tomate avaliados em duas épocas consecutivas, onde concluíram que o aumento das doses de N elevou de forma quadrática a fitomassa seca da planta.

O teor e acúmulo de N na parte aérea (Figura 2A e 2B) foram influenciados pelas doses crescentes de N, e seguiram ajuste linear atingindo valores máximos de 18 g kg<sup>-1</sup> e 785 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente para a dose de 400 mg dm<sup>-3</sup>. Ferreira & Fontes (2011) avaliaram os efeitos de doses de N, em ausência e presença da adubação orgânica sobre os teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na matéria seca do limbo foliar do tomateiro, e verificaram que o aumento das doses de N, tanto na ausência quanto na presença da adubação orgânica aumentou linearmente teores deste elemento.

De acordo com Grandeiro et al. (2005) o N mineral quando absorvido pelas raízes é assimilado para satisfazer as necessidades de compostos nitrogenados da planta que em função do ciclo da cultura, existir uma ligação entre a absorção de N e o crescimento em massa seca da planta.

Estes resultados demonstram a importância da adubação nitrogenada nesta cultura, de forma a maximizar o potencial produtivo de acordo com as quantidades de N aplicado no solo e as fases do seu ciclo vegetativo, uma vez que é constituinte de proteínas e aminoácidos, sem quais as funções vitais para o crescimento e a reprodução de plantas não seria possível.

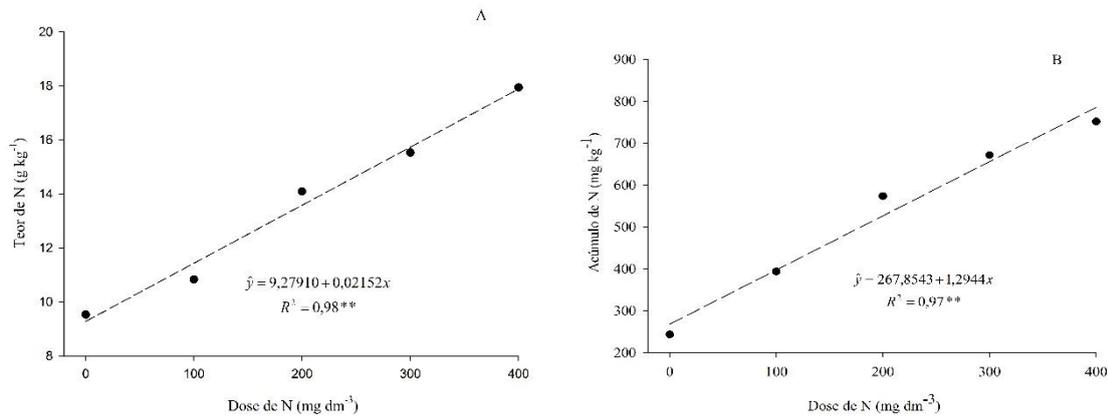


FIGURA 2. Teor (A) e acúmulo (B) de nitrogênio na cultura do tomateiro submetido às doses de nitrogênio e enxofre. \*\*:Significativo a 1% pelo teste F.

O teor de S seguiu tendência quadrática decrescente em função das doses de N (Figura 3), o que corresponde a uma redução de 61% em relação ao tratamento controle. Esta redução provavelmente ocorreu devido ao efeito diluição, uma vez que o acúmulo desse nutriente foi crescente ao longo do ciclo da cultura. Para Jamal et al. (2010) essa redução do teor de S pode estar relacionada com a alteração fisiológica e bioquímica da planta em função da resposta as doses de N.

Artur & Monteiro (2014) avaliaram os efeitos da aplicação de cinco doses de N (0 até 400 mg dm<sup>-3</sup>) e cinco doses de S (0 até 40 mg dm<sup>-3</sup>) sobre os atributos e concentração de nutrientes em capim-Marandu, verificaram que apenas com o suprimento do N houve aumento nas variáveis estudadas e que a falta de respostas ao S foi devido à baixa demanda na fase inicial de desenvolvimento da gramínea, fato que para maximizar as variáveis de resposta nas duas colheitas efetuadas, foi necessário fornecer S na adubação combinado com o N.

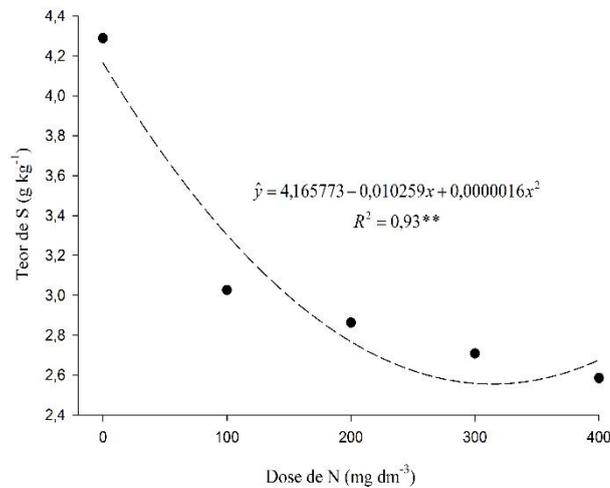


FIGURA 3. Teor de enxofre na cultura do tomateiro submetido às doses de nitrogênio.

\*\* :Significativo a 1% pelo teste F.

Autores como Jamal et al. (2010) e Artur & Monteiro (2014) sugerem que a aplicação de fertilizantes nitrogenados e sulfatados devem ser balanceados de modo a equilibrar a relação com os outros nutrientes e reduzir os custos de produção.

A aplicação do S no solo influenciou de forma significativa o acúmulo de S (Tabela 1), sendo que a dose 0 mg dm<sup>-3</sup> foi inferior as doses de 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup> que não diferiram entre si. Em relação às doses de 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup>, pode-se inferir que elas já não tinham como interferir na absorção pela planta pelo fato desta ter atingido a sua máxima absorção. Resultados semelhantes foram encontrados por Prado et al. (2011) e Silva et al. (2014). Entretanto os resultados encontrados são opostos aos observados por Silva et al. (2001), onde avaliaram a absorção de nutrientes e a produção de tomateiro no sistema podado e adensado, sob diferentes doses de gesso, nitrogenados e fosfatos, num sistema de produção convencional.

A relação N/S apresentou comportamento linear em função das doses crescentes de N (Figura 4). Já quando aplicadas as doses de S, verificou-se que a dose 0 mg dm<sup>-3</sup> foi superior as doses de 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup> que não difeririam entre si, verificando redução de 8,7 para 4,4

(Tabela 1). Os resultados obtidos neste estudo mostram que a relação N/S foi afetada pelas doses de S.

TABELA 1. Valores médios do teor de S ( $\text{g kg}^{-1}$ ), acúmulo de S ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), relação N/S e índice SPAD em tomateiro cv. Angelim, em função das doses de enxofre aplicadas no solo.

Tratamento	Teor de S ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Acúmulo S ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	N/S	SPAD
0	2,05b	74,39b	8,72a	58,19a
60	3,47a	125,67a	4,49b	52,63b
120	3,76a	132,78a	4,62b	54,19b

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 5%

Orman (2012), avaliando os efeitos do S elementar e esterco de animais sobre as variáveis do solo como o pH do solo, a relação N/S sobre a matéria seca do tomate cultivado em solo argiloso, verificou que a relação N/S foi reduzida em função do S de forma isolada, porém a possível existência do S contido no esterco fez com que a relação N/S não fosse afetada.

A literatura demonstra a importância da relação N/S para a nutrição das plantas, sobretudo quando são aplicadas altas doses de S. Altas doses de S podem ocasionar redução do rendimento, sendo que uma ótima relação N/S da disponibilidade de N e de S no solo está estimada em 7:1. Silva et al. (2014) trabalhando em Guarapuava- PR, constaram que a relação N/S na parte aérea do tomateiro diminuiu em função das doses de S, com valores variando de 2,1 a 3,1.

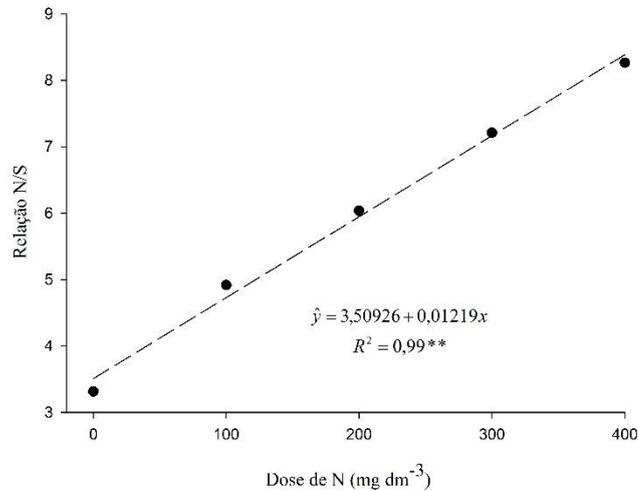


FIGURA 4. Relação N/S na cultura do tomateiro submetido às doses de nitrogênio.

\*\* :Significativo a 1% pelo teste F.

Crusciol et al. (2006) avaliaram a influência de quatro níveis de S sobre a cultura do feijão e observaram que a relação N/S reduziu em função das doses de S, entretanto a faixa da relação N/S considerada ideal para a cultura foi de 25,5.

Os resultados da análise de variância apontam para diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em relação às diferentes doses de N e também com relação às doses de S, sobre as leituras SPAD no limbo foliar medidas aos 100 DAT, mas não mostra interação entre os fatores dose de N e S.

Para o fator dose de N, foi ajustado uma equação quadrática (Figura 5A) no qual esses índices aumentaram até um máximo de 60 do índice SPAD o que corresponde a dose de 264 mg dm<sup>-3</sup> de N e a partir dessa dose ocorreu um decréscimo no valor do índice SPAD. Este decréscimo no teor de clorofila em decorrer do ciclo da cultura provavelmente foi proporcional ao decréscimo da capacidade fotossintética das plantas, oriundo da diminuição no teor da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), a proteína mais amplamente

distribuída no reino vegetal, nas folhas, e não à sua atividade específica (atividade por unidade de proteína solúvel).

Os resultados encontrados neste estudo estão próximos dos valores da unidade de SPAD de 48 a 52 sem adição de matéria orgânica do solo e de 49 a 51 com adição (Ferreira et al. 2006), 57 a 58 (Reis et al. 2013), 58,05 (Porto et al. 2014).

Em relação ao S, o tratamento controle apresentou um desempenho superior em relação às doses 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup>, no índice SPAD conforme os resultados da Tabela 1. Portanto, estes valores são contrastantes em relação aos resultados obtidos em pesquisas que demonstram que a aplicação de S apresenta maior efeito sobre esse índice, devido ao aumento da atividade fotossintética em função do ordenamento das estruturas dos cloroplastos (Malavolta 2006, Bastos et al. 2013).

A massa seca do fruto (MSF) foi influenciada pelo fator isolado dose de N e pela interação entre os fatores dose de N e S. Os tratamentos com 120 mg dm<sup>-3</sup> de S (Figura 5) apresentaram um ajuste quadrático em função das doses de N até um máximo de 7 g planta<sup>-1</sup>, o que corresponde a dose de 225 mg dm<sup>-3</sup>, ao contrário das doses 0 e 60 mg dm<sup>-3</sup> de S que não apresentaram nenhum ajuste polinomial. As doses de N para máxima produção total dos frutos (Figura 1A) foram próximas àquelas para a máxima produção da massa seca do fruto (Figura 5B), indicando que os fornecimentos de doses muito elevadas de N não causaram aumento na produção.

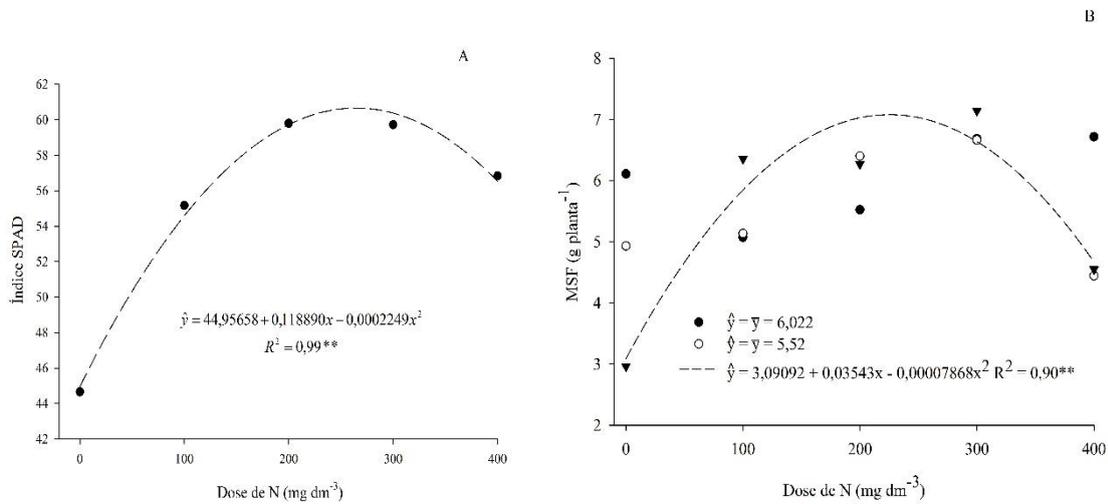


FIGURA 5. Índice SPAD (A) e massa seca do fruto (B) (MSF) na cultura do tomateiro submetido às doses de nitrogênio. \*\*:Significativo a 1% pelo teste F.

Os resultados encontrados estão de acordo com os obtidos por Ferreira et al. (2003) em experimento com tomate avaliando respostas do tomateiro às doses de N, conjuntamente com a adubação orgânica.

A relação N/S e o Índice SPAD apresentaram correlação positiva, obtendo ajuste quadrático, com o valor máximo de Índice SPAD estimado em 60, o que corresponderia a uma relação N/S de 6 (Figura 6). Os resultados demonstram que a relação N/S está diretamente relacionada com o metabolismo da planta, sendo que as alterações nas concentrações de N e S podem alterar significativamente a fisiologia da planta podendo comprometer o desenvolvimento da planta ou a sua produtividade.

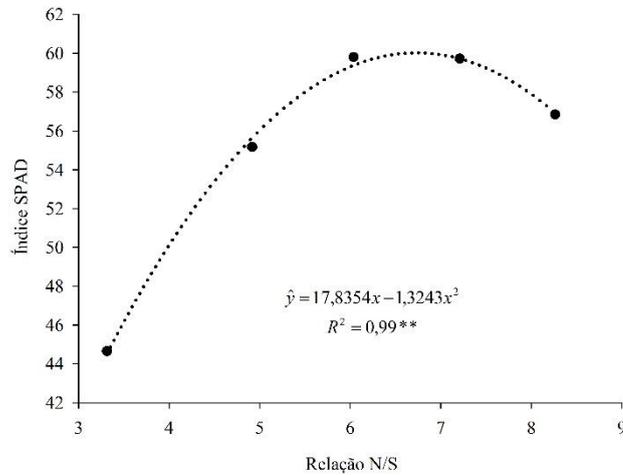


FIGURA 6. Correlação entre a relação N/S e o Índice SPAD na cultura do tomateiro submetido às doses de nitrogênio e enxofre. \*\*:Significativo a 1% pelo teste F.

### CONCLUSÕES

A produção total, massa seca da parte aérea, teor de N e acúmulo de N não foi influenciada pela interação do N com S, mas aumentaram em função das doses de N.

O acúmulo de S foi apenas influenciado pela adição do elemento.

A relação N/S e o índice SPAD aumentaram com o fornecimento de N.

Houve efeito da interação entre N e S, na produção da massa seca do fruto.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG, a CAPES e ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa e pela concessão de bolsas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIA

ALVARENGA, M. A. R. *Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidropônica*. Lavras: UFLA, 2013. 455p.

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA – *AGRIANUAL*. São Paulo: FNP, 2015. 497p.

ARAÚJO C. et al. Critérios para a determinação da dose de nitrogênio a ser aplicada no tomateiro em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, v. 25, p. 327-332, 2007.

ARTUR, A. G.; MONTEIRO, F. A. Marandu palisadegrass growth and nutrient accumulation as affect by nitrogen and sulfur fertilizations. *Australian Journal of Crop Science*, v. 8, n.3, p. 422-429, 2014.

BASTOS, A. R. R. et al. Nutrição mineral e adubação. In: ALVARENGA, M. A. R. *Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidropônica*. Lavas: UFLA, 2013. 65p.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 25, n. 09/10, p. 1791-1800, 1995.

BORGOGNONE, D. et al. Effect of nitrogen for mandnutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. *Scientia Horticulturae*, v. 149, p. 61-69, 2013.

CECCOTTI, S.P. Plant nutrient sulphur - A review of nutrient balance, environmental impact and fertilizers. *Fertility Research and Practice*, v. 43, p. 117–125, 1996.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Aplicação de enxofre em cobertura no feijoeiro em sistema de plantio direto. *Bragantia*, v.65, n.3, p.459-465, 2006.

DONAGEMMA, G. K. et al. *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. *Nutrição mineral de plantas princípios e perspectivas: Metabolismo mineral*. 2ª edição, Londrina – PR, 2006.p. 209-244.

FERREIRA M. M. M. et al. Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. *Revista Ceres*. v.53, n. 305, p. 83-92, 2006.

- FERREIRA, M. M. M.; FONTES, P.C.R. Índices de nitrogênio nas folhas de tomateiro em função do nitrogênio e da adubação orgânica. *Revista Agro@ambiente On-line*, v. 5, n. 2, p.106-112, 2011.
- FERREIRA, M. M. M. et al. Eficiência da adubação nitrogenada do tomateiro em duas épocas de cultivo. *Revista Ceres*, v. 57, n. 2, p. 263-273, 2010.
- FERREIRA, M. M. M. et al. Produção do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas épocas de cultivo. *Horticultura Brasileira*, v. 21, n. 3, p. 468-473, 2003.
- GRANGEIRO, L. C. et al. Acúmulo e exportação de nutrientes pelo cultivar de melancia Mickylee. *Caatinga*, v. 18, n. 2, p. 73-81, 2005.
- HUETT, D. O.; DETTMANN, E. B. Effect of nitrogen on growth, fruit quality and nutrient uptake of tomatoes grown in sand culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 28, p. 391-399, 1988.
- JAMAL A. et al. Effect of sulphur and nitrogen application on growth characteristics, seed and oil yield of soybean cultivars. *Korean Journal Crop Science*, v. 50, n. 5, p. 340-345, 2005.
- JAMAL A. et al. Effect of nitrogen and sulphur application on nitrate reductase and ATP-sulphurylase activities in Soybean. *Korean Journal Crop Science*, v. 51, n. 4, p. 298-302, 2006.
- JAMAL, A.; MOON, Y.S.; ABDIN, M.Z. Sulphur - a general overview and interaction with nitrogen. *Australian Journal of Crop Science*, v.4, n.7, p.523-529, 2010.
- MALAVOLTA, E. & MORAES, M.F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. & VITTI, G.C. (Ed) *Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira*. IPNI: Piracicaba, 2007. p.189-238.
- MALAVOLTA, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

- MALHI, S. S. et al. Yield, seed quality and sulfur uptake of *Brassica* oil seed crops in response to sulfur fertilization. *Agronomy Journal*, v.99, p. 570–577, 2007.
- MALHI, S.S. et al. A review of sulfur fertilizer management for optimum yield and quality of canola in the Canadian Great Plains. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 85, p. 297–307, 2005.
- MAROUELLI W.A. et al. Evaluation of sources, doses and application schedules of nitrogen on drip-irrigated tomato. *Horticultura Brasileira*, v. 32, p. 327-335, 2014.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 3 ed. Australia: Elsevier, 2012. 651p.
- ORMAN, Ş. Effects of elemental sulphur and farmyard manure application to calcareous saline clay loam soil on growth and some nutrient concentrations of tomato plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v.10, n.2, p.720-725, 2012.
- PORTO, J.S. et al. Índice SPAD e crescimento do tomateiro em função de diferentes fontes e doses de nitrogênio. *Scientia Plena*, v. 10, p. 1-8, 2014.
- PRADO, R.M. et al. Crescimento e marcha de absorção de nutrientes em tomateiro cultivar Raísa cultivado em sistema hidropônico. *Semina*, v.32, n.1, p.19-30, 2011.
- QI, H.Y. et al. Effects of different nitrogen and potassium levels on yield, quality and sucrose metabolism of tomato. *Chinese Agricultural*, v. 21, p. 251-255, 2005.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM - RDCT. R: *A language and environment statistical computing*. Vienna, R Foundation for Statistical Computing, 2015.
- REIS, J.S. et al. Determinação de zonas de manejo para adubação nitrogenada em lavoura de tomate industrial. *Revista Agrotecnologia*, v. 4, n. 2, p. 68 - 84, 2013.
- SANTOS, H. G. et al. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306 p.
- SATTAR, A. et al. Interactive effect of sulphur and nitrogen on growth, yield and quality of canola. *Crop Environment*, v. 2: p. 32-37, 2011.

SILVA, E.C.; MIRANDA, J.R.P.; ALVARENGA, M.A.R. Concentração de nutrientes e produção do tomateiro podado e adensado em função do uso de fósforo, de gesso e de fontes de nitrogênio. *Horticultura Brasileira*, v. 19, n. 1, p. 64-69, 2001.

SILVA, F. C. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, M. L. S.; PICCOLO, M. C.; TREVIZAM, A. R.; Gypsum as a source of sulfur for strawberry crops. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 4, p. 1683-1694, 2013.

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

ZHANG T.Q. et al. Yield and economic assessments of fertilizer nitrogen and phosphorus for processing tomato with drip fertigation. *Agronomy Journal*, v. 102, p. 774-780, 2010.

17 - Solos e nutrição de plantas

17.16 - Nutrição Mineral de Plantas

## **ARTIGO 2 Qualidade pós-colheita de tomate em função da interação nitrogênio e enxofre<sup>1</sup>**

(Artigo previamente submetido para a Revista Ceres – Versão preliminar)

*Matias Siueia Júnior<sup>2\*</sup>, Maria Ligia de Souza Silva<sup>2</sup>, Valdemar Faquin<sup>2</sup>,  
Anderson Ricardo Trevizam<sup>2</sup>, Deivisson Ferreira da Silva<sup>3</sup>*

**RESUMO-** O nitrogênio (N) e o enxofre (S) são nutrientes, que além de influenciar no crescimento e produção de várias espécies vegetais, inclusive o tomate, interferem também em aspectos relacionados à qualidade pós-colheita. Em função desses fatos, objetivou-se avaliar a interação N e S na qualidade pós-colheita de frutos do tomateiro. O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se vasos de 5 dm<sup>3</sup> onde foram acondicionadas amostras da camada 0-20 cm de um Latossolo Vermelho distroférico. Utilizou-se esquema fatorial 5 x 3, com combinações de cinco doses de N (0; 100; 200; 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup>) e de três doses de S (0; 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup>), as quais foram distribuídas segundo delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Após a colheita foram avaliados os atributos da qualidade do fruto: firmeza, pH, sólidos solúveis, acidez titulável a relação SS/AT, vitamina C, licopeno e

---

<sup>1</sup> Este trabalho é parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo, Lavras, Minas Gerais, Brasil. siueia.junior@gmail.com; marialigia.silva@dcs.ufla.br; vafaquin@dcs.ufla.br; aanrt@hotmail.com

<sup>3</sup>Instituto Federal Catarinense, Campus Araquari. Araquari, Santa Catarina, Brasil. deivisson.silva@ifc-araquari.edu.br

\*Autor de correspondência: siueia.junior@gmail.com

betacaroteno. Houve incremento da firmeza, bem como o °Brix, acidez titulável e a relação SS/AT dos frutos de tomate em função da interação N e S. Em contrapartida, essa interação proporcionou redução para os teores de vitamina C, licopeno e betacaroteno, apesar de não alterar as características de qualidade de fruto do tomateiro em relação aos valores recomendados. Somente as doses crescentes de N proporcionaram maior valor de pH em frutos de tomate.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum* L; sólidos solúveis; acidez titulável; qualidade físico-químico

## **ABSTRACT**

### **Postharvest Quality of tomato as affected by nitrogen and sulfur interaction**

Nitrogen (N) and sulfur (S) are nutrients that besides influencing the growth and production of various plant species, including vegetables, in this case the tomato, also affect aspects related to post-harvest quality. Given to these facts, the objective was to evaluate the interactions between of N and S in the postharvest quality of tomato fruits. The experiment was conducted in a greenhouse using 5 dm<sup>3</sup> pots where samples of the 0-20 cm layer from an Oxisol were placed. We used a factorial scheme 5 x 3, with combinations of five N rates (0, 100, 200, 300 and 400 mg dm<sup>-3</sup>) and three rates of S (0, 60 and 120 mg dm<sup>-3</sup>). Nutrients were distributed according to a completely randomized design with four replications. After harvesting we evaluated quality attributes of the fruit: firmness, titratable acidity, pH, soluble solids, SS/AT ratio, vitamin C, lycopene and β-carotene. There was an increase of firmness and the Brix, titratable acidity and SS/TA ratio of tomato fruits due to the interaction between N and S. However, this interaction

decreased the levels of vitamin C, lycopene and betacarotene, it did not change the tomato fruit quality traits in relation to the recommended values. Only increasing rates of N provided higher pH in tomato fruits.

**Key words:** *Solanum lycopersicum* L; soluble solids; titratable acidity; physical and chemical quality.

## INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é considerado uma das hortaliças mais cultivadas no mundo (FAOSTAT, 2013). O Brasil é o nono maior produtor mundial de tomate de mesa, com produção de 4,4 milhões de toneladas plantadas numa área de 65.178 mil hectares (FAOSTAT, 2013; AGRIANUAL, 2015). De acordo com Carrijo *et al.* (2004) a crescente demanda por esta hortícola tem proporcionado muitos investimentos em novos sistemas de cultivo que permitiram produção adaptada a diferentes regiões e condições adversas de ambiente.

A adubação é considerada um dos fatores mais importantes para maximizar a produção de tomate, visto que esta hortaliça é muito exigente em termos de nutrição (Bastos *et al.*, 2013), principalmente por fertilizantes nitrogenados e sulfatados, que incrementam a produtividade e qualidade do fruto (Vitti *et al.*, 2006).

As aplicações de fertilizantes nitrogenados aumentaram de forma considerável nos últimos anos. Para a produção tradicional de tomate em campo, estima-se que a faixa ótima da dose de N seja de 110 a 150 kg ha<sup>-1</sup> (Malavolta, 1981; Qi *et al.*, 2005), ao contrário do S, que não se encontra uma faixa de recomendação na literatura para esta cultura.

A adubação nitrogenada aumenta a concentração de alguns compostos voláteis, acidez titulável, açúcares solúveis e sólidos solúveis, no entanto, diminui a firmeza dos frutos de tomate (Christou *et al.*, 1999), enquanto que a aplicação do S aumenta a concentração do licopeno e a produção (Zelená *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2014). Nas plantas, o N se encontra na forma de proteínas, e o S é constituinte de dois aminoácidos essenciais, cisteína e metionina. Em caso de deficiência destes elementos, haverá diminuição da produção desses aminoácidos e as proteínas que os contêm não serão formadas, permitindo que o metabolismo das plantas seja alterado de acordo com a forma de N combinada com o S na adubação (Epstein & Bloom 2006; Malavolta, 2006; Vitti *et al.*, 2006).

No entanto, N, assim como o S, pode apresentar sinergismo e de certa forma influenciar a produção, maturação e qualidade dos frutos (Malavolta & Moraes, 2007).

Dentro desse contexto, Silva *et al.* (2014) verificaram que a relação N/S diminui com aplicação do S no tomateiro, referindo ainda que é importante o equilíbrio entre o N e S, pois doses mais altas de um nutriente pode levar à menor disponibilidade do outro para as plantas, prejudicando o crescimento, rendimento e a qualidade pós colheita da cultura.

Devido à escassez de estudos sobre adubação sulfatada no tomateiro, com o presente trabalho objetivou-se avaliar a interação do N e S na qualidade de frutos do tomateiro.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação no período de julho a dezembro de 2015 no Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal

de Lavras, Lavras-MG (latitude 21° 14' 43 Sul e longitude 44° 59' 59 Oeste, e altitude de 919 m), tendo o clima, segundo a classificação climática de Köppen, classificado como subtropical, do tipo Cwa, (Dantas *et al.*, 2007).

O experimento foi conduzido em vasos contendo 5 dm<sup>-3</sup> de solo, preenchidos com amostras da camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf), de textura argilosa segundo classificação de Santos *et al.* (2013). As análises físicas e químicas do solo foram determinadas de acordo com Donagema *et al.* (2011) e Silva (2009), sendo: areia, 160 g kg<sup>-1</sup>; silte, 150 g kg<sup>-1</sup>; argila, 690 g kg<sup>-1</sup>; pH em água, 5,0; MOS, 28,7 g kg<sup>-1</sup>; P (Mehlich1), 1,1 mg dm<sup>-3</sup>; K, 54 mg dm<sup>-3</sup>; Ca, 1,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg, 0,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Al, 0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al, 6,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB, 1,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC efetiva, 2,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC a pH 7, 8,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Saturação por bases, 22%; Zn, 0,4 mg dm<sup>-3</sup>; Fe, 28,0 mg dm<sup>-3</sup>; Mn, 17,5 mg dm<sup>-3</sup>; Cu, 2,5 mg dm<sup>-3</sup>; B, 0,3 mg dm<sup>-3</sup>; S, 11,7 mg dm<sup>-3</sup>; P-rem, 12,9 mg L<sup>-1</sup>.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 × 5, correspondendo a três doses de S (0; 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup>) na forma de sulfato de cálcio (gesso agrícola) e cinco doses de N (0; 100; 200; 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup>) na forma de ureia, com quatro repetições, perfazendo um total de 60 parcelas.

Com base na análise química do solo, foi efetuada a calagem para elevar a saturação por bases a 80%, utilizando-se calcário filler (PRNT = 99%). Após incubação do solo por 30 dias, com umidade próxima a 60% do volume total de poros (VTP), realizou-se adubação de base com a aplicação das doses de S, conforme os tratamentos, via solo em uma única aplicação, e de 1463mg dm<sup>-3</sup> de P, na forma de superfosfato triplo, e 689,65 mg dm<sup>-3</sup> de K, na forma de cloreto de potássio. Cada vaso recebeu uma muda de tomate, cultivar Angelim, do grupo saladete híbrida com hábito de crescimento

determinado. As doses de N foram aplicadas em cobertura, parcelada em quatro vezes sendo aos 10, 40, 70, e 100 dias após o transplante (DAT), na forma de solução. Conjuntamente as doses de N, foram aplicados 75 mg de K por vaso. Aplicou-se via folha, a partir do início da floração, solução contendo 2 g L<sup>-1</sup> de B quinzenalmente, na forma de ácido bórico. Outro elemento aplicado foi o Ca na concentração de 6 g L<sup>-1</sup>, na forma de cloreto de cálcio.

As plantas foram tutoradas por meio de estacas com aproximadamente 1,5 m de altura e as plantas amarradas com fitilhos. A partir dos 20 DAT foi realizada desbrota semanalmente, para a condução de uma única haste. A irrigação foi realizada por gotejamento e o seu manejo foi realizado pelo controle do teor de água no solo. O controle fitossanitário foi realizado por meio da pulverização de acaricidas e fungicidas quando necessário, segundo as recomendações do manejo integrado de pragas e doenças para a cultura do tomate.

A colheita dos frutos foi feita de forma manual, semanalmente a partir dos 120 dias após o plantio, no estágio *breaker*, caracterizado pela quebra do estágio verde dos frutos com o aparecimento de manchas levemente amareladas ou avermelhadas na região da cicatriz estilar. Os frutos foram acondicionados em sacolas plásticas sendo colhidos ao longo do ciclo produtivo e acondicionados em câmara fria.

Ao final do experimento os frutos foram determinados em relação: a) a firmeza com auxílio de um penetrômetro manual (modelo Mc-Cormik) em dois pontos equidistantes na porção equatorial de cada fruto, obtendo-se os valores em Newton (N), antes do congelamento; b) teor de sólidos solúveis (SS), o qual foi obtido pela leitura direta em refratômetro de bancada (marca Optech modelo RMT), utilizando polpa homogeneizada e filtrada, à temperatura ambiente, obtendo-se os valores em °Brix; c) a

acidez titulável (AT), determinada pelo método titulométrico, conforme descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (Ial, 2005); d) relação SS/AT obtida pela razão entre os sólidos solúveis e acidez titulável; f) pH da polpa com pHmetro (marca TECNAL); g) teor de licopeno e betacaroteno, obtido por análise espectrofotométrica de acordo com a metodologia descrita em Rodriguez-Amaya (2001) e h) teor de vitamina C, obtido pelo método colorimétrico utilizando-se 2,4-dinitrofenilidrazina (Strohecher & Henning, 1967) e os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico  $100\text{g}^{-1}$ .

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. Constatada a significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os modelos foram ajustados com base na significância dos parâmetros, no coeficiente de determinação. As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software R 3.2.1 (Rdct, 2015).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os valores da firmeza (F), acidez titulável (ATT), sólidos solúveis (SS), a relação SS/ATT, vitamina C, licopeno e betacaroteno foram influenciados ( $p < 0,05$ ) pela interação das doses de N x S. Em relação aos valores de pH, estes foram influenciados ( $p < 0,05$ ) somente pelos fatores isolados dose de N e S.

Para firmeza, a interação entre as doses de N e S (Figura 1), verificou-se que as doses 0, 60 e  $120 \text{ mg dm}^{-3}$  de S se ajustaram à regressão quadrática com os pontos máximos estimados em 13; 10; e 11N, respectivamente. Possivelmente, o N tenha contribuído para maior firmeza nos frutos até o nível ótimo, e depois foi verificado decréscimo.

Segundo Cantwell (2004), os valores encontrados no presente estudo se classificam como sendo moderadamente macio, uma vez que se enquadram na faixa de 10 a 15N, nos quais são considerados frutos firmes por suportar o transporte no pós-colheita. Heeb *et al.* (2005) e Warner *et al.* (2004) verificaram que as diferentes taxas e formas de N na qualidade comercial do fruto do tomateiro não diferiram estatisticamente, sendo que o valor máximo de firmeza obtido foi de 6,9 kg cm<sup>-2</sup>.

Moreno *et al.* (2014), avaliando o incremento de doses de N em baixo nível de deficiência e alto nível de toxicidade e de como afetam na qualidade pós-colheita em duas variedades de tomate, observaram que acima da dose do tratamento ideal (30mM), houve redução da firmeza do fruto na ordem de 25 a 31,9% para ambas variedades, em consequência do alto nível de toxicidade, correspondendo ao que foi verificado neste estudo.

O teor de sólidos solúveis apresentou ajuste linear crescente para a dose 0 mg dm<sup>-3</sup> de S, variando o valor °Brix de 3,5 a 4,2, e a dose de 60 mg dm<sup>-3</sup> S se ajustou a regressão quadrática decrescente, com o ponto mínimo de °Brix estimado em 3,6 em função das doses de N (Figura 2). Já a dose de 120 mg dm<sup>-3</sup> não teve ajuste polinomial, porém a sua média geral de °Brix foi de 3,9. Os sólidos solúveis são o principal componente responsável pelo sabor do fruto, sendo que é influenciado pela adubação, temperatura, irrigação e a característica genética do cultivar, fatos estes que poderão ter contribuído para atingir essa média.

Estes valores estão de acordo com os observados por Monteiro *et al.* (2008) quando avaliaram o nível nutricional no tomate italiano usado no processamento industrial, porém são opostos aos observados por Marouelli *et al.* (2014) e Bérnard *et al.* (2009) que obtiveram valor médio de °Brix de 4,6 em função da redução das doses de N.

Autores como Heeb *et al.* (2005) obtiveram valores elevados em função do fornecimento de N na forma de  $\text{NH}_4^+$ , enquanto que Anaç *et al.* (1994) usando sulfato de amônio verificaram aumento dos valores de °Brix em função das doses de N até uma taxa máxima de  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

No trabalho desenvolvido por Ferreira *et al.* (2006), avaliando efeito de doses de N e da adubação orgânica na qualidade de frutos do tomateiro, encontraram valores médios de °Brix de 3,93, que não alteraram em função do aumento das doses de N, como verificado com o presente trabalho.

Os sólidos solúveis conferem sabor ao fruto em função dos teores de açúcares, porém, as variações nesse teor são esperadas em função do genótipo e diversos fatores que influenciam na capacidade de importar os assimilados fotossintéticos pelo fruto. Portanto, a utilização de cultivares em que pode se garantir a existência dessa característica são de fundamental importância de modo que se permita uma maior aceitabilidade por parte do consumidor.

A acidez titulável no fruto do tomateiro apresentou ajuste quadrático decrescente para as doses 0 e  $120 \text{ mg dm}^{-3}$  de S, atingindo mínimo de 0,26 e 0,25%, correspondendo as doses 203 e  $168 \text{ mg dm}^{-3}$  de N (Figura 3A). Já em relação à dose  $60 \text{ mg dm}^{-3}$  de S teve ajuste linear em função das doses crescentes de N, atingindo valor máximo de AT na faixa de 0,32% correspondendo a dose de  $400 \text{ mg dm}^{-3}$  de N. Os valores encontrados neste estudo, são considerados baixos comparando com os valores obtidos por Monteiro *et al.* (2008) com a mesma variedade, onde variam de 0,35% para tomate sem semente e 0,39% para tomate com semente e com casca. Assim, como se obteve 0,36% para a variedade Débora plus (Borguini, 2002), 0,37% para o híbrido Débora (Carvalho *et al.*, 2005) e 0,38% para cv. Santa Clara (Ferreira *et al.*, 2006).

Porém, resultados semelhantes ao presente estudo foram observados por Wang *et al.* (2007), Bérnard *et al.* (2009) e Kuscu *et al.* (2014), onde constataram aumento significativo na acidez titulável em função das doses de N aplicadas, contrastando com os autores anteriores, apesar de Singh *et al.* (2000) e Ravinder *et al.* (2001) afirmarem que a fertilização nitrogenada pode afetar a acidez titulável dos frutos do tomateiro.

O valor de pH na polpa do tomate aumentou de forma quadrática com o incremento das doses de N até a dose estimada de  $223 \text{ mg dm}^{-3}$  de N, correspondendo ao valor máximo de 4,26 (Figura 3B), enquanto que as doses de S não deferiram estatisticamente, apresentando uma média geral de 4. Estes resultados estão de acordo com os observados por Giordano & Silva (2000) onde foi considerada a faixa ótima para o tomate de 3 a 4, e Anç *et al.* (1994) em torno de 4, porém inferior a 4 encontrado por Ferreira *et al.* (2006). De acordo com Monteiro *et al.* (2008) valores de pH inferiores a 4, faixa considerada ácida para o tomate, é importante, pois evita a proliferação de microrganismos e diminui o período de esterilização da matéria prima.

Para Porto *et al.* (2014), os valores de pH obtidos no presente estudo podem estar associados ao maior acúmulo de solutos minerais na polpa dos frutos de tomate, o que ocasionou o consumo dos ácidos orgânicos na assimilação de N, devido à presença de  $\text{NH}_4^+$ .

A Figura 4 apresenta a relação SS/AT na polpa do fruto do tomateiro, onde demonstra que para as doses 0 e  $120 \text{ mg dm}^{-3}$  de S os dados se ajustaram a uma regressão quadrática crescente com o ponto máximo estimado em 246 e  $157 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente, correspondendo a uma relação SS/AT de 14,6 e 14,8 respectivamente. A dose de  $60 \text{ mg dm}^{-3}$  de S apresentou relação SS/AT na ordem de 14,7. Os valores da

relação SS/AT obtidos no presente estudo são considerados bons, uma vez que estão acima de 10, de acordo com o estipulado por Kader *et al.* (1978).

Autores como Schwarz *et al.* (2013) e Barankevicz *et al.* (2015) encontraram valores semelhantes aos supracitados, o que permiti inferir que esta relação pode ser influenciada pela AT, uma vez que a redução desses valores, possibilitaram o aumento dessa relação, em função das doses de N.

Os teores de vitamina C não se ajustaram a regressão polinomial nas doses de 0 e 120 mg dm<sup>-3</sup> de S, apresentando assim uma média geral de 42 e 37 mg 100g<sup>-1</sup> de ácido ascórbico, respectivamente, em função das doses crescentes de N. Em relação a dose de 60 mg dm<sup>-3</sup> de S neste tratamento obteve-se comportamento quadrático em função das doses de N, com incremento máximo de 48 mg 100g<sup>-1</sup> de ácido ascórbico na dose de 84 mg dm<sup>-3</sup> de N, decrescendo posteriormente. Possivelmente tenha sido influenciado pelo N, uma vez que o mesmo interfere na disponibilidade de seus componentes, apresentando efeito positivo sobre a vitamina C e alguns compostos fenólicos em baixas aplicações, além de interferir na disponibilidade dos minerais.

Estes resultados estão de acordo com Simonne *et al.* (2007) e Bérnard *et al.* (2009) que observaram redução no teor de vitamina C em função do aumento do fornecimento de N. Souza *et al.* (2010), avaliando a aplicação da água residuária da suinicultura após filtragem no tomateiro, obtiveram teor de vitamina C variando de 15 e 22 mg 100g<sup>-1</sup>.

De acordo com Sampaio & Fontes (1988) os teores de vitamina C no fruto do tomateiro variam de 7,2 a 45,6 mg 100g<sup>-1</sup> de ácido ascórbico. Desta forma, os teores de vitamina C encontrados neste estudo estão de acordo com os autores.

Os frutos de tomate apresentaram concentração de licopeno nas doses 0 e 60 mg dm<sup>-3</sup> de S que não tiveram ajuste polinomial, apresentando a média geral de 37 e 42 µg g<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>, respectivamente. Já na dose de 120 mg dm<sup>-3</sup> de S se ajustou à regressão quadrática decrescente com o ponto mínimo estimado em 32 µg g<sup>-1</sup>, correspondente a dose de 181 mg dm<sup>-3</sup> de N. Estes resultados estão de acordo com os verificados por Kuscu *et al.* (2014) onde verificaram decréscimo da concentração de licopeno em função do fornecimento de N.

Segundo Carvalho *et al.* (2005) a concentração do licopeno no tomate está relacionada com a melhor percepção visual dos produtos, em função do atributo de qualidade que afeta diretamente a sua aceitação comercial, além de possuir propriedades antioxidantes.

A interação de doses de N e S apresentaram nos frutos de tomate uma concentração de betacaroteno nas doses 0 e 60 mg dm<sup>-3</sup> de S que não tiveram ajuste polinomial, apresentando a média geral de 32 e 41 µg g<sup>-1</sup>, respectivamente. Já a dose de 120 mg dm<sup>-3</sup> de S se ajustou à regressão quadrática decrescente com o ponto mínimo estimado em 32 µg g<sup>-1</sup>, correspondente a dose de 181 mg dm<sup>-3</sup> de N. Foi observada para a concentração do licopeno e tanto para a concentração do betacaroteno que as doses de 0 e 60 mg dm<sup>-3</sup> não influenciaram as variáveis analisadas, contrapondo com dose de 120 mg dm<sup>-3</sup>, que em função das doses crescentes de N, apresentou redução de 79% na concentração do betacaroteno.

## CONCLUSÕES

A interação entre as doses de N e S influenciaram positivamente as variáveis firmeza do fruto, sólidos solúveis, acidez titulável e a relação SS/AT, porém negativamente para o teor de vitamina C, licopeno e betacaroteno apesar não alterar as características de qualidade de fruto do tomateiro em relação aos valores recomendados.

O pH apenas foi influenciado pelas doses crescentes de N, atingindo máximo de 4,2 que resultou em frutos com grau de acidez recomendável.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a FAPEMIG, a CAPES e ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa e pela concessão de bolsas.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA**

- Agriannual (2014). Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio. 482p.
- Anaç D, Eriuce N & Kiliç, R (1994). Effect of N, P, K fertilizer levels on yield and quality properties of processing tomatoes in Turkey. *Acta Horticulturae*, 376:243-250.
- Barankevicz GB, Novello D, Resende JTV, Schwarz K & Santos EF (2015) Características físicas e químicas da polpa de híbridos de tomateiro, durante o armazenamento congelado. *Horticultura Brasileira* 33: 007-011.
- Bastos ARR, Alvarenga MAR, Carvalho JG & Pinho PJ (2013) Nutrição mineral e adubação. In: Alvarenga MAR Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidropônica. Lavras: UFLA, 65p.
- Bénard C, Gautier H, Bourgaud F, Grasselly D, Navez B, Caris-veyrat C, Weiss M & Génard M (2009) Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids, and phenolic compounds. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 57:4112–4123.

Borguini RG (2002) Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Orgânico: o conteúdo nutricional e a opinião do consumidor. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 110p.

Cantwell M (2004) Fresh-cut vegetables: Postharvest Horticulture. Series n. 10, Davis, USA: University of California, p. 78-85.

Carrijo OA, Vidal MC, Reis NVB, Souza RB & Makishima N (2004) Produtividade do tomateiro em diferentes substratos e modelos de casas de vegetação. Revista Horticultura Brasileira, Brasília, 22:5-9.

Carvalho W, Fonseca MEN, Silva HR, Boiteux LS & Giordano LB (2005) Estimativa indireta de teores de licopeno em frutos de genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. Horticultura Brasileira, Brasília, 232:819-825.

Christou M, Dumas Y, Dimirkou A, & Vassiliou Z (1999) Nutrient Uptake by Processing Tomato in Greece. Acta Horticulturae, 487:219-223.

Epstein E & Bloom AJ (2006) Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. 2<sup>a</sup> ed. Londrina, Editora Planta. 403 p.

FAO. Faostat (2013): Production crops. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor> > Acesso em: Maio de 2016.

Ferreira MMM, Ferreira GB, Fontes PCR & Dantas JP (2006) Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. Horticultura Brasileira, 24:141-145.

Moreno NF, Albelardo NB, Ramona PL, Ana CGF, Adriana HR, Loreto RH (2014) Effect of nitrogen deficiency and toxicity in two varieties of tomatoes (*Lycopersicum esculentum* L.). *Agricultural Sciences*, 5:1361-1368.

Giordano LB & Silva JBC (2000) *Tomate para processamento industrial*. Brasília, EMBRAPA/Hortaliças. 168p.

Heeb A, Lundegardh B, Ericsson T & Savage GP (2005) Effects of nitrate-, ammonium-, and organic-nitrogen-based fertilizer on growth and yield of tomatoes. *Journal Plant Nutrition. Soil Science*, 168:123-129.

Heeb A, Lundegardh B, Ericsson T, Savage GP (2005) Nitrogen form affects yield and taste of tomatoes. *Journal Science Food Agricultural*, 85:1405–1414.

Kader AA, Morris LL & Chem P (1978) Evaluation of two objective methods and a subjective rating scale for measuring tomato fruit firmness. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 103:70-73.

Kuscu H, Turhan A, Ozmen N, Aydinol P & Demir AO (2014) Optimizing levels of water and nitrogen applied through drip irrigation for yield, quality, and water productivity of 28 processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 55:103-114.

Malavolta E. & Moraes MF (2007) Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: Yamada T, Abdalla SRS & Vitti GC (Ed) *Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira*. Piracicaba, IPNI. p.189-238.

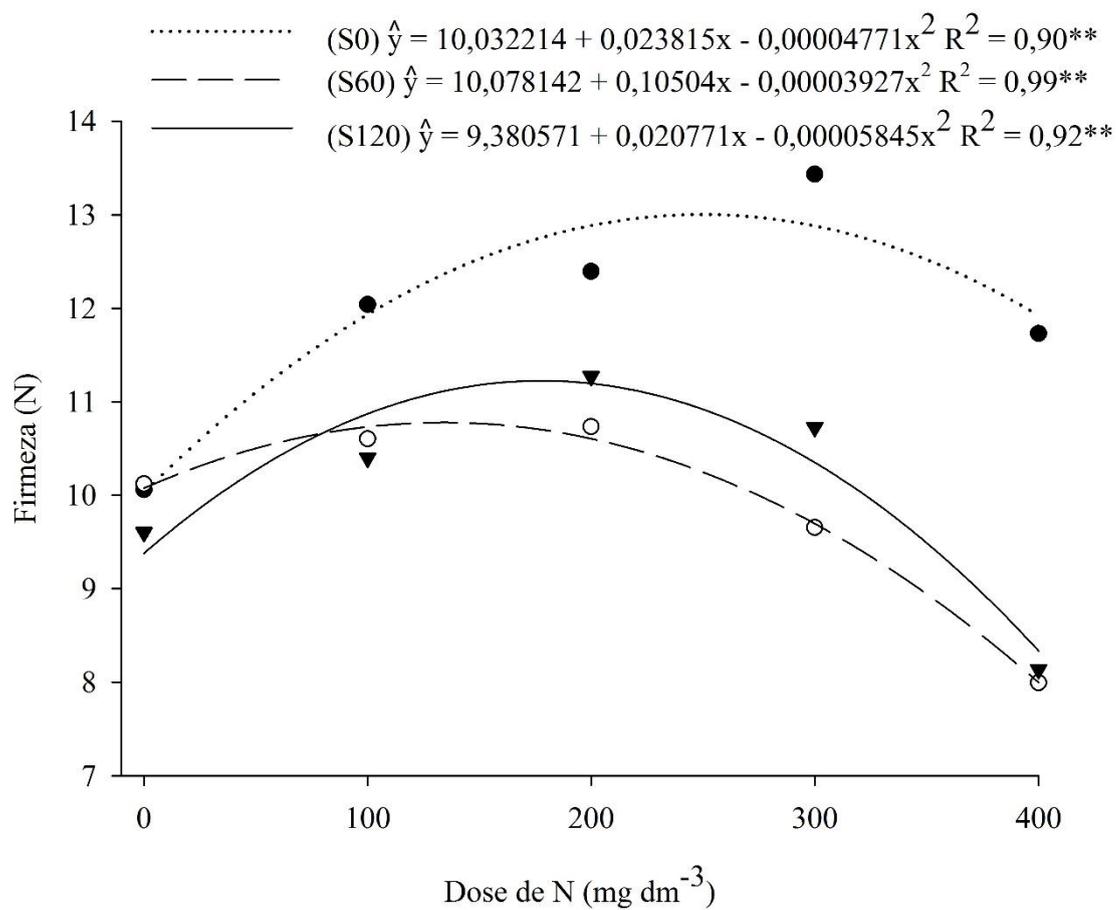
Malavolta E (2006) *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 638p.

Malavolta E (1981) *Manual de química agrícola: adubos e adubação*. 596p.

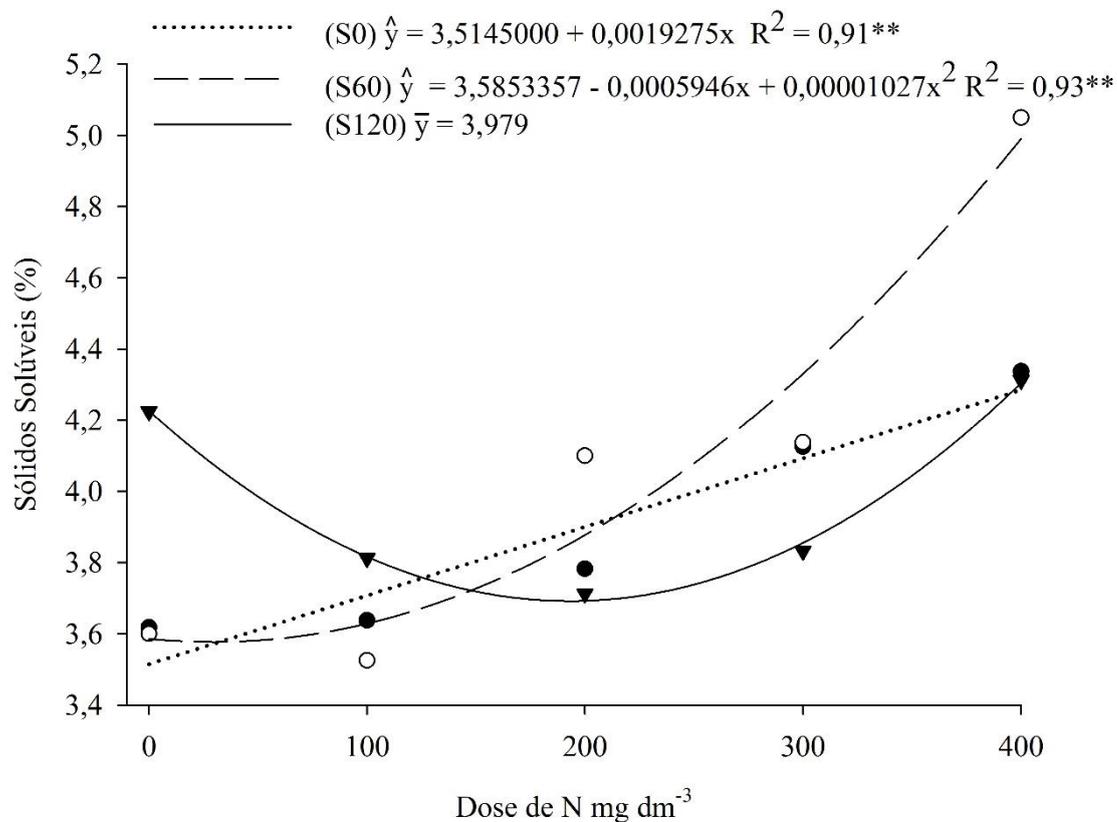
- Marouelli WA, Souza RB, Braga MB & Silva WLC (2014) Evaluation of sources, doses and application schedules of nitrogen on drip-irrigated tomato. *Horticultura Brasileira*, 32:327-335.
- Monteiro CS, Balbi ME, Miguel OG, Penteado PTPS & Haracemiv AMC (2008) Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. *Alimentos e Nutrição*, 19:25-31.
- Porto JS, Amorim TNH, Rebouças TNH, Lemos OL, Luz JMQ & Costa RQ (2014) Índice SPAD e crescimento do tomateiro em função de diferentes fontes e doses de nitrogênio. *Scientia Plena*, 10:1-8.
- Qi HY, Li TL, Zhou X, & Fu HD (2005) Effects of Different Nitrogen and Potassium Levels on Yield, Quality and Sucrose Metabolism of Tomato. *Chinese Agricultural*, 21:251-255.
- R development core team (2015) R: A language and environment for statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: [www.r-project.org](http://www.r-project.org), Acessado em: 06 de Junho de 2016.
- Ravinder S, Kohli UK, Kanwar HS & Singh R (2001) Tomato fruit quality as influenced by different nutrient regimes. *Himachal Journal of Agricultural Research*, 25:37-42.
- Sampaio RA, Fontes PCR (1988) Qualidade de frutos de tomateiro fertirrigado com potássio em solo coberto com polietileno preto. *Horticultura Brasileira*, 16:136-139.
- Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Oliveira JB, Coelho MR, Lumberras JF & Cunha TJF (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 306 p.

- Schwarz K, Resende JTV, Preczenhak AP, Paula JT, Faria MV & Dias DM (2013) Desempenho agrônômico e qualidade físico-química de híbridos de tomateiro em cultivo rasteiro. *Horticultura Brasileira*, 31:410-418.
- Silva MLS, Trevizam AR, Piccolo MC & Furlan G (2014) Tomato production in function of sulfur doses application. *Pesquisa aplicada & Agrotecnologia*, 7:47-54.
- Simonne AH, Fuzer JM, Simonne E, Hochmuth RC & Marshall MR (2007) Effects of nitrogen rates on chemical composition of yellow grape tomato grown in a subtropical climate. *Journal Plant Nutrition*, 30:927–935.
- Singh AK, Sharma JP & Singh RK (2000) Effect of variety and level of nitrogen on fruit quality of tomato hybrid (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Research-Birsa Agricultural University*, 12:205-208.
- Souza JAR & Moreira DA (2010) Avaliação de frutos de tomate de mesa produzidos com efluente do tratamento preliminar da água residuária da suinocultura. *Engenharia Ambiental*, 7:152-165.
- Strohecker RL & Henning HM (1967) Analisis de vitaminas: métodos comprovados. Madri, Paz Montalvo. 428p.
- Vitti GC, Lima E & Cicarone F (2006) Cálcio, magnésio e enxofre In: Fernandes MS (Ed.) *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, SBCS. p.299-326.
- Wang YT, Huang SW, Liu RL & Jin JY (2007) Effects of nitrogen application on flavor compounds of cherry tomato fruits. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170: 461-468.
- Warner J, Zhang TQ & Hao X (2004) Effects of nitrogen fertilization on fruit yield and quality of processing tomatoes. *Canadian Journal of Plant Science*, 24:865-861.

Zelená E, Holasová M, Zelený F, Fiedlerová V, Novotná P, Landfel A & Houška M  
(2009) Effect of sulphur fertilization on lycopene content and colour of tomato fruits.  
Czech Journal of Food Sciences, 29:80-84.

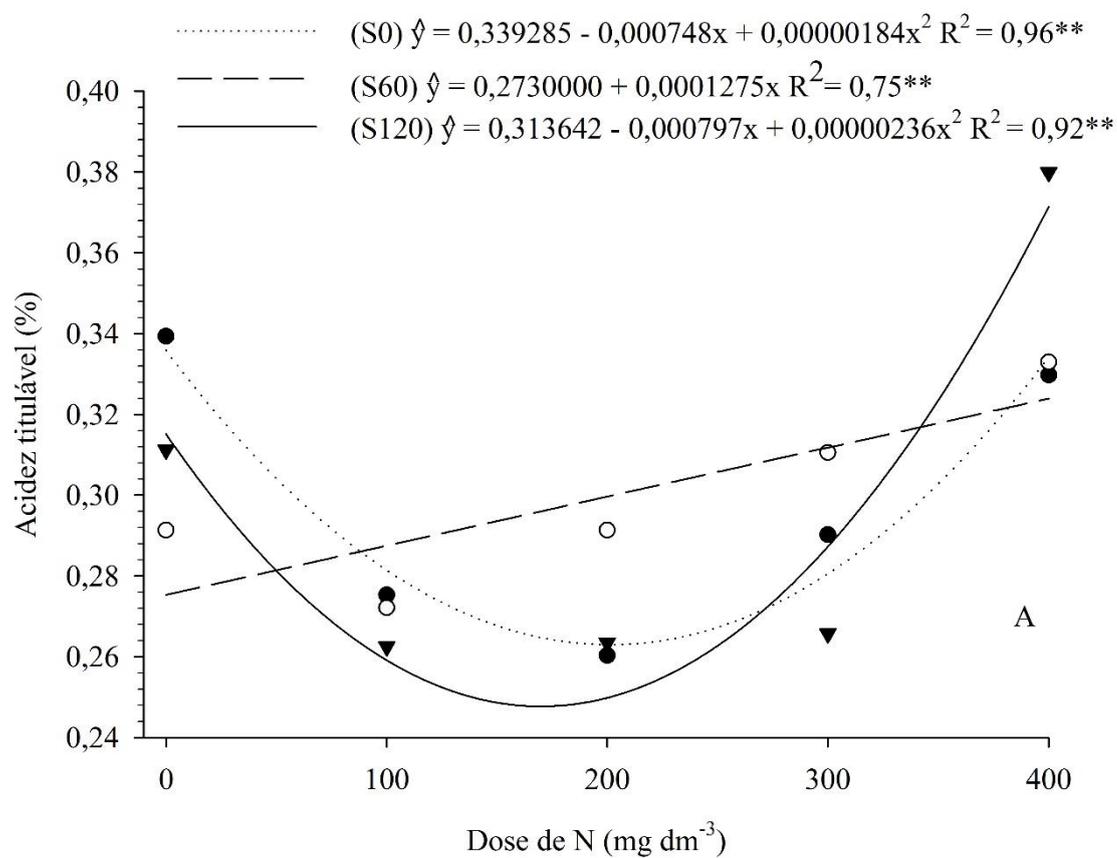


**Figura 1.** Firmeza em frutos de tomate submetido às doses de nitrogênio e enxofre. S0: Dose 0 mg dm<sup>-3</sup>; S60: Dose 60 mg dm<sup>-3</sup>; S120: Dose 120 mg dm<sup>-3</sup>. \*\*:Significativo a 1% pelo teste F.



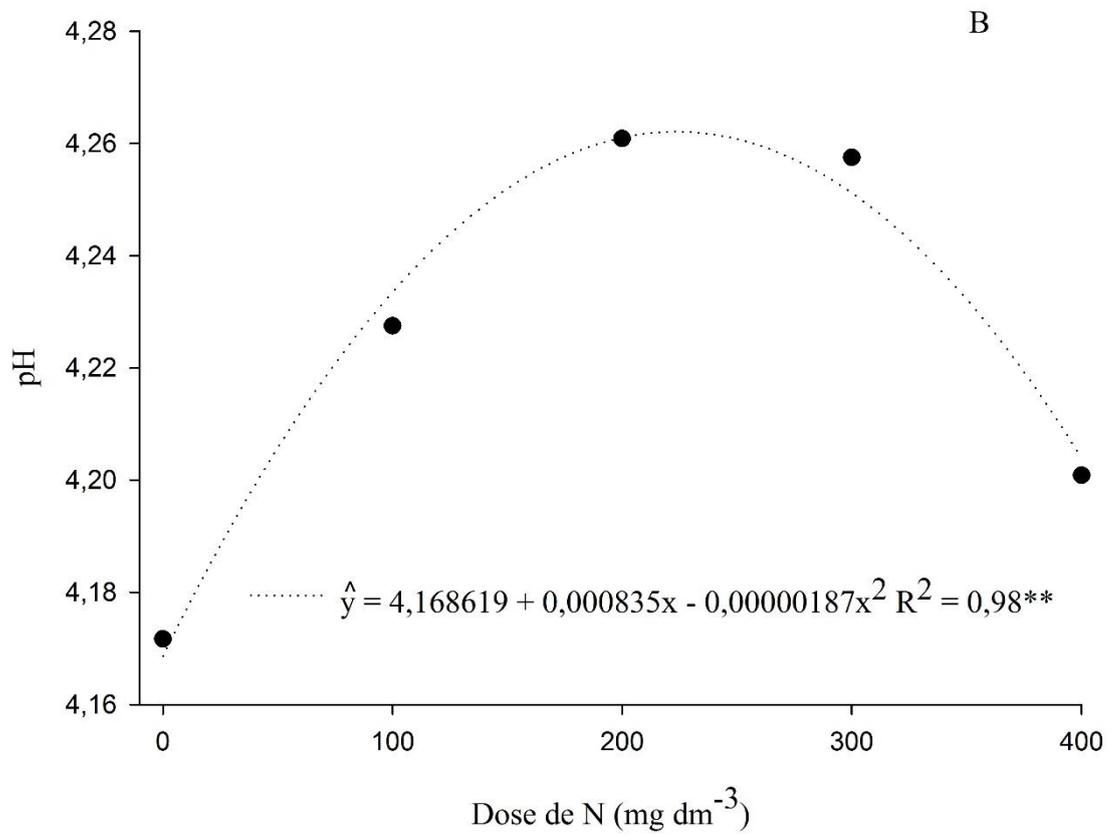
**Figura 2.** Sólidos solúveis em frutos de tomate submetido às doses de nitrogênio e enxofre. S0: Dose 0 mg dm<sup>-3</sup>; S60: Dose 60 mg dm<sup>-3</sup>; S120: Dose 120 mg dm<sup>-3</sup>.

\*\* :Significativo a 1% pelo teste F. Lavras – MG, 2015.

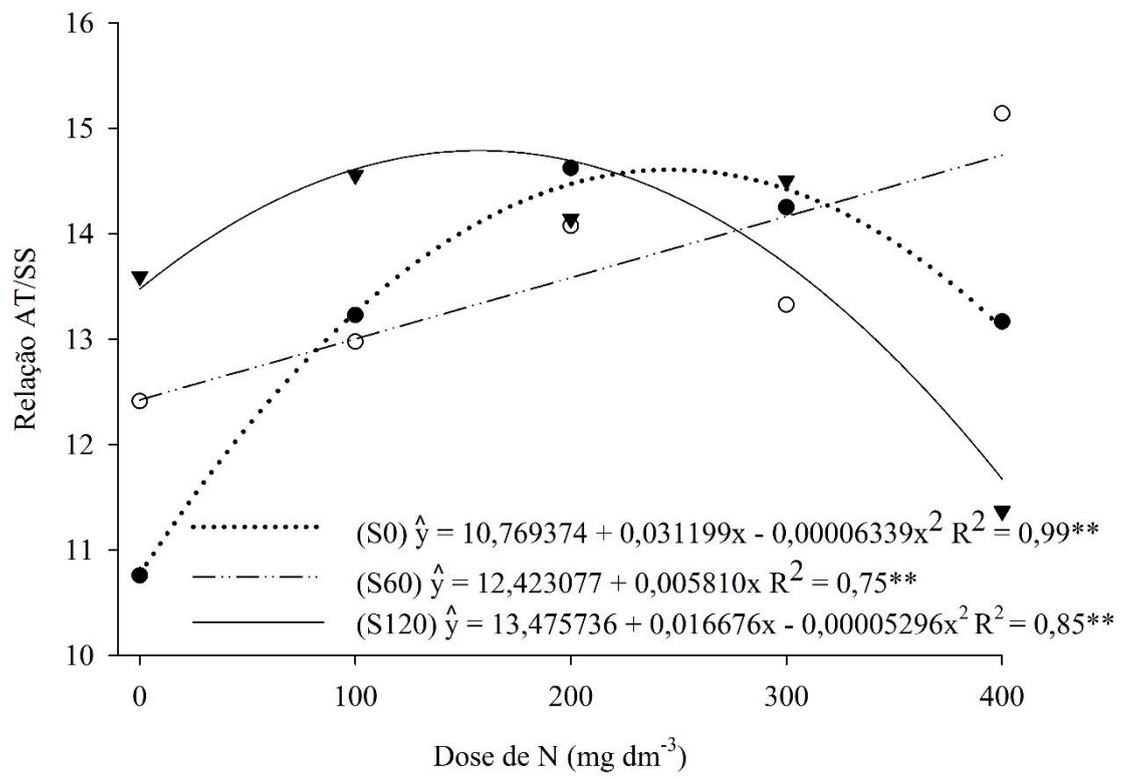


**Figura 3.** Acidez titulável (A) em frutos de tomate submetido às doses de nitrogênio e enxofre. S0: Dose 0 mg dm<sup>-3</sup>; S60: Dose 60 mg dm<sup>-3</sup>; S120: Dose 120 mg dm<sup>-3</sup>.

\*\* :Significativo a 1% pelo teste F. Lavras – MG, 2015.

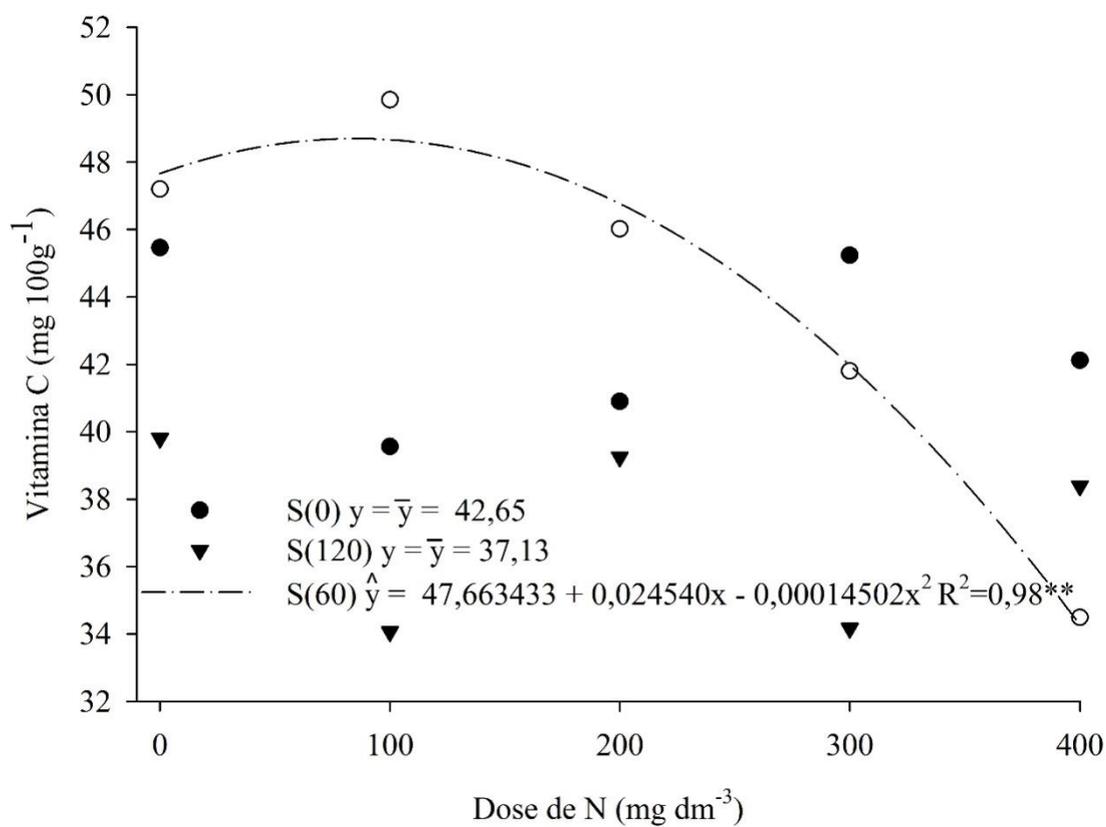


**Figura 3.** pH (B) em frutos de tomate submetido às doses de nitrogênio e enxofre. S0: Dose 0 mg dm<sup>-3</sup>; S60: Dose 60 mg dm<sup>-3</sup>; S120: Dose 120 mg dm<sup>-3</sup>. \*\*:Significativo a 1% pelo teste F. Lavras – MG, 2015.



**Figura 4.** Relação SS/AT em frutos de tomate submetido às doses de nitrogênio e enxofre. S0: Dose 0 mg dm<sup>-3</sup>; S60: Dose 60 mg dm<sup>-3</sup>; S120: Dose 120 mg dm<sup>-3</sup>.

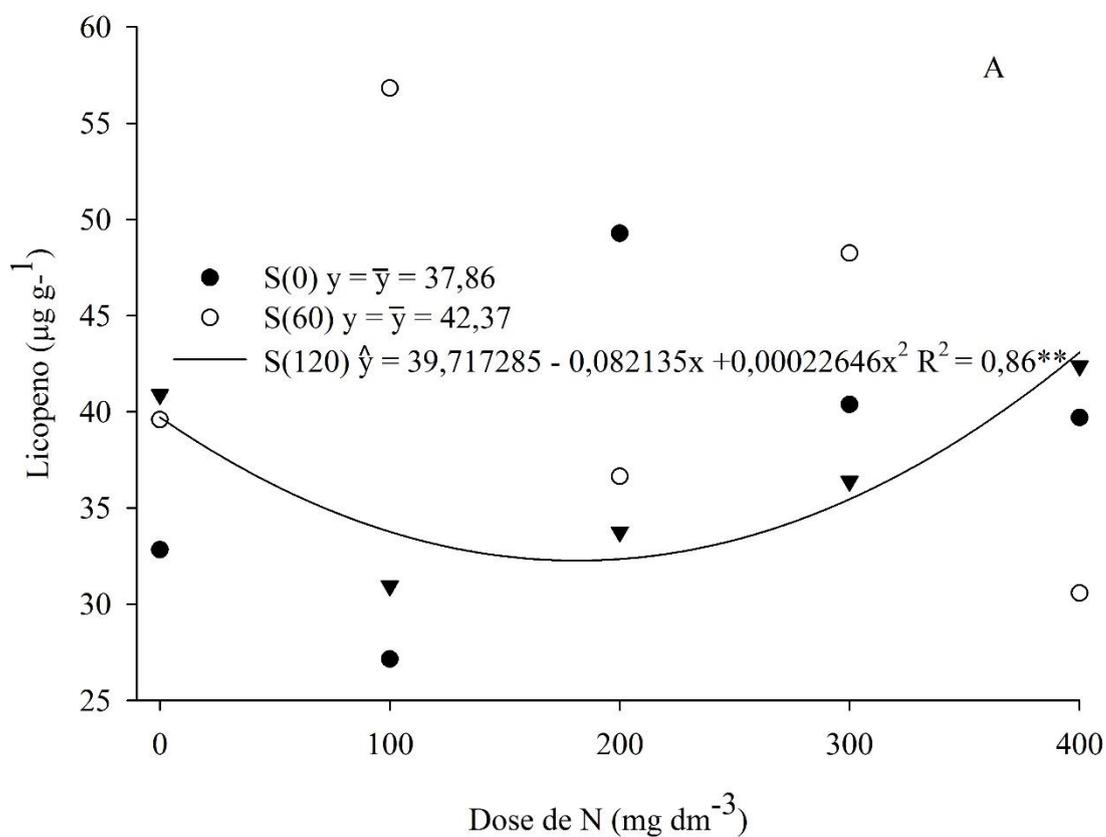
\*\* :Significativo a 1% pelo teste F. Lavras – MG, 2015.



**Figura 5.** Vitamina C em frutos de tomate submetido às doses de nitrogênio e enxofre.

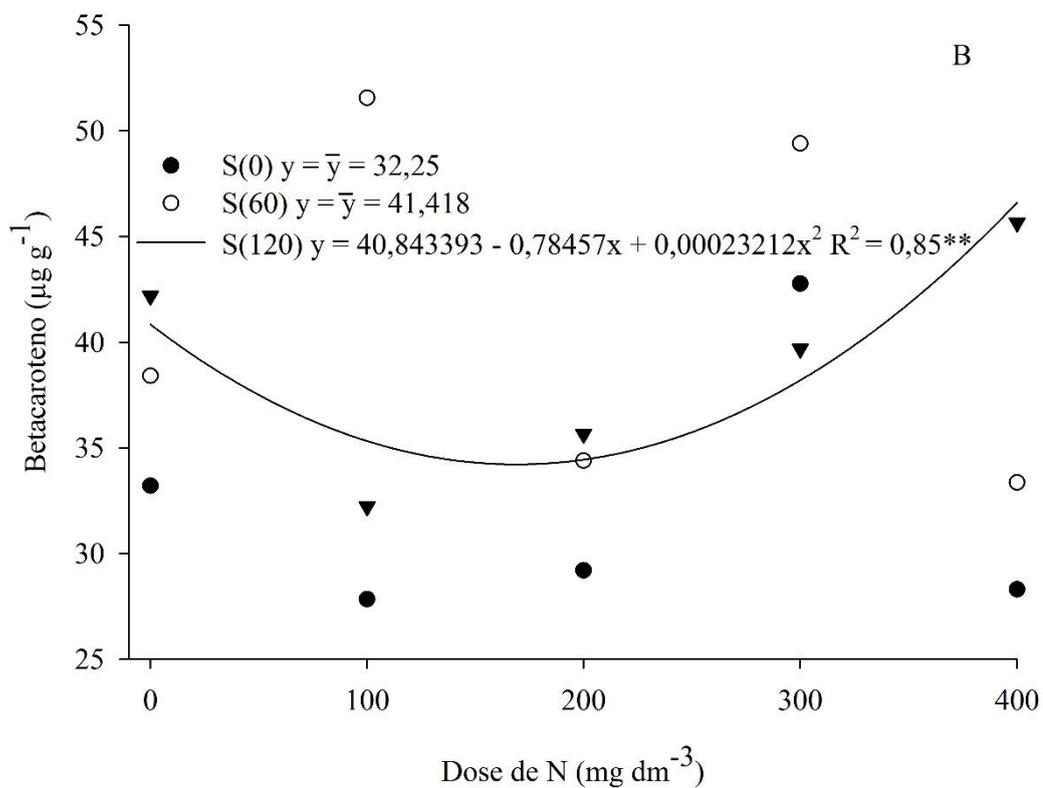
S0: Dose 0 mg dm<sup>-3</sup>; S60: Dose 60 mg dm<sup>-3</sup>; S120: Dose 120 mg dm<sup>-3</sup>. \*\*:Significativo a

1% pelo teste F. Lavras – MG, 2015.



**Figura 6.** Licopeno (A) em frutos de tomate submetido às doses de nitrogênio e enxofre.

S0: Dose 0 mg dm<sup>-3</sup>; S60: Dose 60 mg dm<sup>-3</sup>; S120: Dose 120 mg dm<sup>-3</sup>. \*\*\*, \*\*: Significativo a 5 e 1% pelo teste F. Lavras – MG, 2015.



**Figura 6.** Betacaroteno (B) em frutos de tomate submetido às doses de nitrogênio e enxofre. S0: Dose 0 mg dm<sup>-3</sup>; S60: Dose 60 mg dm<sup>-3</sup>; S120: Dose 120 mg dm<sup>-3</sup>.

<sup>\*,\*\*</sup>:Significativo a 5 e 1% pelo teste F. Lavras – MG, 2015.

### **ARTIGO 3 APROVEITAMENTO DO NITROGÊNIO ( $^{15}\text{N}$ ) EM FUNÇÃO DAS DOSES DE ENXOFRE NO TOMATEIRO**

(Artigo formatado de acordo com a norma para submissão na Revista Brasileira de Ciência do Solo - Versão Preliminar)

Matias Siueia Junior<sup>1</sup>, Maria Ligia de Souza Silva<sup>1</sup>, Anderson Ricardo Trevizam<sup>1</sup>, Valdemar Faquin<sup>1</sup>, José Albertino Bendassolli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras – UFLA, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). E-mail: siueia.júnior@gmail.com, marialigia.silva@dcs.ufla.br, aanrt@hotmail.com, vafaquin@dcs.ufla.br

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

**RESUMO** – O N é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo tomateiro, requerendo um manejo complexo, devido a sua influência na produção. O objetivo com este trabalho foi avaliar o efeito de doses de N, na forma de ureia marcada com  $^{15}\text{N}$ , combinada com doses de S, no aproveitamento do N do fertilizante absorvida pelo tomateiro em um Latossolo Vermelho. O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando-se vasos contendo 5 dm<sup>3</sup> de Latossolo Vermelho distroférico. O experimento foi instalado em esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco doses de N (0; 100; 200; 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup>) e três doses de S (0; 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup>), com quatro repetições por tratamento. Os resultados mostraram que o aproveitamento máximo de N do fertilizante pelo tomateiro foi de 36,47% correspondendo a dose de 120 mg dm<sup>-3</sup> de S. A absorção do N pelo tomateiro, respondeu positivamente para as doses de S, atingindo máxima absorção na dose de 400 mg dm<sup>-3</sup> de N.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum* L.; isótopos, hortaliça, absorção

**ABSTRACT****USE OF NITROGEN (<sup>15</sup>N) COMBINED WITH RATES OF SULFUR BY TOMATO**

N is the nutrient absorbed in greater quantity by the tomato, requiring a complex management due to its influence on the production. The objective of this work was to evaluate the effect of N rates, in the form of <sup>15</sup>N labeled urea combined with S rates, on N fertilizer use absorbed by the tomato in a Red Latosol. The experiment was conducted in a greenhouse using pots containing 5 dm<sup>3</sup> of dystroferric Red Latosol. The experiment was carried out in a 5 x 3 factorial scheme, with five rates of N (0, 100, 200, 300 and 400 mg dm<sup>-3</sup>) and three rates of S (0, 60 and 120 mg dm<sup>-3</sup>) repetitions per treatment. The results showed that the N fertilizer utilization by the tomato was 36.47% corresponding to the 120 mg dm<sup>-3</sup> rate of S. The N uptake by the tomato responded positively to the S doses, reaching maximum rate absorption of 400 mg dm<sup>-3</sup> of N.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L .; Isotopes, vegetable, absorption

**INTRODUÇÃO**

O crescimento e a produção do tomateiro dependem, além de outros fatores, de adequado suprimento de nutrientes pelo solo às plantas. Sendo assim, para se obter alta produção de frutos comercializáveis é necessário conhecer os seus requerimentos nutricionais (Huett e Dettmann, 1988).

Nos trópicos são relatadas as diversas limitações na fertilidade do solo para a nutrição das plantas, porém o suplemento de nutrientes ao solo por meio da adubação pode aumentar a produção das culturas, em resposta positiva à adubação nitrogenada (Xia e Wan, 2008). Considerando os processos fisiológicos das plantas, o N, comparado aos outros nutrientes, tem maior efeito sobre as taxas de crescimento e absorção de elementos, sendo, portanto, mais importante em termos de controle da nutrição ótima das culturas (Huett e Dettmann, 1988).

O N e o S são dois elementos essenciais aos vegetais e animais, por fazerem parte de aminoácidos e proteínas relacionados às mais variadas funções bioquímicas (Leningher, 1980), assim como por desempenharem papel na síntese proteica importante na proteção das plantas, stress nutricional, e suscetibilidade a pragas (Luit et al., 1999) e síntese de vitaminas e clorofila na célula (Kacar e Katkat, 2007).

De acordo com Fismes et al. (2000) a deficiência de S pode reduzir o nível de eficiência de utilização de N, e enquanto a deficiência de N também pode reduzir a eficiência da utilização de S, o que permite inferir que o aumento da eficiência de utilização do N aplicado às culturas agrícolas, entre outros fatores, é atribuído à existência de sinergismo com o S (Rodrigues & Kiehl, 1986).

Segundo Janzen e Bettany (1987) e Kopriva e Rennenberg (2004) uma taxa de aplicação mais alta de N sem S, apresentaram sintomas de transtorno fisiológico grave na nutrição de N, fato que aumentando aplicação de fertilizante nitrogenado reduz particularmente a resposta do S, resultando em uma relação N/S baixa, levando a redução da proteína-N e ao aumento do Nitrato-N e outras frações não proteicas de N e a qualidade da cultura pode ser severamente afetada (Jackson, 2000).

O N por ser um dos nutrientes de manejo e recomendações mais complexos, em virtude da multiplicidade das reações químicas e biológicas a que está sujeito (Cantarella e Duarte, 2004), várias formas de aplicação são testadas a fim de obter maior influência no aproveitamento deste nutriente nas culturas.

O método isotópico com  $^{15}\text{N}$ , na qual se preconiza o uso de uma fonte marcada com  $^{15}\text{N}$ , permite quantificar com maior precisão a utilização do N, além de distinguir a fonte originária, seja ela solo ou fertilizante, de modo a contribuir na tomada de decisão quanto ao manejo da adubação nitrogenada (Lara Cabezas et al., 2000; Silva et al., 2006).

Com o presente estudo objetivou-se avaliar o efeito de doses de N, na forma de ureia marcada com  $^{15}\text{N}$  combinada com doses de S, no aproveitamento do N do fertilizante absorvida pelo tomateiro em Latossolo Vermelho.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, em vasos com  $5\text{ dm}^{-3}$  de solo, preenchidos com amostras da camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), de textura argilosa (Santos et al. 2013). As análises físicas e químicas do solo foram determinadas conforme Donagema et al. (2011) e Silva (2009) que apresentou: teor de areia,  $160\text{ g kg}^{-1}$ ; silte,  $150\text{ g kg}^{-1}$ ; argila,  $690\text{ g kg}^{-1}$ ; pH em água, 5,0; Matéria orgânica,  $28,7\text{ g kg}^{-1}$ ; P (Mehlich-1),  $1,1\text{ mg dm}^{-3}$ ; K,  $54\text{ mg dm}^{-3}$ ; Ca,  $1,5\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ ; Mg,  $0,2\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ ; Al,  $0,4\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ ; H + Al,  $6,3\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ ; Soma de Bases,  $1,8\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ ; CTC efetiva,  $2,2\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ ; CTC pH 7,  $8,1\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ ; Saturação por bases, 22%; Saturação por Al, 18%; Zn,  $0,4\text{ mg dm}^{-3}$ ; Fe,  $28\text{ mg dm}^{-3}$ ; Mn,  $17,5\text{ mg dm}^{-3}$ ; Cu,  $2,5\text{ mg dm}^{-3}$ ; B,  $0,3\text{ mg dm}^{-3}$ ; S,  $11,7\text{ mg dm}^{-3}$  e P-rem,  $12,9\text{ mg L}^{-1}$ .

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial  $5 \times 3$ , com cinco doses de N (0, 100, 200, 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup>) na forma de ureia marcada com <sup>15</sup>N, e três doses de S (0, 60 e 120 mg dm<sup>-3</sup>) na forma de gesso agrícola, com quatro repetições, perfazendo um total de 60 parcelas.

Com base na análise química do solo, foi efetuada a calagem para elevar a saturação por bases a 80%, utilizando-se calcário filler de PRNT = 99,23%. Após incubação do solo por 30 dias, com umidade próxima a 60% do volume total de poros (VTP), as doses de S foram aplicadas ao solo, mediante a incorporação superficial, em uma única aplicação no transplante das mudas. Juntamente com a aplicação dos tratamentos com S, foi realizada a adubação básica de plantio onde foram aplicados 1463 mg dm<sup>-3</sup> de P e 689 mg dm<sup>-3</sup> de K, fornecidos na forma de superfosfato triplo (42% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O).

Em cada vaso foi transplantado uma muda de tomate, cultivar Angelim, do grupo saladete híbrida com hábito de crescimento determinado, ciclo de 120 dias, fruto uniforme, vermelho intenso. A irrigação foi realizada por gotejamento e o seu manejo feito pelo controle de água no solo.

As doses de N na forma de ureia, em solução enriquecida em 10% de átomos de <sup>15</sup>N foram aplicadas em cobertura, parceladas em quatro aplicações, sendo estas aos 10, 40, 70 e 100 dias após o transplante (DAT). Conjuntamente as doses de N foi aplicado K, em solução, na dose de 75 mg de K. A partir do início da floração plena do tomateiro fez-se aplicação foliar de boro (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), semanalmente, na concentração de 2 g L<sup>-1</sup>, até a fase final do desenvolvimento do fruto.

Durante a condução do experimento outros tratos culturais adotados foram realizados, como a capação realizada aos 90 DAT, com o estrangulamento da parte apical das hastes e a desbrota iniciada aos 20 DAT. As plantas foram tutoradas por meio de estacas de bambu com aproximadamente 1,5 m e amarradas com fita plástica. O controle fitossanitário foi realizado por meio da pulverização de acaricidas e fungicidas quando necessário, segundo as recomendações do manejo integrado de pragas e doenças, para a cultura do tomate.

A colheita das plantas foi realizada no final do ciclo. O material vegetal foi cortado, seco em estufa a 65 °C até peso constante (aproximadamente 72h), para quantificação da massa seca da parte aérea (folhas e caule) e analisadas em relação ao enriquecimento em <sup>15</sup>N e teor de N (Barrie e Prosser, 1996).

Os dados obtidos permitiram calcular os seguintes parâmetros: porcentagem de N na planta proveniente do fertilizante (%NppF), quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNppF),

e aproveitamento total do N pela planta proveniente do fertilizante (%ApTF) no tomateiro pelo princípio da diluição isotópica, utilizando-se os seguintes cálculos, de acordo com IAEA (2001).

a) Nitrogênio acumulado (NA)

$$NA = N \times MS$$

Onde,

NA = Nitrogênio acumulado ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); N = Concentração de nitrogênio ( $\text{g kg}^{-1}$ ); MS = Matéria seca (g).

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

$$\%N_{ppF} = \frac{a - c}{b - c} \times 100$$

Onde,

%NppF = Porcentagem de N na planta proveniente do fertilizante de N; a = abundância de  $^{15}\text{N}$  (% de átomos) na planta; b = abundância de  $^{15}\text{N}$  (% de átomos) na Fonte de N; c = abundância natural de  $^{15}\text{N}$  (0,366% de átomos);

c) Quantidade de N na planta proveniente do fertilizante (QNPPF,  $\text{mg dm}^{-3}$ ).

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

d) Aproveitamento do N do fertilizante pela planta (ApF)

$$\%ApF = \frac{QNPPF}{QNA} \times 100$$

Onde,

QNA = quantidade de nitrogênio aplicado ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ).

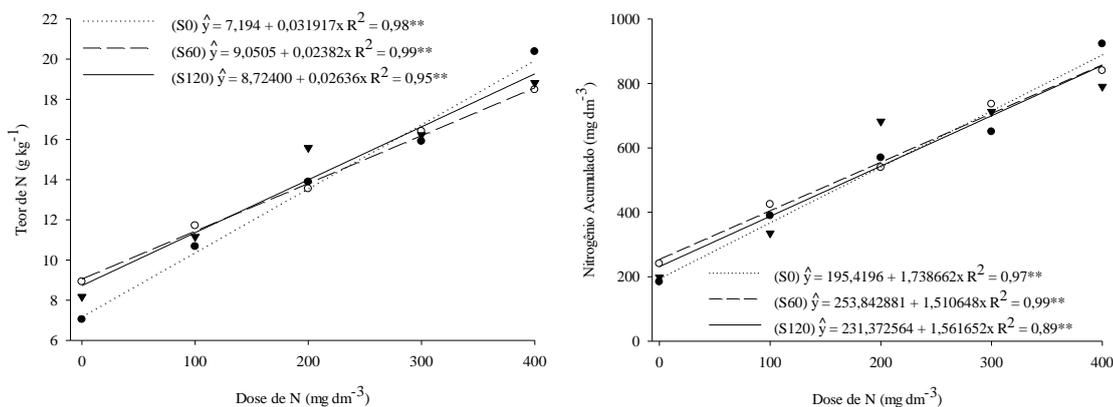
Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, ao teste de média (Tukey) a 5% de probabilidade e a regressão polinomial com uso do programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2015).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, constatou-se que os valores do teor de N, N acumulado, %NppF, QNppF, %ApTF, teor de S e a relação N/S foram influenciados ( $p < 0,05$ ) pela interação dose de N e de S.

As doses crescentes de N proporcionaram acréscimo no teor de N no tomateiro, em comparação ao tratamento controle, seguindo ajuste linear crescente para as doses 0, 60 e 120  $\text{mg dm}^{-3}$  de S, com os valores máximos estimados em 19,96, 18,57 e 19,26  $\text{g kg}^{-1}$ , correspondendo a dose máxima de 400  $\text{mg dm}^{-3}$  de N (Figura 1). Os resultados obtidos demonstram maior eficiência de aproveitamento do N pela cultura em função do parcelamento das doses de N ao longo do desenvolvimento da cultura, que conseqüentemente ocasionou maior produção. Resultados parecidos foram verificados por Araújo et al. (2007) e Kirda et al. (2003) para tomateiro, Lange et al. (2010) para plantas de milho.

Com relação à quantidade de N acumulado na planta em função do incremento das doses de N (Figura 1B), este apresentou ajuste linear, para as doses 0, 60 e 120  $\text{mg dm}^{-3}$  de S, atingindo valores máximos estimados em 890,61, 858,09 e 856,01  $\text{mg dm}^{-3}$ , na dose máxima de 400  $\text{mg dm}^{-3}$  de N. A máxima acumulação de N, pode ser explicado em parte, pelo N-fertilizante que foi o principal responsável pelo acúmulo do nutriente pela planta. Resultantes semelhantes foram também verificados por Brito et al. (2011) para plantas de feijão comum, Silva et al. (2008) para plantas de milho e Ferreira & Fontes (2011) para o tomateiro.

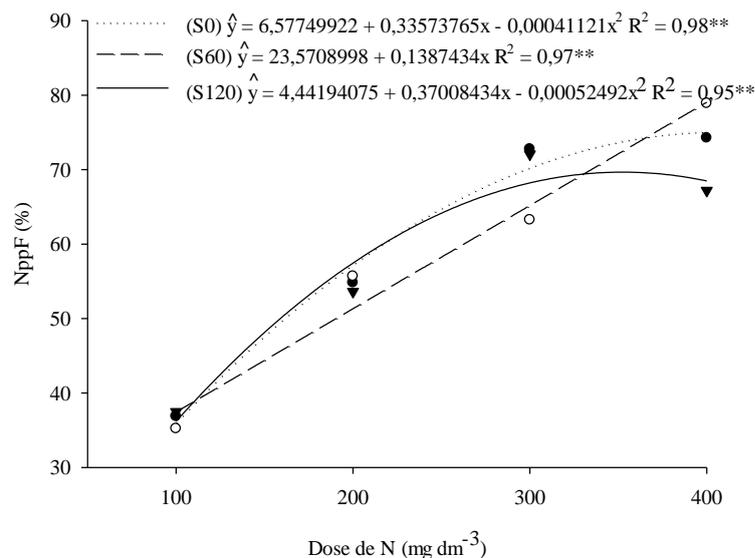


**FIGURA 1.** Teor e acúmulo de N na planta de tomate submetido às doses de N e S. S0: Dose 0  $\text{mg dm}^{-3}$ ; S60: Dose 60  $\text{mg dm}^{-3}$ ; S120: Dose 120  $\text{mg dm}^{-3}$ . \*\*:Significativo a 1% pelo teste F.

A porcentagem de N nas plantas de tomate proveniente do fertilizante (%NppF) apresentou ajuste quadrático em função das doses crescentes de N, para as doses 0 e 120 mg dm<sup>-3</sup> com os valores máximos estimados em 75,10 e 69,67% nas doses correspondentes de 400 e 352,51 mg dm<sup>-3</sup> de N (Figura 2). A dose de 60 mg dm<sup>-3</sup> de S se ajustou linearmente em função das doses crescentes de N até o valor NppF de 80% correspondente a dose máxima de 400 mg dm<sup>-3</sup> de N.

Observa-se na Figura 2, que a maior intensidade de %NppF ocorre na dose de 60 mg dm<sup>-3</sup> de S, contrariamente as doses de 0 e 120 mg dm<sup>-3</sup> que após atingir um máximo, ocorreu decréscimo da %NppF com o aumento das doses de N, como verificado por Brito et al. (2011) em plantas de milho.

Kirda et al. (2003), determinando o rendimento do fruto de tomate fertirrigado sob dois programas de irrigação e quatro concentrações de fertilizante nitrogenado verificaram que a %NppF variou de 24,0 a 31,2 %, resultados estes que são diferentes aos encontrados no presente estudo.

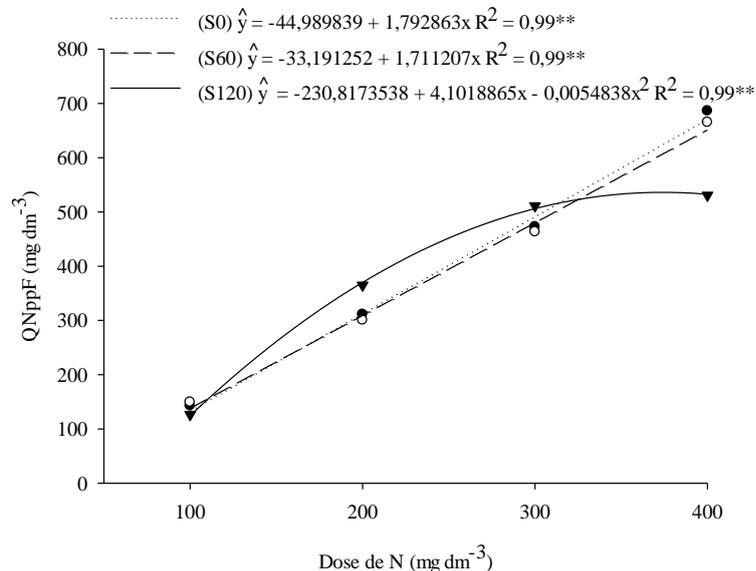


**Figura 2.** Porcentagem de N na planta de tomate proveniente do fertilizante (%NppF) submetido às doses de N e S. S0: Dose 0 mg dm<sup>-3</sup>; S60: Dose 60 mg dm<sup>-3</sup>; S120: Dose 120 mg dm<sup>-3</sup>. \*\*:Significativo a 1% pelo teste F.

A quantidade de N na planta de tomate proveniente do fertilizante (QNppF) (Figura 3) apresentou ajuste linear crescente em função das doses crescentes de N, para as doses 0 e 60 mg dm<sup>-3</sup>, apresentando valores estimados de 762 e 717 mg dm<sup>-3</sup>, correspondendo a dose máxima utilizada de 400 mg dm<sup>-3</sup> de N. A dose 120 mg dm<sup>-3</sup> de S teve ajuste quadrático crescente, com os valores estimados de 536 mg dm<sup>-3</sup>, correspondendo a dose de 374 mg dm<sup>-3</sup> de N.

Como se observa na Figura 3, a QNppF foi proporcional à dose de N aplicado, porém para a dose 120 mg dm<sup>-3</sup> de S, houve tendência de decréscimo na QNppF após atingir o máximo. Resultados próximo ao presente estudo foram verificados por Duete et al., (2008) e Brito et al., (2011) para plantas de milho, em que o parcelamento do N proporcionou aproveitamento de N na faixa de 52% e 59, 61%, respectivamente.

Independentemente da dose de N aplicada, foi verificado que tanto o N acumulado como a QNppF tiveram aumento em função do incremento das doses de N, permitindo inferir que não houve interferência dos processos de lixiviação, desnitrificação e volatilização, promovendo maior absorção de N pelas plantas de tomate.



**FIGURA 3.** Quantidade de N na planta de tomate proveniente do fertilizante (QNppF) submetido às doses de N e S. S0: Dose 0 mg dm<sup>-3</sup>; S60: Dose 60 mg dm<sup>-3</sup>; S120: Dose 120 mg dm<sup>-3</sup>. \*, \*\*: Significativo a 5 e 1% pelo teste F.

O Aproveitamento do N do fertilizante pela planta (ApTF) (Figura 4) apresentou ajuste polinomial para as doses 0 e 60 mg dm<sup>-3</sup> de S, porém não diferiram estatisticamente, apresentando deste modo as médias gerais 31,36 e 31,01%, respectivamente. Já a dose 120 mg dm<sup>-3</sup> de S teve ajuste quadrático em função das doses crescentes de N, com os valores máximos estimados em 36,47%, correspondendo a dose de 251,55 mg dm<sup>-3</sup> de N.

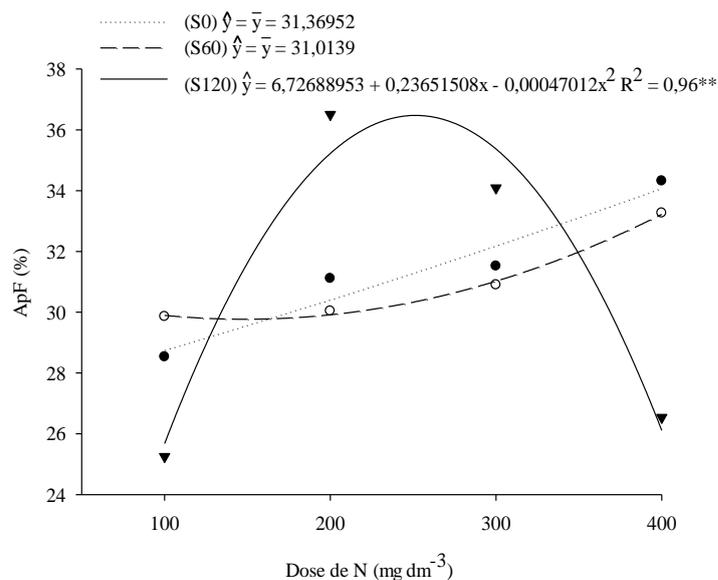
Os resultados encontrados neste estudo indicam condição de menor aproveitamento do N do fertilizante, abaixo de 50%, uma vez que ocorre redução da sua concentração à medida que se

elevaram as doses de N a partir de  $250 \text{ mg dm}^{-3}$ , só para a dose  $120 \text{ mg dm}^{-3}$  de S. Esses resultados contrariam ao que era esperado, onde num experimento realizado em condição de vaso, provavelmente haveria maior exploração do volume do solo pelas raízes, permitindo menor perda de N por lixiviação.

Brito et al. (2011) obtiveram resultados semelhantes ao avaliar os efeitos de N, na forma de ureia, sobre a fixação simbiótica de  $\text{N}_2$ , em feijão comum pela técnica isotrópica e o contrário com o caupi, porém estes valores estão de acordo com o trabalho realizado por Alfaia (1997), onde infere que raramente o aproveitamento do N pelas plantas ultrapassa a 50%.

De acordo com Kirda et al. (2003) o baixo aproveitamento do N, na faixa de 40 a 50%, pode ser atribuído ao processo de imobilização do N pela atividade microbiológica, que provoca uma junção do N mineral com a matéria orgânica.

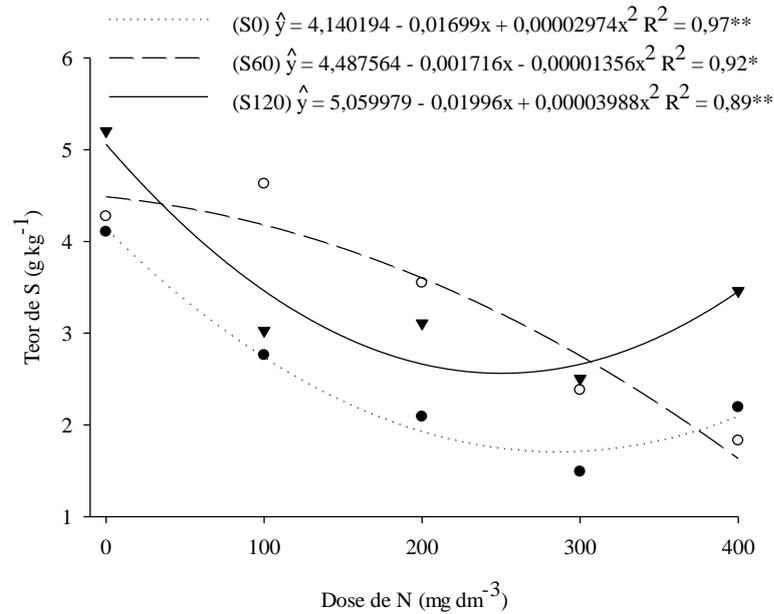
Os resultados encontrados neste estudo estão dentro da faixa observada por Duete et al. (2008), onde verificou aproveitamento de 39% de N no milho.



**Figura 4.** Aproveitamento do N do fertilizante pela planta (% ApF) em frutos de tomate submetido às doses de nitrogênio e enxofre. S0: Dose  $0 \text{ mg dm}^{-3}$ ; S60: Dose  $60 \text{ mg dm}^{-3}$ ; S120: Dose  $120 \text{ mg dm}^{-3}$ . \*\*:Significativo a 1% pelo teste F.

O teor de S apresentou ajuste quadrático decrescente em função das doses crescentes de N, para as doses  $0$  e  $120 \text{ mg dm}^{-3}$  de S (Figura 5), com os valores mínimos estimados em  $1,71$  e  $2,56 \text{ g kg}^{-1}$  de teor de S, correspondendo as doses de  $286$  e  $250 \text{ mg dm}^{-3}$  de N, respectivamente, que demonstra redução de  $41$  e  $50\%$  em comparação ao tratamento controle. Em relação à dose  $60 \text{ mg}$

$\text{dm}^{-3}$  de S, esta apresentou ajuste quadrático crescente, alcançando o seu maior valor de  $4,48\text{g kg}^{-1}$  na dose  $0\text{ mg dm}^{-3}$  de N. Estes resultados corroboram com os observados por Jamal et al. (2010) e Artur & Monteiro (2014).

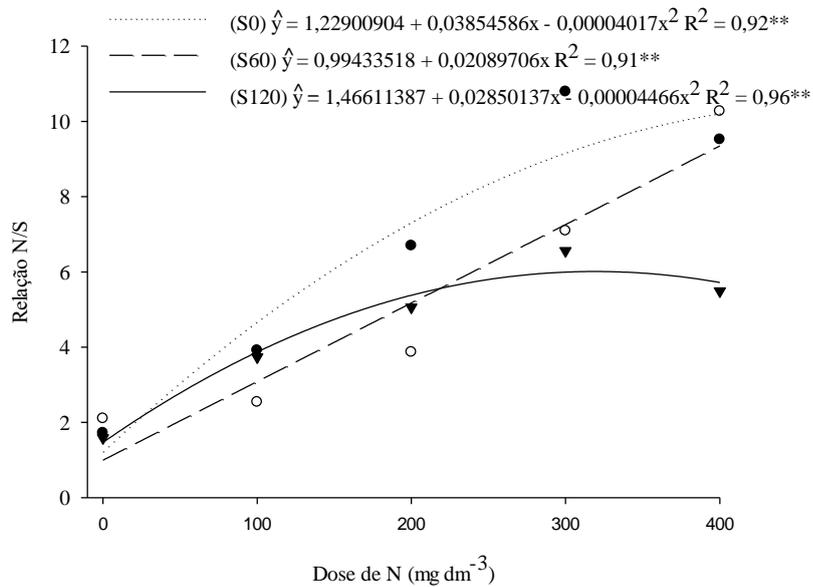


**FIGURA 5.** Teor de S na planta de tomate submetido às doses de N e S. S0: Dose  $0\text{ mg dm}^{-3}$ ; S60: Dose  $60\text{ mg dm}^{-3}$ ; S120: Dose  $120\text{ mg dm}^{-3}$ . \*\*:Significativo a 1% pelo teste F.

A relação N/S apresentou ajuste quadrático crescente em função das doses crescentes de N (Figura 6), para as doses 0 e  $120\text{ mg dm}^{-3}$  de S, com os valores máximos estimados em 10,22 e  $6,01\text{ g kg}^{-1}$  de teor de S, correspondendo as doses de 400 e  $319,09\text{ mg dm}^{-3}$  de N, respectivamente. A dose  $60\text{ mg dm}^{-3}$  de S teve ajuste linear crescente, alcançando o seu maior valor de  $9,35\text{g kg}^{-1}$  na dose  $400\text{ mg dm}^{-3}$  de N, entre as doses estudadas.

Os resultados observados no presente estudo demonstram que a dose intermediária do S ( $60\text{ mg dm}^{-3}$ ) respondeu positivamente a relação N/S, pelo aumentou em função das doses crescentes de N, contrastando o verificado por Silva et al. (2014) onde obtiveram redução nessa relação.

Segundo Jamal et al. (2010) altas doses de S podem ocasionar redução da relação N/S, porém o equilíbrio de disponibilidade de N e S poderá favorecer uma melhor relação N/S.



**FIGURA 6.** Relação N/S na planta de tomate submetido às doses de N e S. S0: Dose 0 mg dm<sup>-3</sup>; S60: Dose 60 mg dm<sup>-3</sup>; S120: Dose 120 mg dm<sup>-3</sup>. \*\*:Significativo a 1% pelo teste F.

## CONCLUSÕES

1. A dose de S que proporcionou o maior aproveitamento do N do fertilizante pelo tomateiro foi de 120 mg dm<sup>-3</sup> com 36,47%, associada a dose 251 mg dm<sup>-3</sup> de N.
2. A relação N/S apresentou uma melhor resposta para a dose 60 mg dm<sup>-3</sup> de S.
3. A absorção pelo tomateiro de N respondeu positivamente para as doses de S, atingindo máxima absorção na dose máxima de 400 mg dm<sup>-3</sup> de N.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG, a CAPES e ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa e pela concessão de bolsas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIA

ALFAIA, S.S. Destinos de fertilizantes nitrogenados (<sup>15</sup>N) em um Latossolo Amarelo cultivado com feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.). *Acta amazônica*, 1997, 27:65-72.

ARAÚJO C.; FONTE P.C.R.; SEDIYAMA C.S.; COELHO M.B. Critérios para a determinação da dose de nitrogênio a ser aplicada no tomateiro em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*. 2007, 25:327-332.

ARTUR, A. G.; MONTEIRO, F. A. Marandu palisadegrass growth and nutrient accumulation as affect by nitrogen and sulfur fertilizations. *Australian Journal of Crop Science*. 2014, 8:422-429.

BARRIE, A. & PROSSER, S.J. Automated analysis of light element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W. & YAMASAKI, S., eds. *Mass spectrometry of soils*. New York, Marcel Dekker, 1996. p.1-46.

BRITO M. M. P, MURAOKA T., SILVA E. C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. *Bragantia*, campinas, 2011, 70:206-215.

CANTARELLA, H. & DUARTE, A.P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C. & MIRANDA, G.V., eds. *Tecnologia de produção de milho*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.139-182.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

DUETE, R. R. C; MURAOKA, T; SILVA, E. C; TREVELIN, P. C; AMBROSANO, E. J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (<sup>15</sup>N) pelo milho em Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2008, 32:161-171.

FERREIRA, M. M. M; FONTES, P.C.R. Índices de nitrogênio nas folhas de tomateiro em função do nitrogênio e da adubação orgânica. *Revista Agro@mbiente On-line*. 2011, 5:106-112.

FISMES J, VONG PC, GUCKERT A, FROSSARD E. Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. *Eur. J. Agron*. 2000, 12:127-141.

IAEA – International Atomic Agency. Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition. Vienna: IAEA, 2001. 247p. (Training course series, 14).

JACKSON GD. Effects of nitrogen and sulfur on canola yield and nutrient uptake. *Agron. J.* 2000, 92:644-649.

JAMAL, A.; MOON, Y.S.; ABDIN, M.Z. Sulphur -a general overview and interaction with nitrogen. *Australian Journal of Crop Science.* 2010, 4:523-529.

JANZEN HH, BETTANY JR. Oxidation of elemental sulfur under field conditions in central Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 1987, 67:609-618.

KACAR B, KATKAT AV. *Plant Nutrition.* 3th ed. Nobel Press; Ankara, Turkey, 2007.

KIRDA, C., BAYTORUN, N.; DERICI, M. R.; DASGAN, H. Y. Nitrogen fertiliser recovery and yield response of greenhouse grown and fertigated tomato to root - zone soil water tension. *Turk J Agric For.* 2003, 27:323-328.

KOPRIVA S, RENNENBERG H. Control of sulfate assimilation and glutathione synthesis: interaction with N and C metabolism. *J. Exp. Bot.* 2004, 55:1831-1842.

LANGE A, CABEZAS WARL & TRIVELIN PCO. Sulfato de amônio e uréia em cobertura no milho em semeadura direta no Cerrado. *Rev. Ceres.* 2010, 57:817-824.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDÖRFER, G.H. & PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro. *R. Bras. Ci. Solo.* 2000, 14:363-376.

LENINGHER, A. L. *Fundamentos de bioquímica,* Savier: São Paulo, 1980.

LUIT J, DE K, GRILL D, HAWKESFORD MJ, SCHNUG E, STULEN I. Plant Sulfur Research. Fundamental, agronomical and environmental aspects of sulfur nutrition and assimilation in plants. Prog. Rep. 1997/1998, 1999.

R DEVELOPMENT CORE TEAM - RDCT. R: A language and environment statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing, 2015.

RODRIGUES, M.B. & KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 1986, 10:37-43.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306 p.

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S. & TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho em Latossolo Vermelho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura. Pesq. Agropec. Bras. 2006, 41:477-486.

SILVA, E. C; MURAOKA, T; BUZETTI, S; SINENCIO, F; ESPINAL, C; TREVELIN, P. C. O. Utilização do nitrogênio da palha de milho e de adubos verdes pela cultura do milho. Rev. Bra. de Ciê do Solo, 2008, 32:2853-2861.

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

XIA JY, WAN SQ. Global response patterns of terrestrial plant species to nitrogen addition. New Phytol. 2008, 179:428-439.