

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DOSES DE NITROGÊNIO NO ACÚMULO DE NUTRIENTES,  
CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA RÚCULA**

**Isaías dos Santos Reis**

Engenheiro agrônomo

**2019**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DOSES DE NITROGÊNIO NO ACÚMULO DE NUTRIENTES,  
CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA RÚCULA**

**Isaías dos Santos Reis**

**Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho**

**Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,  
Câmpus de Jaboticabal, como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).**

R375d      Reis, Isaías dos Santos  
Doses de nitrogênio no acúmulo de nutrientes, crescimento e  
produtividade da rúcula / Isaías dos Santos Reis. -- Jaboticabal, 2019  
62 f. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho

1. Eruca sativa. 2. adubação nitrogenada. 3. marcha de absorção  
de nutrientes. 4. nutrição de hortaliças. 5. olericultura. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DOSES DE NITROGÊNIO NO ACÚMULO DE NUTRIENTES, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA RÚCULA**

**AUTOR: ISAIAS DOS SANTOS REIS**

**ORIENTADOR: ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO**

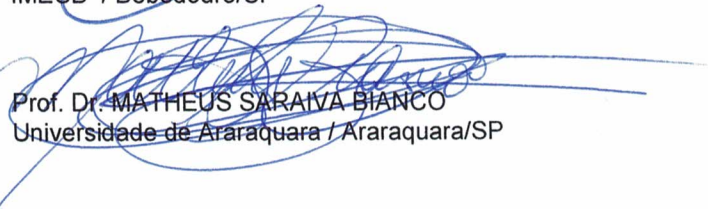
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO  
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. ALEXSON FILGUEIRAS DUTRA  
IMESB / Bebedouro/SP



Prof. Dr. MATHEUS SARAIVA BIANCO  
Universidade de Araraquara / Araraquara/SP

Jaboticabal, 07 de março de 2019

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**ISAIAS DOS SANTOS REIS** – nascido em 11 de março de 1992 na cidade de Conceição do Lago Açu – MA, filho de Creuza dos Santos Reis e Raimundo Luís Reis. Estudou o ensino fundamental, 1º grau na Unidade Escolar Raimundo Nonato Meneses no povoado Olho D'água, zona Rural do município de Conceição do Lago Açu – MA. Aos 15 anos mudou-se para Alcântara – MA onde concluiu o ensino médio no ano de 2010 no Centro de Ensino Médio Dr. João Leitão. Em 2011 ingressou no curso superior de Licenciatura em Ciências Agrárias do Instituto de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA *campus* de Codó – MA, desistiu do curso após dois semestres. No ano seguinte, iniciou o curso superior em Agronomia no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais – CCAA da Universidade Federal do Maranhão – UFMA *campus* de Chapadinha, onde participou durante o curso, de projetos de iniciação científica. Foi bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA e da UFMA. Atuou como monitor da disciplina de Olericultura Geral (2016). Em outubro de 2016, concluiu o curso de Agronomia sob a orientação da Prof. Dr<sup>a</sup>. Mariléia Barros Furtado. Foi Bolsista de Apoio Técnico Institucional – BATI II, no Laboratório de Fitotecnia e Pós-Colheita – LAPOC, onde trabalhou na implantação do banco de germoplasma de fruteiras tropicais, nativas e exóticas da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, de abril a julho de 2017. Em agosto de 2017, iniciou o Curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, concluindo-o em março de 2019.

*Filho meu, obedece à orientação de teu pai e não abandones o ensino da tua mãe. Ata-os para sempre ao teu coração, envolve-os junto ao teu pescoço. Quando caminhares eles te guiarão; quando deitares, eles te protegerão durante o sono; quando acordares, eles dialogarão contigo!*

A minha família, em especial aos meus pais Creuza dos Santos Reis, Raimundo Luís Reis, irmãos Cláudia, Itamar, Edilene, Nazaré, Helena e Clene que sempre me incentivaram, deram força, amor e carinho em todos os momentos.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, Pai Todo Poderoso, por iluminar a minha vida e se fazer sempre presente em meu dia-a-dia. Obrigado Pai amado por mais essa conquista.

Ao prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho pela orientação, paciência, pela amizade em todos os momentos dessa jornada, incentivo constante e conhecimento transmitidos.

A Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” – FCAV, pela oportunidade de ingressar nesta instituição de ensino e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos meus pais Creuza dos Santos Reis e Raimundo Luís Reis, por estarem sempre ao meu lado, pela educação, valores e princípios que eles repassaram para mim, agradeço a Deus por ser filho dessas duas pessoas maravilhosas.

Aos meus irmãos Claudilene Reis, Itamar Reis, Edlene Reis, Helena Reis, Clene Reis e Cleudilene Reis (Edileuza Sena – cunhada e irmã postíça) que não mediram esforços para que esse sonho fosse concretizado, pelos conselhos nos momentos difíceis da minha vida e pelas palavras de incentivo em todos os momentos dessa caminhada.

A Keyse Cristina pelo apoio, companheirismo, dedicação e cuidado durante essa caminhada, sendo fundamental para essa conquista.

Aos funcionários do Setor de Olericultura e Plantas Aromático-Medicinais, Inauro Santana de Lima, Reinaldo Aparecido dos Santos e Cláudio Oian, pelo auxílio na condução deste trabalho, os quais foram fundamentais na realização do mesmo e tenho enorme consideração.

Aos amigos e colegas por todos os momentos de convívio, pelos momentos de descontração e aprendizagem, Antônio Durans, Werly Soeiro, Danilo Passos Pivete, Paulo Henrique, Tancredo Fibonacci, Mayara Mendes, Jonia Galvão, Sabrina Nascimento, Francisco Bruno, Ivanayra Mendes, Gyslane Garrêto, Diego Sodrê, Paulo Alexandre e Jonathan Viana.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Obrigado!

## SUMÁRIO

	página
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
1.1 INTRODUÇÃO .....	1
1.2 REVISÃO DE LITERATURA .....	2
1.2.1 Rúcula.....	2
1.2.2 Nitrogênio no solo e aspectos bioquímicos e nutricionais do nitrogênio nas plantas .....	3
1.2.3 Nutrição e adubação nitrogenada em plantas de rúcula .....	5
1.3 REFERÊNCIAS.....	6
CAPÍTULO 2 – Produtividade da rúcula em função das doses de nitrogênio .....	10
RESUMO.....	10
2.1 INTRODUÇÃO .....	11
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
2.2.1 Localização do experimento e caracterização da área .....	12
2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental .....	12
2.2.3 Instalação e condução do experimento.....	13
2.2.4 Características avaliadas .....	13
2.2.5 Análise estatística .....	14
2.3 RESULTADOS .....	14
2.4 DISCUSSÃO .....	20
2.5 CONCLUSÕES .....	24
2.6 REFERÊNCIAS.....	24
CAPÍTULO 3 - Marcha de acúmulo de nutrientes e crescimento da rúcula submetida a doses de nitrogênio .....	28
RESUMO.....	28
3.1 INTRODUÇÃO .....	29
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.3 RESULTADOS .....	32
3.4 DISCUSSÃO .....	42

3.5 CONCLUSÃO.....	46
3.6 REFERÊNCIAS.....	46

## DOSES DE NITROGÊNIO NO ACÚMULO DE NUTRIENTES, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA RÚCULA

**RESUMO** – O nitrogênio (N) é o segundo nutriente mais acumulado pela rúcula com grande efeito no crescimento, entre as condições de carência e suficiência nutricional. Dada a importância do nutriente para a rúcula, aliado ao ciclo curto desta hortaliça e ao efeito que o ambiente tem na eficiência de absorção e uso do N pela planta, objetivou-se avaliar o efeito de doses nitrogênio (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup>) sobre o crescimento, teor e acúmulo de nutrientes e a produtividade da rúcula ‘Folha Larga’. O experimento foi conduzido em campo, de abril a junho de 2018, em Jaboticabal, SP. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Coletaram-se plantas a partir de 11 até 35 DAE, com intervalos de 3 dias. O aumento nas doses de nitrogênio promoveu incrementos de 33, 23, 82 e 51% na altura, número de folhas, área foliar e massa seca, respectivamente, maximizadas com 198,9, 156, 170 e 167 kg ha<sup>-1</sup> de N. A máxima produtividade foi de 16.461 kg ha<sup>-1</sup> com a dose de 213 kg ha<sup>-1</sup> de N, maiores doses promovem redução na produtividade. Considerando a máxima produtividade, as quantidades acumuladas de N, P, K, Ca, Mg e S foram de 66,5; 11,4; 260,6; 7,3; 14,5 e 20,8 mg planta<sup>-1</sup>, respectivamente e os teores dos nutrientes na parte aérea foram 26,2; 4,5; 102,7; 2,9; 5,7 e 8,2 g kg<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** *Eruca sativa*, adubação nitrogenada, marcha de absorção de nutrientes, nutrição de hortaliça, olericultura

## NITROGEN DOSES IN NUTRIENT ACCUMULATION, GROWTH AND YIELD OF ARUGULA

**ABSTRACT** – Nitrogen (N) it is the second nutrient most accumulated by arugula with great effect on growth, between nutrient deficiency conditions and sufficiency. Given the importance of the nutrient to the arugula, allied to the short cycle of this vegetable and the effect that the environment has on the efficiency of absorption and use of N by the plant, the objective was to evaluate the effect of nitrogen doses (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup>) on the growth, content and accumulation of nutrients and the yield of the arugula 'Broad Leaf'. The experiment was conducted on the field, from April to June of 2018, in Jaboticabal, SP. The experimental design was a randomized block design with four replications. Plants were collected from 11 to 35 DAE with 3 days intervals. The increase in nitrogen doses promoted increases of 33, 23, 82 and 51% in height, number of leaves, leaf area and dry mass, respectively, maximized with 198,9, 156, 170 e 167 kg ha<sup>-1</sup> of N. The maximum yield was 16,461 kg ha<sup>-1</sup> at the dose of 213 kg ha<sup>-1</sup> of N, higher doses promoted reduction in productivity higher doses promote reduction in productivity. Considering the maximum productivity, the accumulated amounts of N, P, K, Ca, Mg and S were 66.5; 11.4; 260.6; 7.3; 14.5 and 20.8 mg plant<sup>-1</sup>, respectively, and the contents of nutrients in the aerial part were 26.2; 4,5; 102.7; 2.9; 5.7 and 8.2 g kg<sup>-1</sup>.

**Keywords:** *Eruca sativa*, nitrogen fertilization, nutrient uptake gait, vegetable nutrition, olericultura

## LISTA DE TABELAS

	página
CAPÍTULO 2 – Produtividade da rúcula em função das doses de nitrogênio .....	10
<b>Tabela 1.</b> Resumo da análise de variância para altura (AP), número de folhas (NF), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de rúcula 'Folha Larga' em função de doses de nitrogênio, aos 35 dias após a emergência.....	15
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância para teores de macronutrientes na parte aérea da rúcula 'Folha Larga', em função de doses de nitrogênio, aos 35 dias após a emergência. ....	16
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância para o teor de ferro, cobre, manganês e zinco, e produtividade de rúcula 'Folha Larga' em função de doses de nitrogênio.....	18
CAPÍTULO 3 - Marcha de acúmulo de nutrientes e crescimento da rúcula submetida a doses de nitrogênio.....	28
<b>Tabela 1.</b> Resumo da análise de variância para área foliar e altura de plantas de rúcula 'Folha Larga', ao longo do ciclo produtivo, em função de doses de nitrogênio.....	32
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância para massa seca e número de folhas em plantas de rúcula 'Folha Larga', ao longo do ciclo produtivo, em função de doses de nitrogênio. ....	33
<b>Tabela 3.</b> Resumo da análise de variância para o acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em plantas de rúcula 'Folha Larga', ao longo do período produtivo, em função de doses de nitrogênio.....	36
<b>Tabela 4.</b> Resumo da análise de variância para o acúmulo de cálcio, magnésio e enxofre em plantas de rúcula 'Folha Larga', ao longo do período produtivo, em função de doses de nitrogênio.....	37
<b>Tabela 5.</b> Resumo da análise de variância para o acúmulo cobre e ferro em plantas de rúcula 'Folha Larga', ao longo do período produtivo, em função de doses de nitrogênio. ....	40
<b>Tabela 6.</b> Resumo da análise de variância para o acúmulo de manganês e zinco em plantas de rúcula 'Folha Larga', ao longo do período produtivo, em função de doses de nitrogênio. ....	41

## LISTA DE FIGURAS

	página
CAPÍTULO 2 – Produtividade da rúcula em função das doses de nitrogênio .....	10
<b>Figura 1.</b> Altura (a), folhas por planta (b), área foliar (c) e massa seca da parte aérea (d) de rúcula 'Folha Larga' em função de doses de nitrogênio (Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, $p > 0,05$ ). .....	16
<b>Figura 2.</b> Teor de fósforo (a), potássio (b), magnésio (c) e cálcio (d) em plantas de rúcula 'Folha Larga' em função de doses de nitrogênio (Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, $p > 0,05$ ).....	17
<b>Figura 3.</b> Teor de ferro (a), zinco (b), manganês (c) e cobre (d) em plantas de rúcula 'Folha Larga' em função de doses de nitrogênio (Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, $p > 0,05$ ). .....	18
<b>Figura 4.</b> Produtividade e teor de nitrogênio em plantas de rúcula 'Folha Larga' em função de doses de nitrogênio. *:significativo a 5% de probabilidade, **:significativo a 1% de probabilidade. Letras minúsculas iguais demonstram semelhança entre doses de N, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....	19
CAPÍTULO 3 - Marcha de acúmulo de nutrientes e crescimento da rúcula submetida a doses de nitrogênio.....	28
<b>Figura 1.</b> Área foliar (a), altura (b), massa seca de folhas (c) e folhas por planta (d) de rúcula 'Folha Larga', ao longo do período de cultivo, em função de doses de nitrogênio. ....	34
<b>Figura 2.</b> Acúmulos de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c), cálcio (d), magnésio (e) e enxofre (f) em plantas de rúcula 'Folha Larga', ao longo do período de cultivo, em função de doses de nitrogênio. ....	39
<b>Figura 3.</b> Acúmulos de cobre (a), ferro (b), manganês (c) e zinco (d) em plantas de rúcula 'Folha Larga', ao longo do período de cultivo, em função de doses de nitrogênio.....	42

## CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

### 1.1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para o metabolismo vegetal, por fazer parte de aminoácidos, proteínas, coenzimas e vitaminas (Troeh e Thompson, 2007; Prado, 2008; Ruza et al., 2013; Taiz et al., 2017). É o nutriente mais demandado por grande parte das plantas cultivadas, em especial as culturas de ciclo curto, como as hortaliças folhosas, devido ao rápido crescimento e elevada produtividade por área.

Por causa da alta demanda de N, aliada à baixa capacidade de fornecimento deste nutriente pelo solo, é esperado que haja resposta positiva de hortaliças folhosas, como a rúcula à adubação com nitrogênio. Esta hortaliça pertence à família das Brassicaceae, apresenta rápido crescimento e ciclo curto. Suas folhas tenras de sabor picante e odor agradável são consumidas na forma de salada (Trani e Passos, 1998). No Brasil, as principais cultivares são a 'Cultivada' e 'Folha Larga', as regiões Sudeste e Sul concentram a maior parte da área planta (Filgueira, 2013; Steiner, et al., 2011).

Apesar de apresentar demanda relativamente pequena de nutrientes, comparativamente a outras culturas, a rúcula é considerada exigente, devido ao ciclo curto e rápido crescimento especialmente no terço final do cultivo (Grangeiro et al., 2011). Com isso, manejar de forma eficiente a adubação torna-se crucial para a obtenção de elevada produtividade e preservação do ambiente.

Nota-se que a mesma recomendação de adubação sugerida para a cultura da rúcula é também adotada para plantas de e espécies e famílias diferentes. Trani et al. (2018a) recomendam para a rúcula e outras sete culturas a mesma adubação de plantio sendo de 20 - 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e 90 a 150 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura, parceladas de duas a quatro vezes.

Para a cultura da rúcula, o N é o segundo nutriente mais acumulado (Grangeiro et al., 2011), assim como as demais hortaliças folhosas, foi constatado que a rúcula é uma espécie altamente responsiva à adubação nitrogenada (Trani et al., 1994; Purquerio et al., 2007; Barboza, 2014). O N interfere direta e indiretamente na produtividade e na qualidade das hortaliças folhosas, uma vez que este nutriente favorece o crescimento vegetativo, proporciona incremento na área

fotossinteticamente ativa, isso porque a parte comercializável é constituída pelas folhas (Espindula et al., 2010; Filgueira, 2013). Além de proporcionar melhor aparência, com coloração mais atrativa e folhas mais suculentas (Nascimento et al., 2017).

Dado o rápido crescimento da planta de rúcula, o intervalo da adubação de plantio para adubação de cobertura é relativamente curto. Com isso para determinar a época de maior demanda nutricional e, assim aumentar a eficiência das adubações, deve-se lançar mão da análise de crescimento. Esta quantifica os incrementos e a contribuição dos diferentes processos fisiológicos sobre o desempenho vegetal e permite analisar a produção primária (Pedó et al., 2013).

A análise de crescimento permite acompanhar o crescimento vegetal em diferentes condições ambientais e de manejo (Aumonde et al., 2013). Segundo Grangeiro et al. (2011), a análise de crescimento e o acúmulo de nutrientes permite definir a época correta de fazer as adubações de cobertura.

Dessa forma, objetivou-se avaliar o crescimento, produtividade e acúmulo de nutrientes pela rúcula submetida a doses de nitrogênio.

## **1.2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **1.2.1 Rúcula**

A rúcula (*Eruca sativa* Miller) é uma planta herbácea, hortaliça folhosa de crescimento rápido, pertence à família Brassicaceae. Apreciada pelo sabor picante e odor agradável, apresenta alto valor nutricional, é rica em vitaminas A e C, potássio (K), enxofre (S) e ferro (Fe). Além dos benefícios nutricionais, a rúcula ainda apresenta efeitos anti-inflamatório e desintoxicante para o organismo (Filgueira, 2013; Medeiros, et al., 2007).

Originária do sul da Europa e parte ocidental da Ásia, há relatos do cultivo dessa espécie pelos romanos, antes do nascimento de Cristo. No Brasil, a rúcula é muito popular nas regiões colonizadas por imigrantes italianos (Sul e Sudeste do país). As condições climáticas destas regiões favorecem o desenvolvimento da planta, uma vez que necessita de condições amenas de temperatura (15 a 18° C). Temperaturas elevadas induzem o florescimento, prejudicando o sabor e o tamanho da planta que se torna menor, com folhas mais duras e picantes (Trani et al., 1992).

O ciclo produtivo varia de 35 a 50 dias em relação a época do ano que é cultivada. Sob temperaturas altas e dias ensolarados, o ciclo tende a reduzir. Segundo Filgueira (2013), condições climáticas amenas são mais adequadas para o bom desenvolvimento da rúcula. No entanto, existem resultados satisfatórios do cultivo de rúcula em regiões de clima quente e úmido como em Belém-PA (Gusmão et al., 2003) e na região semi-árida do Rio Grande do Norte-RN (Grangeiro et al., 2011; Oliveira et al., 2015).

### **1.2.2 Nitrogênio no solo e aspectos bioquímicos e nutricionais do nitrogênio nas plantas**

O consumo mundial de nitrogênio (N) reforça porque este nutriente é o mais usado na agricultura, superando os demais macronutrientes primários (fósforo e potássio) (Reetz, 2017). A alta demanda por fertilizantes nitrogenados pode ser relacionada a dois fatores importantes, o solo apresenta baixíssima reserva de nitrogênio (Troeh e Thompson, 2007), aliado a ausência de efeito residual das adubações com fertilizantes sintéticos (White, 2009; Raji, 2017).

Desta forma, muitas vezes, é indispensável o uso de fertilizante nitrogenado na agricultura para suprir a demanda das plantas, exceção nos casos onde ocorre a fixação de N atmosférico por microrganismos do solo em associação às plantas cultivadas (Brady e Weil, 2013).

Apesar de ser um dos elementos mais difundidos na natureza, compondo cerca de 78% da atmosfera, o N encontra-se na forma gasosa ( $N_2$ ) (Troeh e Thompson, 2007). Por isso, as plantas não conseguem assimilar o nutriente, por causa da forte ligação tripla que une os dois átomos ( $N\equiv N$ ), sendo necessária a transformação da molécula de forma natural (atmosférica mais biológica) ou industrial em formas que as plantas possam absorver (amônio ou nitrato) (Epstein e Bloom, 2006).

A adição de N ao solo, advindo de processo ambiental (descargas elétricas que com a umidade transformam  $N_2$  em  $HNO_3$ ) é considerada baixa, adiciona de 2 a 70 kg de N  $ha^{-1}$ , já que depende de diversos fatores, como a frequência das descargas elétricas, precipitação e da proximidade de fábricas que liberam gases nitrogenados na atmosfera (Troeh e Thompson, 2007; Brady e Weil, 2013). Em grande escala, a adição de N no solo é feita por fertilizantes vindo do processo

industrial, conhecido como Processo Haber-Bosh, no qual o  $N_2$  e o hidrogênio ( $H_2$ ) são submetidos a altas pressões (20 a 40 MPa) e temperaturas elevadas (400°C a 650°C), que, com o auxílio de um catalisador metálico, forma a molécula de amônia ( $NH_3$ ). A amônia é a fonte imediata para produção de adubos nitrogenados (Prado, 2008).

No solo, cerca 99% do N encontra-se na forma orgânica. A matéria orgânica do solo é composta pela parte particulada, ou seja, partículas parcialmente decompostas, mas ainda reconhecíveis a parte vegetal e animal. A outra parte, composta pelo húmus (Troeh e Thompsom, 2007). Assim, pode-se deduzir que o nitrogênio no solo não está prontamente disponível para as plantas, porque estas são moléculas grandes e complexas. E ainda, a distribuição de N no solo é aproximadamente a mesma da matéria orgânica no perfil do solo (White, 2009). Para que possa ser absorvido pelas plantas, o N sintético e o N atmosférico precisam ser transformados por microrganismos do solo (Brady e Weil, 2013), tendo em vista que ele é absorvido nas formas de amônio ( $NH_4^+$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ) e nitrito ( $NO_2^-$ ), sendo este último potencialmente tóxico às plantas e animais (Epstein e Bloom, 2006; Taiz, et al., 2017; Raij, 2017). No solo, o nitrogênio orgânico passa pelo processo de mineralização. Este processo é realizado por um vasto número de microrganismos, tendo em vista que a matéria orgânica do solo ou os resíduos culturais são muito diversificados e cada microrganismo atua em determinados substratos (Cantarella, 2007).

A mineralização da matéria orgânica é um processo enzimático e pode ocorrer dentro das células microbianas ou no meio externo, quando as enzimas são liberadas pelos microrganismos, o processo é catalisado por enzimas denominadas proteases (Brady e Weil, 2013). Após ação enzimática a primeira forma de nitrogênio obtido assimilável pelas plantas é o amônio ( $NH_4^+$ ), esta etapa é conhecida como amonificação (Thoer e Thompsom, 2007). O amônio formado neste processo está prontamente disponível para ser absorvido pelas plantas. No entanto, este pode ser adsorvido pelos colóides do solo, dissolvido na solução do solo ou volatilizado para a atmosfera, como também pode continuar a via de transformação do N e ser oxidado a nitrito ( $NO_2^-$ ) e nitrato (White, 2009; Brady e Weil, 2013).

Sob condições favoráveis, quase qualquer microrganismo pode realizar a amonificação, no entanto, apenas alguns podem fazer a nitrificação. *Nitrosomonas* sp. participam da transformação do amônio a nitrito e *Nitrobacter* sp. que

transformam nitrito a nitrato. Este último é a principal forma de nitrogênio absorvido pelas plantas (Cantarella, 2007; Prado, 2008; Brady e Weil, 2013).

Após ocorrer o contato íon raiz, o nitrogênio pode ser transportado para a parte aérea da planta ou metabolizado neste órgão dependendo da forma que ele for absorvido, nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) ou amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) (Epstein e Bloom, 2006; Stitt et al., 2002). Após ser absorvido o N é facilmente redistribuído via floema, principalmente na forma de aminoácidos, onde entrará no metabolismo normal do nutriente (Prado, 2008).

Devido à sua alta mobilidade, plantas carentes em N frequentemente apresentam-se com as folhas mais velhas amareladas. Na cultura da rúcula o sintoma de deficiência de N é caracterizado pelo aparecimento de coloração púrpura nas folhas mais velhas. Com isso, a planta tem seu crescimento diminuído (Almeida et al., 2011). Todavia, o excesso de N pode provocar o aumento de ataques por insetos sugadores e de doenças, principalmente as fúngicas. Plantas em excesso de N apresentam maior abundância de aminoácidos livres, estas moléculas de baixo peso molecular predispõe a planta ataques de agentes patogênicos, pois são de fácil assimilação por tais organismos (Yamada, 2004; Prado, 2008).

### **1.2.3 Nutrição e adubação nitrogenada em plantas de rúcula**

O fornecimento de doses adequadas de N favorece o crescimento da parte aérea das plantas e, para as hortaliças folhosas como a rúcula este nutriente confere efeito direto na produtividade (Filgueira, 2013). Isso ocorre porque a este nutriente está diretamente envolvido no crescimento da parte comercializável da planta, participando de funções essenciais, como a síntese de aminoácidos, proteínas enzimas e coenzimas e ainda, é constituinte da molécula de clorofila, onde ocorre a transformação de energia luminosa em energia química (Epstein e Bloom, 2008; Hawkesford et al., 2012; Taiz et al., 2017).

O N é o segundo nutriente mais absorvido por plantas de rúculas (Grangeiro et al., 2011). Deficiências de N provocam redução na produtividade e depreciação do produto colhido, isso porque o sintoma de deficiência se manifesta pela coloração arroxeadada nas folhas velhas em decorrência da redução do teor de clorofila e acúmulo de açúcares nas folhas, além de reduzir o crescimento das plantas e acelerar a senescência das folhas (Cakmak e Marschner, 1992; Busato, 2007; Lim et

al., 2007; Parrot et al., 2010; Almeida et al., 2011; Souza et al., 2011; Engels et al., 2012).

A rúcula responde de forma variável à adubação nitrogenada, sendo que a produtividade depende da dose adotada e da forma de cultivo, seja em condição de campo ou ambiente controlado (Purquerio et al., 2007). Quanto às fontes de N, Dijkstra et al. (2017) verificou que plantas de rúcula respondem de forma diferente para fontes de N. Por razão do seu ciclo curto estes recomendam o uso de ureia por apresentar maior disponibilidade de N em comparação a fontes de liberação lenta. No entanto, Menéndez et al. (2006) recomendam fertilizantes de liberação controlada, já que estes promovem redução das perdas de N por lixiviação e volatilização, mantendo o nutriente disponível por mais tempo para ser absorvido, melhorando o aproveitamento do N (Pasda et al., 2001).

### 1.3 REFERÊNCIAS

Almeida TBF, Prado RM, Correia MAR, Puga AP, Barbosa JC (2011) Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Biotemas**, Florianópolis, 24:7–36.

Aumonde TZ, Pedó T, Martinazzo EG, Moraes DM, Villela FA, Lopes NF (2013) Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. **Planta Daninha**, 31:99-108.

Barboza E (2014) **Adubação nitrogenada para consórcio de alface e rúcula**. 2014. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

Brady NC, Weil RR (2013) **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Editora Bookman, 686p.

Busato C (2007) **Características da planta, teores de nitrogênio na folha e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio**. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa Minas Gerais.

Cakmak I, Marschner H (1992) Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. **Plant Physiology**, 98:1222–1227.

Cantarella H (2007) Nitrogênio. In Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1017p.

Dijkstra DD, Longo U, Guilherme IH, Ferreira RV, Dias LNS, Buso WHD (2017) Cultivo de *Eruca sativa* sob diferentes manejos nutricionais. **Revista Agrarian**, Dourados, 10:61-69.

Engels C, Kirkby E, white P (2012) Mineral nutrition, yield and source-sink relationships. In: Marschner H (eds). **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press and Elsevier, London, p. 85-133.

Epstein E, Bloom AJ (2006) **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 401p.

Espindula MC, Rocha VS, Souza MA, Grossi JAS, Souza LT (2010) Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, 34:1404–1411.

Filgueira FAR (2013) **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 421p.

Grangeiro LC, Freitas FCL, Negreiros MZ, Marrocos STP, Lucena RRM, Oliveira RA (2011) Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 6:11-16.

Gusmão SAL, Lopes PRA, Silvestre WVD, Oliveira Neto CF, Pegado DS, Silva CLP, Santos LFS, Ferreira SG (2003) Cultivo de rúcula nas condições do Trópico Úmido em Belém. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 43, 2003, **Anais....**, p. 21

Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers T, Schjoerring J, Moller IH, White P (2012) Function of macronutrients. In: Marschner H (eds). **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press and Elsevier, London, p. 85-133.

Lim PO, Kim HJ, Nam HG (2007) Leaf senescence. **Annual Review Plant Biology**, 58:115–136.

Medeiros MCL, Medeiros DC, Liberalino Filho J (2007) Adubação foliar na cultura da rúcula em diferentes substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 2:158-161.

Menéndez S, Merino P, Pinto M, Gonzálezmurua C, Estavillo JM (2006) 3,4-Dimethylpyrazol phosphate effect on nitrous oxide, nitric oxide, ammonia, and carbon dioxide emissions from grasslands. **Journal of Environmental Quality**, Madison, 35:973- 981.

Nascimento MV, Silva Junior RL, Fernandes LR, Xavier RC, Benett KSS, Seleguini A, Benett CGS (2017) Manejo da adubação nitrogenada nas culturas de alface, repolho e salsa. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, 4:65–71.

Oliveira LAA, Bezerra Neto F, Silva ML, Oliveira OFN, Lima JSS, Barros Júnior AP (2015) Viabilidade agrônômica de policultivos de rúcula/cenoura/alface sob quantidades de flor-de-seda e densidades populacionais. **Revista Caatinga, Mossoró**, 28:116–126.

Parrott DL, Martin JM, Fischer AM (2010) Analysis of barley (*Hordeum vulgare*) leaf senescence and protease gene expression: a family C1A cysteine protease is specifically induced under conditions characterized by high carbohydrate, but low to moderate nitrogen levels. **New Phytologist**, 187:313–331.

Pasda G, Hähndel R, Zerulla W (2001) Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4- dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, 34:85-97.

Pedó T, Aumonde TZ, Lopes NF, Villela, F. A. Mauch CR (2013) Análise comparativa de crescimento entre genótipos de pimenta cultivados em casa de vegetação. **Bioscience Journal**, 29:125-131.

Prado RM (2008) **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Unesp, 407p.

Purquerio LFV, Demant LAR, Goto R, Villas Boas RL (2007). Efeito da adubação nitrogenada de cobertura e do espaçamento sobre a produção de rúcula. **Horticultura Brasileira**, 25:464-470.

Raij Bv (2017) **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 420p.

Reetz HF (2017) **Fertilizantes e seu uso eficiente**. São Pulo: ANDA, 178p.

Ruza A, Skrabule I, Vaivode A (2013). Influence of nitrogen on potato productivity and nutrient use efficiency. **Journal of Latvian Academy of Sciences**, Berlin, 67:247–253.

Souza LFG, Rodrigues MA, Silva MLP, Silva GS, Cecílio Filho AB (2011) Caracterização de sintomas de excesso de micronutrientes e deficiência de macronutrientes em rúcula. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, 29:3932-3939.

Steiner F, Pivetta LA, Castoldi G, Fiorenze S (2011) Produção e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 6:230:235.

Stitt M, Muller C, Matt E, Gibon Y, Carillo E, Morcuendo R, Scheible WR, Krapp A (2002) Step towards an integrated view of nitrogen metabolism. **Journal of Experimental Botany**. Recife, 53:959-970.

Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A (2017) **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 858p.

Trani PE, Fornasier JB, Lisbão RS (1992) **Cultura da rúcula**. Campinas, Instituto Agrônomo, 15p. (Boletim Técnico, 16).

Trani PE, Granja NP, Basso LC, Dias DCFS, Minami K (1994) Produção e acúmulo de nitrato pela rúcula afetados por doses de N. **Horticultura Brasileira**, Brasília, 12:25–29.

Trani PE, Purquerio LFV, Figueiredo GJB, Tivelli, SW, Blat SF (2018a) Alface, almeirão, agrião d'água, chicórias, coentro, espinafre e rúcula. In. Trani PE, Raij BV, Cantarella H, Figueiredo GJB (Eds.) **Hortaliças: recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: CATI, p.23-26 (Boletim técnico, 251).

Troeh FR, Thompson LM (2007) **Solos e fertilidade do solo**. São Paulo: Editora Andrei, 718p.

White RE (2009) **Princípios e práticas da ciência do solo: o solo como um recurso natural**. São Paulo: Editora Andrei, 426p.

Yamada T (2004) **Resistência de plantas às pragas e doenças: pode ser afetada pelo manejo da cultura**. Piracicaba: Informações Agronômicas Potafós, 24 p. (Documentos, 108).

## CAPÍTULO 2 – Produtividade da rúcula em função das doses de nitrogênio

**RESUMO** – O nitrogênio é um dos nutrientes mais demandado para a maioria das culturas. Para a rúcula, este é o segundo mais acumulado. Realizou-se este estudo com objetivo de avaliar a produtividade de rúcula quando submetida a doses de nitrogênio. O experimento foi conduzido em campo, de abril a junho de 2018, em Jaboticabal, SP. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de seis doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N). A adubação com nitrogênio proporcionou aumento na altura de plantas, número de folhas, área foliar, massa seca, com ajustes de equações de segundo grau, com máximos valores obtidos com doses entre 156 e 198 kg ha<sup>-1</sup> de N. Houve aumento nos teores dos macronutrientes em plantas adubadas com N, exceto para o teor de S. Os teores de micronutrientes apresentaram comportamento variável, houve incremento no teor de Zn e Mn, enquanto Fe e Cu reduziram com o aumento das doses de N. A máxima produtividade (16.461 kg ha<sup>-1</sup>) foi obtida com a dose de 213 kg ha<sup>-1</sup> de N.

**Palavras-chave:** *Eruca sativa*, adubação nitrogenada, nutrição mineral, macronutrientes

## 2.1 INTRODUÇÃO

O cultivo de hortaliças no Brasil vem crescendo nos últimos anos, e está relacionado com mudanças no hábito alimentar da população, que está buscando consumir alimentos mais saudáveis (Oliveira et al., 2015). Dentre as hortaliças mais consumidas destacam-se as folhosas como alface e mais recentemente a rúcula (*Eruca sativa* Miller). Rica em vitaminas A e C, além de cálcio e ferro. A rúcula é uma hortaliça de ciclo curto e de alto potencial produtivo (Jardina et al., 2017; Medeiros et al., 2007). Devido à estas características, suprir demanda de nutrientes da rúcula é um desafio.

Para a obtenção de elevadas produtividades nos sistemas agrícolas o manejo da fertilidade solo torna-se indispensável. Para culturas de ciclo curto e elevada produtividade, determinar a dose de N a ser aplicada torna-se um desafio. Tendo como efeito da adubação nitrogenada o aumento no crescimento da parte aérea e na coloração das folhas, além de promover incremento de produtividade (Aguar Júnior et al., 2010).

A produção intensiva de hortaliças aliado ao constante revolvimento do solo, leva a perdas da matéria orgânica e da fertilidade natural neste ambiente de cultivo. O plantio de espécies de rápido crescimento como a rúcula, justifica o elevado aporte de adubos sintéticos, dentre eles os fertilizantes nitrogenados (Negreiro et al., 2014).

Frequentemente faz-se a recomendação de N no plantio para a cultura da rúcula de forma semelhante a outras hortaliças folhosas, sem que haja distinção entre espécie e entre as diferentes famílias que compõe este grupo, e tão pouco sobre o sistema de plantio, seja ele cultivo de campo ou cultivo protegido. Trani et al. (2018a) recomendam de 20 a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N no plantio e de 90 a 150 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura. Resultados de pesquisa demonstram grande variação de produtividade da rúcula de acordo com o ambiente de plantio e o espaçamento adotado, bem como a fonte de N utilizada e forma de liberação (Menéndez et al., 2006; Purquerio et al., 2007; Dijkstra et al., 2017).

Assim, diante do exposto realizou-se este estudo com objetivo de avaliar crescimento, teor foliar de nutrientes e a produtividade da rúcula em função de doses de nitrogênio.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Localização do experimento e caracterização da área

O experimento foi conduzido em campo, de abril a junho de 2018, na Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal – SP, cujas coordenadas são 21°15'22" S, 48°15'22" W e altitude de 575 metros.

O clima da região é classificado como tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18 °C, do tipo Aw segundo classificação de Köppen-Geiger (André e Garcia, 2015). No período experimental, a temperatura média, média das mínimas e média das máximas foram 20,4; 14,3 e 27,7 °C. A umidade relativa do ar média foi de 63,5% e as médias da mínima e máxima foram 35,9 e 87,5%, respectivamente. A precipitação pluvial observada durante o período foi de 10 mm.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico de textura muito argilosa (Santos et al., 2013). Foram coletadas amostras de solo na camada de 0-0,20 m, antes da instalação do experimento, o qual apresentou: pH(CaCl<sub>2</sub>) de 5,6; M.O.= 17 mg dm<sup>-3</sup>; P(Resina) = 31 mg dm<sup>-3</sup>; S = 9 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 22 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 10 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K = 3,3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 15 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e saturação por bases (V) = 71%.

### 2.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com seis tratamentos (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> N) e quatro repetições. Utilizou-se a ureia como fonte de nitrogênio.

Cada parcela possuiu 4 m de comprimento e 1,20 m de largura, perfazendo um total de 4,8 m<sup>2</sup> por parcela. Para compor a área útil desconsiderou-se no momento da coleta das plantas as que compunham a primeira linha e as duas primeiras plantas de cada linha, desta forma coletou-se apenas as linhas centrais totalizando 3,5m<sup>2</sup> a área útil de cada parcela.

### **2.2.3 Instalação e condução do experimento**

O experimento teve início no dia 10 de maio de 2018, com a semeadura da rúcula nos canteiros, que foram previamente preparados com gradagens e rotoencanteiradora. Com base na análise de solo foi realizada a calagem para elevar a saturação por bases a 80%. A adubação de plantio foi realizada três dias antes da semeadura e constou de 180 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simples) e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio), segundo a recomendação de Trani et al. (2018a). Foram aplicados 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, exceto no tratamento testemunha (0 kg ha<sup>-1</sup> N).

A rúcula 'Folha Larga' foi semeada em sulcos espaçados 0,25 m entre si. Cada parcela foi constituída por 16 linhas transversais ao comprimento do canteiro. A emergência das plantas ocorreu três dias após a semeadura. Com o objetivo de adequar o espaçamento entre plantas a 0,05 m, foram realizados dois desbastes, ao 4 e 10 dias após a emergência (DAE).

Fez-se a adubação de cobertura com a quantidade complementar de nitrogênio aplicado na semeadura, aos 10 e 17 DAE das plantas. O controle de plantas daninhas foi feito de forma manual. Não houve incidência de pragas e doenças durante a condução do experimento.

### **2.2.4 Características avaliadas**

#### **Altura da planta, número de folhas e área foliar**

A altura foi avaliada com o auxílio de uma régua, medindo-se do colo até o ápice da parte aérea. Através da contagem das folhas obteve-se o número de folhas por planta. A área foliar foi obtida através de um integrador eletrônico de área, da LICOR® modelo LI-3100.

#### **Massa seca**

A parte aérea das plantas foi lavada em água corrente, água mais solução detergente, em seguida lavadas com água deionizada. Para determinar o acúmulo de massa seca, o material foi seco em estufa com circulação forçada de ar, a 65±5

°C até atingir massa constante. Em seguida, foi obtida a massa seca (g) com o auxílio de uma balança eletrônica com precisão de duas casas decimais.

### **Teor de nutrientes**

Os teores de macronutrientes e micronutrientes foram determinados na planta toda aos 35 DAE. As plantas coletadas foram lavadas em água corrente, mergulhadas em solução ácida com a concentração de 1%, posteriormente lavadas em água deionizada. Em seguida as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar, a  $65\pm 5$  °C até atingir massa constante. Após a secagem o material foi moído em moinho de facas, pesado e digerido para obter os extratos usados para determinar os teores de nutrientes utilizando-se a metodologia proposta por Miyazawa et al. (2009).

### **Produtividade**

Coletaram-se 80 plantas em 1 m<sup>2</sup> em cada parcela experimental, a massa fresca obtida foi extrapolada para 1 hectare (kg ha<sup>-1</sup>), considerando-se a área de 6.250 m<sup>2</sup> efetivamente cultivados em canteiros.

#### **2.2.5 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p\leq 0,05$ ) e as médias comparadas em cada época pelo teste de Tukey. Quando significativo foi feita a análise de regressão, definindo o melhor ajuste segundo a combinação de significância e maior coeficiente de determinação. Todas as análises estatísticas foram feitas com o software estatístico AgroEstat (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015) e os gráficos com o programa OriginPro 8.0.

### **2.3 RESULTADOS**

A altura de plantas, folhas por plantas, área foliar e massa seca da parte aérea foram influenciados pelas doses de N (Tabela 1).

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para altura (AP), número de folhas (NF), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de rúcula 'Folha Larga' em função de doses de nitrogênio.

N (kg ha <sup>-1</sup> )	AP Cm	NF folhas planta <sup>-1</sup>	AF cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup>	MSPA g planta <sup>-1</sup>
Teste F	24,39**	4,39*	22,23**	9,63*
CV (%)	4,41	7,39	8,99	9,75
DMS	3,44	1,55	68,12	0,52

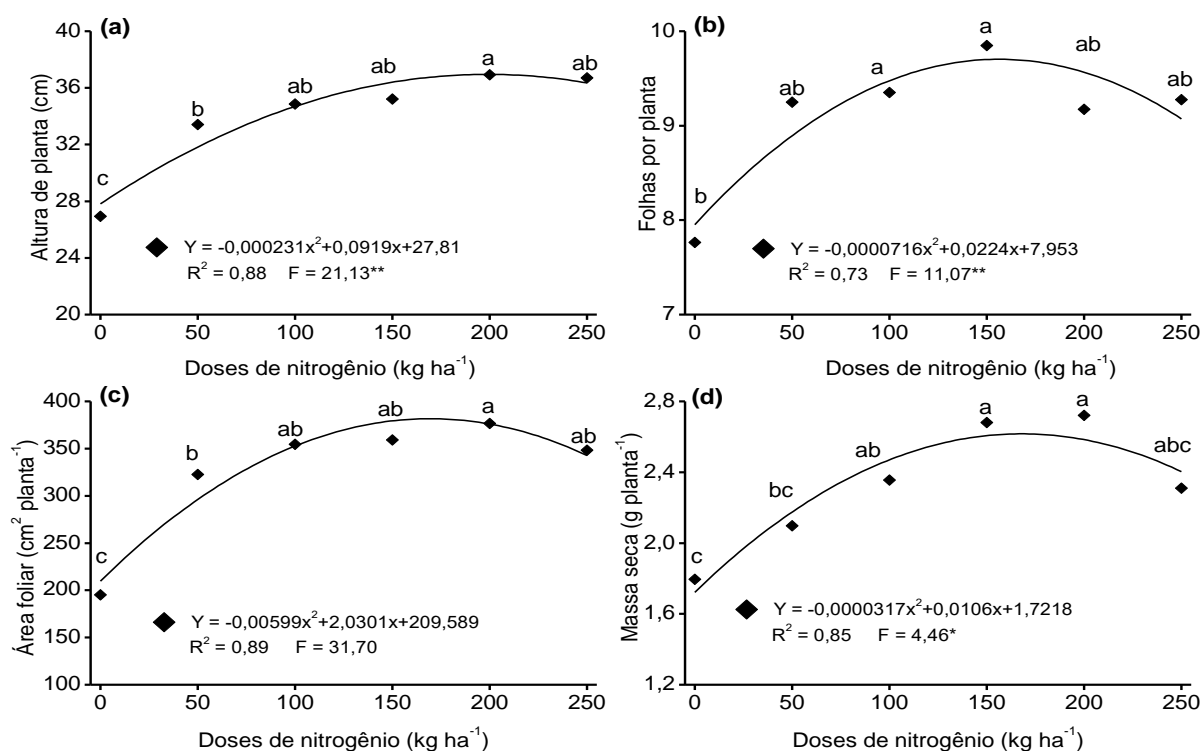
\*\* e \* Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; CV = Coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa.

A adubação com N proporcionou plantas mais altas em relação às não adubadas. A altura das plantas respondeu positivamente às doses de N e apresentou ajuste polinomial quadrático. A altura máxima das plantas foi de 36,9 cm, obtida com 198,9 kg ha<sup>-1</sup> de N, enquanto sem adubação nitrogenada a altura foi de 27,8 cm (Figura 1a); portanto, cerca de 25% menor que a máxima.

Assim como observado para altura de plantas, as doses de N promoveram maior número de folhas, com ajuste do modelo polinomial quadrático (Figura 1b). O número máximo de folhas por plantas foi de 9,7 com 156 kg ha<sup>-1</sup> de N. Doses superiores causaram redução no número de folhas. Com 156 kg ha<sup>-1</sup> de N a rúcula apresentou 1,7 folha a mais em relação a plantas não adubadas (Figura 1b) o que representa aumento de 23%.

A área foliar e massa seca da parte aérea foram maiores em plantas que receberam adubação nitrogenada e, também, houve ajuste do modelo polinomial quadrático (Figuras 1c e 1d). A máxima para área foliar foi de 381,60 cm<sup>2</sup> por planta, obtida com 170 kg ha<sup>-1</sup> de N. Plantas que receberam adubação nitrogenada apresentaram aumento de até 82% em relação às plantas que não receberam N.

A massa seca da parte aérea respondeu positivamente às doses de N até 167 kg ha<sup>-1</sup> de N. Máxima massa seca foi de 2,6 g planta<sup>-1</sup>. Maiores doses promoveram efeito negativo sobre a massa seca e na ausência de adubação nitrogenada, a parte aérea da rúcula foi 34% menor.



**Figura 1.** Altura (a), folhas por planta (b), área foliar (c) e massa seca da parte aérea (d) de rúcula 'Folha Larga' em função de doses de nitrogênio (Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey,  $p > 0,05$ ).

Exceto para enxofre, cujo teor médio foi de 8,2 g kg<sup>-1</sup>, foi observado que o aumento no fornecimento de N influenciou os teores dos macronutrientes na parte aérea da rúcula, na época da colheita (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para teores de macronutrientes na parte aérea da rúcula 'Folha Larga', em função de doses de nitrogênio.

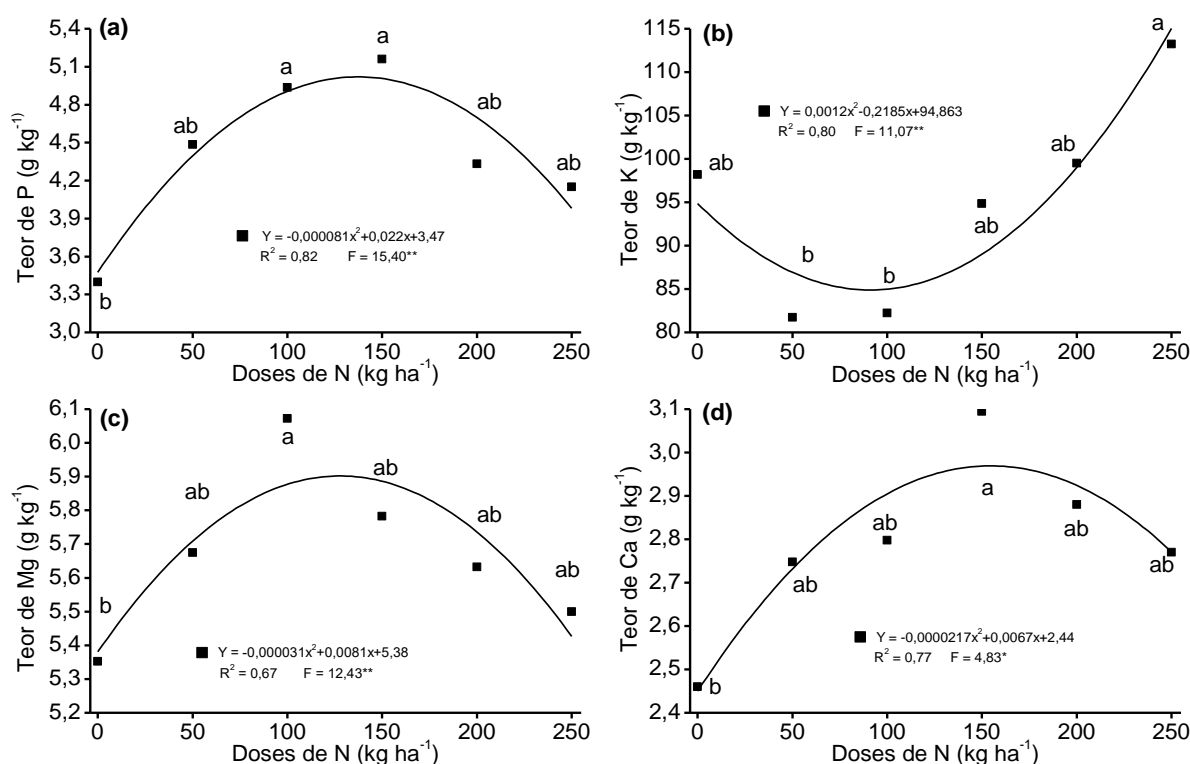
N (kg ha <sup>-1</sup> )	N	P	K	Mg	Ca	S
	(g kg <sup>-1</sup> )					
Teste F	13,21 <sup>**</sup>	4,05 <sup>*</sup>	3,73 <sup>*</sup>	3,62 <sup>*</sup>	3,05 <sup>*</sup>	1,11 <sup>ns</sup>
CV (%)	3,34	14,04	12,91	4,58	9,97	4,46
DMS	1,93	1,42	28,17	0,59	0,63	0,84

ns, \*\* e \*: não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; CV = Coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa.

Plantas adubadas com N apresentaram maior teor de P até a dose de 135 kg ha<sup>-1</sup> N (Figura 2a), com teor máximo estimado de 4,9 g kg<sup>-1</sup>. Resultado inverso foi observado para o teor de K, sendo que o aumento na dose de N até 91 kg ha<sup>-1</sup> reduziu o teor de K. Entre o tratamento testemunha e a dose de 91 kg ha<sup>-1</sup> de N,

observou-se redução de 94,8 para 84,9 g kg<sup>-1</sup>, doses acima desta promoveram aumento no teor de K (Figura 2b).

Com o aumento nas doses de N (Figura 2c), o teor de Mg aumentou até 130 kg ha<sup>-1</sup>, quando apresentou teor de 5,9 g kg<sup>-1</sup>. Doses superiores provocaram redução no teor de Mg nas folhas da rúcula, atingindo 5,4 g kg<sup>-1</sup> na maior dose de N utilizada. Os teores de Ca apresentaram resposta semelhante à de Mg, com o máximo na dose de 154 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 2d), correspondente a 2,9 g kg<sup>-1</sup>. Doses acima desta casaram redução no teor do nutriente, observando-se, na dose máxima, 2,7 g kg<sup>-1</sup>.



**Figura 2.** Teor de fósforo (a), potássio (b), magnésio (c) e cálcio (d) em plantas de rúcula 'Folha Larga' em função de doses de nitrogênio (Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey,  $p > 0,05$ ).

Com relação aos micronutrientes, houve efeito significativo de doses de N no teor de ferro, cobre, manganês e zinco na parte aérea de rúcula (Tabela 3).

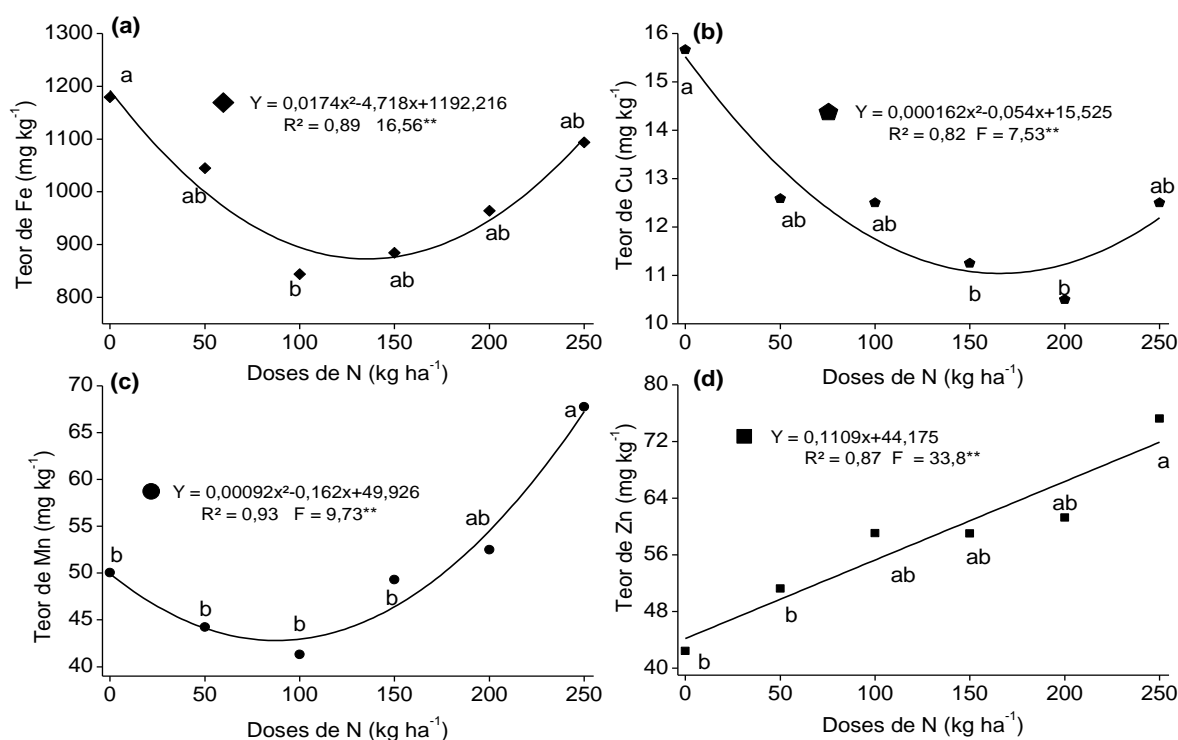
Em respostas às adubações com nitrogênio, os teores de ferro e cobre (Figura 3a, 3b) ajustaram-se à equação polinomial quadrática. Com o aumento nas doses de N em cobertura foi observado inicialmente redução dos teores foliares de Fe e Cu, seguido de aumento nas maiores de N. Entretanto, máximas

concentrações de Fe e Cu na massa seca foram observadas em plantas não adubadas com N, estas apresentaram os teores de 1192 e 15 mg kg<sup>-1</sup> para Fe e Cu, respectivamente. Enquanto os teores mínimos 872 mg kg<sup>-1</sup> de Fe e 11 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, foram obtidos com 135,5 e 166,6 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para o teor de ferro, cobre, manganês e zinco, e produtividade de rúcula 'Folha Larga' em função de doses de nitrogênio.

N kg ha <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>				Produtividade kg ha <sup>-1</sup>
	Ferro	Cobre	Manganês	Zinco	
Teste F	3,4**	5,47**	6,89**	6,33**	17,47**
CV (%)	13,72	12,09	13,83	14,92	14,32
DMS	315,92	3,47	16,16	19,90	4328,67

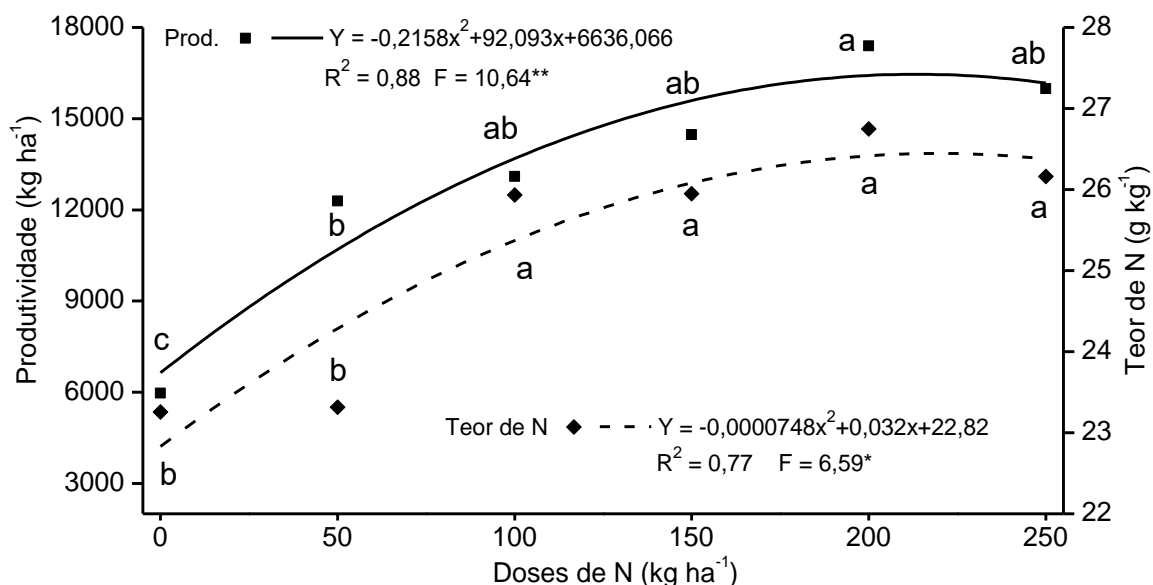
\*\* Significativo a 1% de probabilidade; CV = Coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa.



**Figura 3.** Teor de ferro (a), zinco (b), manganês (c) e cobre (d) em plantas de rúcula 'Folha Larga' em função de doses de nitrogênio (Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey,  $p > 0,05$ ).

Plantas adubadas com N até 88 kg ha<sup>-1</sup> apresentaram redução no teor de Mn, sendo estimado o valor mínimo de 42,7 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3c). Doses de N acima desta promoveram aumento no teor de Mn, sendo o máximo obtido com 250 kg ha<sup>-1</sup> de N (67 mg kg<sup>-1</sup> de Mn), o que representa aumento de 56% em relação ao teor mínimo estimado. O aumento nas doses de N proporcionou incremento no teor de Zn em plantas de rúcula, correspondente os maiores teores na maior dose (250 kg ha<sup>-1</sup> de N) de 80 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 3d).

Houve efeito significativo de doses de nitrogênio sobre a produtividade (Tabela 3), e verificou-se ajuste do modelo polinomial quadrático. Houve aumento de produtividade até 213 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando foram constados 16.461 kg ha<sup>-1</sup> de rúcula. Doses de N acima da estimada para a produtividade máxima causaram redução na produtividade da rúcula (Figura 4). Na ausência da adubação nitrogenada, a produtividade foi de 6.636 kg ha<sup>-1</sup>, 60% menor comparativamente à máxima produtividade.



**Figura 4.** Produtividade e teor de nitrogênio em plantas de rúcula 'Folha Larga' em função de doses de nitrogênio. \*:significativo a 5% de probabilidade, \*\*:significativo a 1% de probabilidade. Letras minúsculas iguais demonstram semelhança entre doses de N, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve ajuste polinomial quadrático para o teor de N na massa seca da parte aérea da planta de rúcula em resposta à adubação nitrogenada (Figura 4). O teor máximo estimado de N na massa seca da rúcula foi de 26,4 g kg<sup>-1</sup>, obtido com a

dose de 220 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (Figura 4). Plantas não adubadas com N apresentaram de 22,4 g kg<sup>-1</sup> de N. O teor de N na parte aérea das plantas de rúcula que promove 90% da produtividade total (14.815 kg ha<sup>-1</sup> de rúcula) foi de 25,7 g kg de N obtidos com adubação de 126 kg ha<sup>-1</sup> de N, o que compreende uma economia de 87 kg ha<sup>-1</sup> de N. Para obtenção da máxima produtividade (16.461 kg ha<sup>-1</sup> de rúcula) o teor de N na massa seca foliar foi de 26,2 g kg de N.

Na dose de N de 213 kg ha<sup>-1</sup>, que possibilitou a máxima produtividade de rúcula, observou-se os teores médios e estimados de 26,2; 4,5; 102,7; 2,8; 5,7; e 8,2 g kg<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca, Mg e S e 976,7; 11,3; 57,1 e 67 mg kg<sup>-1</sup> de Fe, Cu, Mn e Zn na parte aérea da planta.

## 2.4 DISCUSSÃO

De modo geral, quando adubadas com N as plantas de rúcula apresentaram maior altura, número de folhas, área foliar e massa seca. Por fazer parte da molécula de clorofila, maiores doses de N pode ter favorecido todo o aparato fotossintético e isso promoveu a produção de fotoassimilados, tendo em vista que o crescimento é regulado por processos que otimizam a síntese de fotoassimilados (Reis et al., 2006; Engels, 2012). Com isso, favoreceu o crescimento em altura das plantas de rúcula até a dose de 198,9 kg ha<sup>-1</sup> N. Apesar disso, doses acima desta reduziram o número de folhas por plantas, área foliar e a massa seca. Isso ocorreu devido provavelmente pelo sombreamento mútuo, que é ocasionado pelo aumento excessivo da área folia, desta forma as plantas competem luz. Os resultados encontrados neste trabalho, são superiores aos obtidos por Carvalho et al. (2012) que obteve altura máxima de 16,3 cm adicionando 280 kg ha<sup>-1</sup> N. Já Cavalari et al. (2010), trabalhando com doses de N obteve plantas de rúcula com altura máxima de 22,8 cm com 172 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto Purquerio et al. (2007) obteve plantas com 24,8 cm de altura com 191,5 kg ha<sup>-1</sup> N. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (2017), que em experimento de campo encontrou plantas com altura de 32,0 cm com dose de 250 kg ha<sup>-1</sup> N.

O N estimula o crescimento de diferentes partes das plantas, uma vez que está envolvido na síntese de pigmentos de proteínas ou cloroplastos e na transferência de elétrons, o que resulta na formação de cloroplastos com maior eficiência fotossintética (Chen et al., 2008), que está associado ao aumento da área

foliar, o principal componente fotossintetizante da planta de rúcula. A aplicação de até  $170 \text{ kg ha}^{-1}$  de N promoveu aumento na área foliar da rúcula. Em contraste, plantas que não receberam adubação nitrogenada e contaram apenas com o N advindo da mineralização da matéria orgânica, apresentaram redução em todas as características biométricas avaliadas.

O crescimento da folha e conseqüentemente o aumento da área foliar são reflexos do alongamento e divisão celular (Cosgrove, 2005), que depende de nutrientes como K, que pela redução da osmose celular aumenta o influxo de água e aumenta a pressão de turgor celular (Gorska et al., 2008); bem como do P, que é determinante no número e funcionamento de aquaporinas, as quais regulam o influxo de água para a célula (Maurel, et al., 2008; Taiz et al., 2017).

Plantas de rúcula não adubadas com N apresentaram redução na produção de fotoassimilados. Isso pode ter ocorrido porque a luz interceptada pelas folhas não é utilizada nas reações fotoquímicas, mas dissipada na forma de calor (Groot et al., 2003). Com isso, houve redução na altura de plantas, número de folhas, área foliar e por conseqüência, redução na massa seca, uma vez que esta variável é a expressão das características anteriormente citadas. No presente estudo foi observado incremento na massa seca até  $167 \text{ kg ha}^{-1}$ . Resultados semelhantes foram observados por Purquerio et al. (2007), estuando doses de N no cultivo de rúcula, observou incremento na massa seca (2,5 g por planta) até  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  N. Já Silva (2017) obteve plantas com até 4,3 g por planta com  $250 \text{ kg ha}^{-1}$  N. Enquanto Sarderio et al. (2012) em condição de campo observou plantas com 5,1 g com  $141 \text{ kg ha}^{-1}$  N. A massa seca está associado a uma soma de fatores, tais como altura de planta, número de folhas e área foliar, as quais podem expressar o estado nutricional das plantas, uma vez que estão relacionadas aos teores de nutrientes presente na massa seca das plantas de rúcula.

De modo geral, o aumento nas doses de N proporcionou incremento nos teores de todos os macronutrientes, o que provocou modificações constantes no estado nutricional das plantas de rúcula. Com relação ao teor de N na massa seca da rúcula, houve alta correlação entre esta variável e a produtividade, onde observou-se que o teor máximo de N foi de  $26,4 \text{ g kg}^{-1}$  obtido com  $220 \text{ kg ha}^{-1}$  N. Enquanto que para a obtenção da produtividade máxima o teor de N foi de  $26,2 \text{ g kg}^{-1}$  obtido com  $213 \text{ kg ha}^{-1}$  N. Estes resultados são inferiores aos encontrados por Ratke et al. (2011), que obteve  $40,4 \text{ g kg}^{-1}$  de N na massa seca em plantas

adubadas com 598 kg ha<sup>-1</sup> N. Os teores estão abaixo da faixa considerada adequada por Trani et al. (2018b), que sugerem teores de N na massa da rúcula de 40 a 50 g kg<sup>-1</sup>.

Observou-se que houve aumento do teor foliar de P com o aumento das doses de N. Isso pode ter ocorrido por causa do aumento do pH do solo rizosférico durante o processo de hidrólise da ureia, o que favoreceu a absorção de P (Cantarella, 2007). Desta forma, tem-se o aumento na absorção e transporte de P na planta, porque o processo de hidrólise do amônio aumenta a taxa de dissociação do complexo fosfato-carregador do xilema, com isso, observou-se maior concentração de P na parte aérea da planta. O máximo teor de P estimado foi de 4,9 g kg<sup>-1</sup>, o qual ficou dentro da faixa considerada adequada por Trani et al. (2018b), ou seja, 3 a 8 g kg<sup>-1</sup>. Para a máxima produtividade a relação N/P foi de 5,8 no tecido foliar da planta de rúcula.

O teor foliar de K decresceu até a dose de 91 kg ha<sup>-1</sup> N, a partir deste ponto houve aumento no teor deste nutriente na massa seca da planta. O teor máximo de K foi 115,2 g kg<sup>-1</sup>, muito acima da faixa considerada adequada por Trani et al. (2018b), ou seja, 30 a 70 g kg<sup>-1</sup>. O K apresenta relação sinérgica com o N, o teor adequado de K na planta evita a absorção excessiva de N na forma de amônio, já que este atua na ativação de enzimas vegetais que auxiliam na assimilação de amônio, reduzindo o efeito tóxico deste íon (Yang et al., 2015).

O alto teor de K provocou redução acentuada na absorção do íon Ca<sup>2+</sup>. Isso ocorreu porque o K e Ca apresentam relação de antagonismo, ou seja, altos teores do K reduz a absorção de Ca (Souza et al., 2007; Hawkesford et al., 2012). O teor de Ca (2,9 g kg<sup>-1</sup>) ficou muito abaixo da faixa considerada adequada por Trani et al. (2018b), ou seja, 20 a 40g kg<sup>-1</sup>. Plantas adubadas com N apresentaram aumento no teor de Mg. O teor de Mg (5,9 g kg<sup>-1</sup>) ficou dentro da faixa considerada adequada por Trani et al. (2018b) de 4 a 7 g kg<sup>-1</sup>. O aumento excessivo na absorção de K não reduziu o teor de Mg como observado para o Ca.

Em repostas ao aumento das doses de N, os teores dos micronutrientes Fe e Cu apresentaram redução, o que pode ser explicado pela interação competitiva do Fe com o P ou mesmo pelo processo de redução do nitrato, que bloqueia a redutase Fe<sup>3+</sup> provocando redução do ferro ativo (Fe<sup>2+</sup>) (Malavolta, 2006). No entanto, o teor de Cu ficou dentro da faixa considerada adequada por Trani et al. (2018b), ou seja, 5

a  $20 \text{ mg kg}^{-1}$ , enquanto o teor de Fe ficou acima do intervalo estabelecido ( $100$  a  $300 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Houve aumento nos teores dos micronutrientes Mn e Zn em respostas às doses de N. O Mn está diretamente ligado ao processo de incorporação do N a esqueletos de carbono. Isso porque o Mn é o ativador da nitrito redutase, além de fazer parte do processo de alongação celular, responsável pelo crescimento vegetal (Broadley et al., 2012). O teor de Mn na massa seca da rúcula ( $67 \text{ mg kg}^{-1}$ ) está adequado segundo o intervalo estabelecido por Trani et al. (2018b), que é de  $50$  a  $160$ . Para o Zn teores deste nutriente na planta promovem aumento no teor de auxina, este hormônio, o qual está envolvida processo de expansão celular (Taiz et al. 2017). Além disso, o Zn está associado à redução de nitrato e síntese proteica, logo, o aumento de Zn na planta provoca incremento na produção da massa seca (Broadley et al., 2012). O teor de Zn na massa seca da rúcula ( $80 \text{ mg kg}^{-1}$ ) está adequado conforme intervalo sugerido por Trani et al. (2018b), que é de  $45$  a  $80 \text{ mg kg}^{-1}$ .

As maiores produtividades estiveram associadas ao aumento das doses de N, que favoreceu maior incremento em altura de plantas e área foliar, com isso o N proporcionou maior atividade fotossintética e assimilação de nutrientes, que resultou em maior produção de fotoassimilados, proporcionando maior massa seca das plantas de rúcula e conseqüentemente maior produtividade.

A adição de apenas  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N proporcionou aumento de  $61,3\%$  na produtividade da rúcula, com valor estimado de  $10.703 \text{ kg ha}^{-1}$ . Quando não recebem adubação, as plantas tendem a contar com nutrientes residuais do próprio solo (Epstein e Bloom, 2008). Desta forma, a produtividade das culturas nutricionalmente exigentes e de ciclo curto como as hortaliças tendem expressar produtividades muito baixas, dado o baixo teor de N nos solos. Plantas que não receberam adubação nitrogenada apresentam baixa produtividade causada pela limitação nutricional (Cantarella, 2007).

## 2.5 CONCLUSÕES

A máxima altura, número de folhas, área foliar e massa seca de plantas de rúcula 'Folha Larga' são obtidas com a faixa de 156 a 198 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

O aumento nas doses de N proporcionou aumento nos teores de macro e micronutrientes, exceto para o teor de Fe e Cu que decresceram nas maiores doses.

A máxima produtividade da rúcula (16.461 kg ha<sup>-1</sup> de massa fresca) foi obtida com a dose de 213 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

A rúcula 'Folha Larga' não responde às doses crescentes de forma proporcional para incrementos em crescimento e produtividade.

## 2.6 REFERÊNCIAS

Aguiar Júnior RA, Guissem JM, Silva AGP, Figueiredo RT, Chaves AM, Paiva JBP, Santos FN (2010) Interferência de doses de nitrogênio na produção de área foliar, biomassa fresca e seca de rúcula. **Horticultura Brasileira**, Brasília, 28:S3970–S3974.

Andre RGB, Garcia A (2015) Aspectos climáticos do município de Jaboticabal-SP. **Nucleus**, 12:263-270.

Barbosa JC, Maldonado Júnior W (2015) **Experimentação Agronômica e Agroestat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. 1. ed. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015.

Broadley M, Brouwn P, Cakmak I, Rengel Z, Zhao F (2012) **Function of nutrients: micronutrients** In: Marschner H (eds). **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press and Elsevier, London, p. 191-248.

Cantarella H (2007) Nitrogênio. In Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1017p.

Carvalho KS, Bonfim-Silva EM, Silveira MHD, Cabral CEA, Leite N (2012) Rúcula submetida à adubação nitrogenada via fertirrigação. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, 8:1545-1543.

Cavalari DF, Krause W, Netto MA, Netto MA, Netto MA (2010) Doses de nitrogênio na cultura da rúcula In: Congresso de Iniciação Científica, **Anais...** Cáceres/MT, 6:2178-7492.

Cavallaro Júnior ML, Trani PE, Passos FA, Kuhn Neto J, Tivelli SW (2009) Rocket salad and tomato yield correlated to organic and mineral fertilization N and P. **Bragantia**, 68:347-356.

Chen W, Yang X, He Z, Feng Y, Hu F (2008) Differential changes in photosynthetic capacity, 77 K chlorophyll fluorescence and chloroplast ultrastructure between Zn-efficient and Zn-inefficient rice genotypes (*Oryza sativa*) under low zinc stress. **Physiology Plant**, 132:89–101.

Cosgrove DJ (2005). Growth of the plant cell wall. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, 6:850–861.

Dijkstra DD, Longo U, Guilherme IH, Ferreira RV, Dias LNS, Buso WHD (2017) Cultivo de *Eruca sativa* sob diferentes manejos nutricionais. **Revista Agrarian**, Dourados, 10:61-69.

Engels C, Kirkby E, white P (2012) Mineral nutrition, yield and source-sink relationships. In: Marschner H (eds). **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press and Elsevier, London, p. 85-133.

Epstein E, Bloom AJ (2006) **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 401p.

Feltrim AL, Cecílio Filho AB, Rezende BLA, Barbosa JC (2008). Crescimento e acúmulo de macronutrientes em chicória coberta e não coberta com polipropileno. **Horticultura Brasileira**, 26:050-055.

Filgueira FAR (2013) **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 421p.

Gastal F, Lemaire (2002) N uptake and distribution in crops: An agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of experimental botany**, 53:789-799.

Gorska AYQ, Holbrook NM, Zwieniecki MA (2008). Nitrate control of root hydraulic properties in plants: translating local information to whole plant response. **Plant Physiology**, 148:1159–1167.

Grangeiro LC, Costa KR, Medeiros MA, Salviano AM, Negreiros M, Bezerra Neto F, Oliveira SL (2006) Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semi-Árido. **Horticultura Brasileira**, 24:190-194.

Grangeiro LC, Freitas FCL, Negreiros MZ, Marrocos STP, Lucena RRM, Oliveira RA (2011) Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 6:11-16.

Groot CC, Boogaard R, Marcelis LFM, Harbinson J, Lambers H (2003) Contrasting effects of N and P deprivation on the regulation of photosynthesis in tomato plants in relation to feedback limitation. **Journal of Experimental Botany**, 54:1957–1967.

Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers T, Schjoerring J, Moller IH, White P (2012) Function of macronutrients. In: Marschner H (eds). **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press and Elsevier, London, p. 85-133.

Jardina LL, Cordeiro CAM, Silva MCC, Sanches AG, Araújo Júnior PV (2017) Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, 4:78-82.

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

Maurel C, Verdoucq L, Luu DT, Santoni V (2008) Plant aquaporins: membrane channels with multiple integrated functions. **Annual Review Plant Biology**, 59:595–624.

Medeiros MCL, Medeiros DC, Liberalino Filho J (2007) Adubação foliar na cultura da rúcula em diferentes substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 2:158-161.

Menéndez S, Merino P, Pinto M, Gonzálezmurua C, Estavillo JM (2006) 3,4-Dimethylpyrazol phosphate effect on nitrous oxide, nitric oxide, ammonia, and carbon dioxide emissions from grasslands. **Journal of Environmental Quality**, Madison, 35:973-981.

Miyazawa M, Pavan MA, Muraoka T, Carmo CAFS, Melo WJ (2009) Análise química de tecido vegetal. In: Silva FC (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, p. 191-233.

Negreiros AMP, Linhares PCF, Pereira MFS, Almeida AMB, Oliveira JD (2014) Eficiência agroecônômica do esterco bovino em cultivo sucessivo de rúcula. **Revista Verde**, Pombal, 9:02-105.

Oliveira LAA, Bezerra Neto F, Silva MLS, Oliveira OFN, Lima JSS, Barros Júnior AP (2015) Viabilidade agrônômica de policultivos de rúcula/cenoura/alface sob a qualidade de flor-de-seca e densidades populacionais. **Revista Caatinga**, Mossoró, 28:116-126.

Prado RM (2008) **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora Unesp, 407p.

Purquerio LFV, Demant LAR, Goto R, Villas Boas RL (2007). Efeito da adubação nitrogenada de cobertura e do espaçamento sobre a produção de rúcula. **Horticultura Brasileira**, 25:464-470.

Ratke RF, Verginassi A, Basto DC, Morgado HS, Souza MRF, Fernandes EP (2011). Production and levels of foliar nitrogen in rocket salad fertilized with controlled-release nitrogen fertilizers and urea. **Horticultura Brasileira** 29:246-249.

Reis AR, Furlani Júnior E, Buzetti S, Andreotti M (2006) Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, 65:163–171.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VAV, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JÁ, Cunha TJF, Oliveira JB, (2013) **Sistema brasileiro de classificação de solos** – 3 ed. ver. ampl. - Brasília, DF: EMBRAPA.

Sardeiro LS, Santana CC, Felix RS, Souza AS, Costa AA (2015) Comportamento de rúcula sobre doses crescentes de nitrogênio no Oeste da Bahia. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, **Anais...** Natal/RN. 1-4.

Silva PHS (2017) **Adubação nitrogenada em rúcula: Efeitos no crescimento, produtividade e nutrição**. 2017. 36 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

Souza DMG, Miranda LN, Oliveira SA (2007) Acidez do solo e sua correção. In Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1017p

Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A (2017) **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 858p.

Trani PE, Purquerio LFV, Figueiredo GJB, Tivelli, SW, Blat SF (2018a) Alface, almeirão, agrião d’água, chicórias, coentro, espinafre e rúcula. In. Trani PE, Raij BV, Cantarella H, Figueiredo GJB (Eds.) **Hortaliças: recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: CATI, p.23-26 (Boletim técnico, 251).

Trani PE, Raij BV, Cantarella H, Figueiredo GJB (2018b) Composição química e diagnose foliar. In. Trani PE, Raij BV, Cantarella H, Figueiredo GJB (Eds.) **Hortaliças: recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: CATI, p.8-13 (Boletim técnico, 251).

Yang BM, Yao LX, Li GL, He ZH, Zhou CM (2015) Dynamic changes of nutrition in litchi foliar and effects of potassium–nitrogen fertilization ratio. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 15:98-110.

### **CAPÍTULO 3 - Marcha de acúmulo de nutrientes e crescimento da rúcula submetida a doses de nitrogênio**

**RESUMO** - O objetivo da pesquisa foi avaliar o crescimento e o acúmulo de nutrientes pela rúcula em função de doses de nitrogênio. O experimento foi conduzido em campo, de abril a junho de 2018, em Jaboticabal, SP. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com seis tratamentos (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N) e quatro repetições. A coleta das plantas teve início aos 11 dias após a emergência (DAE) e realizada a cada três dias até 35 DAE. Foram avaliados altura de plantas, número de folhas, área foliar, massa seca e acúmulo de nutrientes. Até 20 dias após a emergência, para todas as doses de N, a rúcula apresentou pequeno crescimento e acúmulo de nutrientes. Máximos de área foliar (393,78 cm<sup>2</sup>), altura de plantas (35,4 cm), massa seca (2,7 g) e folhas por plantas (10,15 folhas) foram constatados na colheita, com 150 a 200 kg ha<sup>-1</sup> de N. O período de maior demanda para N, P, K, Ca, Mg e S foi de 20 a 35 DAE, com média diária de absorção 4,2, 1,8, 25,3, 1,3, 2,4 e 3,1 mg dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Doses de nitrogênio de 150 a 200 kg ha<sup>-1</sup> proporcionaram maior incremento em crescimento e acúmulo de nutrientes.

**Palavras-chave:** *Eruca sativa*, adubação nitrogenada, marcha de absorção, nutrição de plantas, análise de crescimento

### 3.1 INTRODUÇÃO

A rúcula (*Eruca sativa* Miller) é uma hortaliça herbácea folhosa. O cultivo desta olerácea vem crescendo nos últimos anos, por causa de suas características de cultivo, como ciclo curto e elevado potencial produtivo. Além disso, a rúcula é rica em ferro, potássio, enxofre e em vitaminas A e C. É consumida por aqueles que buscam consumir alimentos mais saudáveis (Medeiros, 2007; Oliveira et al., 2015; Jardina, 2017).

Aliado ao alto potencial produtivo e ciclo curto, a rúcula apresenta grande demanda por N. Este o segundo nutriente mais requerido, com resposta positiva até 180 kg ha<sup>-1</sup> N (Barros Júnior et al., 2009), já Purquerio et al. (2007) encontraram resultados satisfatórios para produtividade até 240 kg ha<sup>-1</sup> N, enquanto Ratke et al. (2011) observaram incremento em produtividade até 598 kg ha<sup>-1</sup> N. Essa grande diferença de N aplicado por hectare está associado às condições de cultivo e ao papel que este nutriente desempenha na planta, uma vez que ele tem função estrutural, constituinte de enzimas, bases nitrogenadas, aminoácidos e de materiais de transferência de energia (ADP e ATP), além de fazer parte da molécula de clorofila, respiração e diferenciação celular (Epstein e Bloom, 2006; Hawkesford et al., 2012; Taiz et al., 2017).

Como a absorção de nutrientes pelas plantas não é constante durante todo o ciclo de cultivo, determinar a época de maior demanda é crucial para definir o melhor momento de realizar as adubações. As curvas de acúmulo de massa seca e nutrientes, se bem interpretadas, podem auxiliar no programa de adubação da cultura da rúcula (Villas Boas et al., 2001), isso porque o acúmulo de nutrientes reflete a exigência nutricional da planta. No entanto, este procedimento é dificultado para hortaliças folhosas como a rúcula, que pouco se sabe sobre o acúmulo de nutrientes e de massa seca ao longo de seu desenvolvimento (Purquerio et al. 2007).

Embora já existam resultados sobre o acúmulo de nutrientes e massa seca para a rúcula, estes foram obtidos em condições de clima quente (Grangeiro et al., 2011), ou apenas no período da colheita (Purquerio et al., 2007) e em condições de consórcio com beterraba (Grangeiro et al., 2007), alface (Oliveira et al., 2010), alface e cenoura (Porto et al., 2011), sem que se saiba qual a época de maior acúmulo de

massa seca e maior demanda por nutrientes, quando cultivada em região de clima ameno e em cultivo solteiro ao longo do ciclo de cultivo.

Dada essa falta de informações sobre o crescimento e o acúmulo de nutrientes, a recomendação de N no plantio para a cultura da rúcula é semelhante a outras sete hortaliças folhosas, sem que haja distinção entre espécie e entre as diferentes famílias que compõe este grupo, e tão pouco sobre o sistema de plantio, seja ele cultivo de campo ou cultivo protegido. Trani et al. (2018) recomendam de 20 a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N no plantio e de 90 a 150 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura.

Dessa forma, dada a importância do N para o crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas, objetivou-se avaliar o crescimento e o acúmulo de nutrientes na rúcula submetida à doses de nitrogênio.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo, de abril a junho de 2018, na Universidade Estadual Paulista – UNESP, *Campus* de Jaboticabal – SP, cujas coordenadas são 21°15'22" S, 48°15'22" O e altitude de 575 metros.

O clima da região é classificado como tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18°C, do tipo Aw segundo classificação de Köppen-Geiger (André e Garcia, 2015). No período experimental, a temperatura média, média das mínimas e médias das máximas foram 20,4; 14,3 e 27,7 °C. A umidade relativa do ar média foi de 63,5% e as médias da mínima e máxima foram 35,9 e 87,5%, respectivamente. A precipitação pluvial ocorrida durante o período foi de 10 mm.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico de textura muito argilosa (Santos et al., 2013). Foram coletadas amostras de solo na camada de 0-0,20 m, antes da instalação do experimento, a qual apresentou: pH(CaCl<sub>2</sub>) de 5,6; M.O.= 17 mg dm<sup>-3</sup>; P(Resina) = 31 mg dm<sup>-3</sup>; S = 9 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 22 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 10 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K = 3,3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al = 15 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e saturação por bases (V) = 71%.

Foram avaliadas seis doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> N), em blocos ao acaso, com quatro repetições. A unidade experimental foi de 4 m de comprimento por 1,2 m de largura. A semeadura foi realizada em linhas transversais ao comprimento do canteiro, de modo que foram consideradas como

bordadura as duas primeiras e duas últimas linhas de cada unidade experimental. A diferença entre a quantidade de N aplicada na semeadura da rúcula e a prevista nos tratamentos foi parcelada em quantidades iguais aos 10 e 17 dias após a emergência das plantas, usando como fonte de nitrogênio a ureia.

O preparo do solo consistiu de gradagens. Foi realizada a calagem 45 dias antes da instalação do experimento, para elevar a saturação por bases a 80% de acordo com as recomendações de Trani et al. (2018) para a cultura da rúcula. A adubação de plantio constou da aplicação de 180 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 40 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O e 50 kg ha<sup>-1</sup> N, na forma de superfosfato simples, cloreto de potássio e ureia, respectivamente. Não foi aplicado N no tratamento testemunha.

A rúcula 'Folha Larga' foi semeada em canteiros, no dia 10 de maio de 2018, com espaçamento de 0,25 m entre linhas. Aos 4 e 10 dias após a emergência, foram feitos desbastes para adequar o espaçamento entre plantas em 0,05 m.

Durante a condução do experimento, foram realizados controle de plantas daninhas (capinas), irrigação por aspersão e controles fitossanitários sempre que necessários.

As plantas foram avaliadas em nove épocas (11, 14, 17, 20, 23, 26, 29, 32 e 35 dias após a emergência - DAE). Para compor uma amostra, coletaram-se 20 plantas por unidade experimental, da primeira à sexta coleta, e a partir da sétima avaliação, coletaram-se dez plantas. A parte aérea foi cortada rente ao solo e foram avaliadas a altura, o número de folhas e a área foliar, que foi medida com o auxílio do integrador eletrônico de área, LI-COR® modelo LI-3100. A parte aérea foi seca em estufa com ventilação forçada de ar, a 65±5°C, até atingir massa constante e pesadas em balança digital, com precisão de duas casas decimais. Os teores de N, P K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn e Zn no tecido vegetal foram obtidos empregando-se a metodologia proposta por Miyazawa et al. (2009). Os acúmulos dos nutrientes, em cada época avaliada, foram obtidos pelo produto entre o teor do nutriente e a massa seca da parte aérea.

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) e as médias comparadas em cada época pelo teste de Tukey com o software AgroEstat (Barbosa e Maldonado Júnior, 2015). Para estimar o crescimento e o acúmulo de nutrientes, ao longo do ciclo, utilizou-se o modelo logístico:  $y = a/(1+e^{-k(x-x_c)})$ , onde  $y$  = valor médio da característica avaliada;  $a$  = máxima assintótica (acúmulo ou

crescimento);  $k$  = taxa média de crescimento;  $x$  = tempo (dias);  $x_c$  = tempo necessário para atingir a metade do crescimento máximo (Hoffmam e Vieira, 1977).

### 3.3 RESULTADOS

As doses de N influenciaram significativamente a área foliar, a altura de plantas, a massa seca e o número de folhas por planta da rúcula em todas épocas avaliadas (Tabelas 1 e 2).

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para área foliar e altura de plantas de rúcula 'Folha Larga', ao longo do ciclo produtivo, em função de doses de nitrogênio.

Causas de variação	Dias após a emergência								
	11	14	17	20	23	26	29	32	35
	Área foliar (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> )								
0	1,22 b <sup>2</sup>	2,54 b	7,65 b	15,01 b	33,60 b	71,45 b	143,47 b	180,08 b	195,04 c
50	1,68 ab	3,83 ab	16,00 a	31,11 a	76,49 a	127,13 a	198,52 ab	244,92 ab	322,75 b
100	2,06 a	4,73 ab	14,07 ab	34,31 a	66,76 a	162,00 a	212,72 ab	255,93 ab	354,67 ab
150	2,08 a	4,93 a	16,29 a	39,19 a	75,70 a	152,08 a	249,23 a	280,19 a	364,10 ab
200	2,12 a	4,78 a	18,01 a	32,06 a	75,13 a	158,74 a	251,06 a	284,72 a	393,78 a
250	2,21 a	4,78 a	16,65 a	35,79 a	78,78 a	136,91 a	195,23 ab	258,96 ab	348,15 ab
Teste F <sup>1</sup>	4,38* <sup>1</sup>	3,75*	5,92**	6,31**	10,64**	9,07**	3,32*	3,03*	22,23**
CV (%)	19,11	22,55	20,65	21,55	15,59	16,62	21,05	17,31	8,99
DMS	0,83	2,21	7,01	15,46	24,26	51,44	100,81	99,78	68,12
	Altura de plantas (cm)								
0	2,60 b	4,49 b	6,39 b	9,02 b	10,64 b	15,97 b	20,11 c	23,91 b	26,93 c
50	3,81 ab	6,19 a	9,34 a	11,04 a	14,68 a	19,91 a	26,99 ab	28,68 a	33,41 b
100	3,99 ab	6,49 a	9,54 a	12,02 a	13,74 a	21,54 a	26,75 ab	30,63 a	34,86 ab
150	4,98 a	7,25 a	9,38 a	12,62 a	14,36 a	22,15 a	28,09 a	31,46 a	35,21 ab
200	4,71 a	6,90 a	9,42 a	12,58 a	14,93 a	21,98 a	26,86 ab	31,81 a	36,94 a
250	4,59 a	6,67 a	9,34 a	12,50 a	15,09 a	21,50 a	23,38 bc	31,64 a	36,72 ab
Teste F	6,48**	17,23**	49,34**	13,01**	11,52**	22,19**	8,85**	20,40**	24,39**
CV (%)	16,68	7,31	3,93	6,79	6,79	4,90	8,01	4,55	4,41
DMS	1,57	1,06	0,80	1,80	2,26	2,31	4,67	3,10	3,44

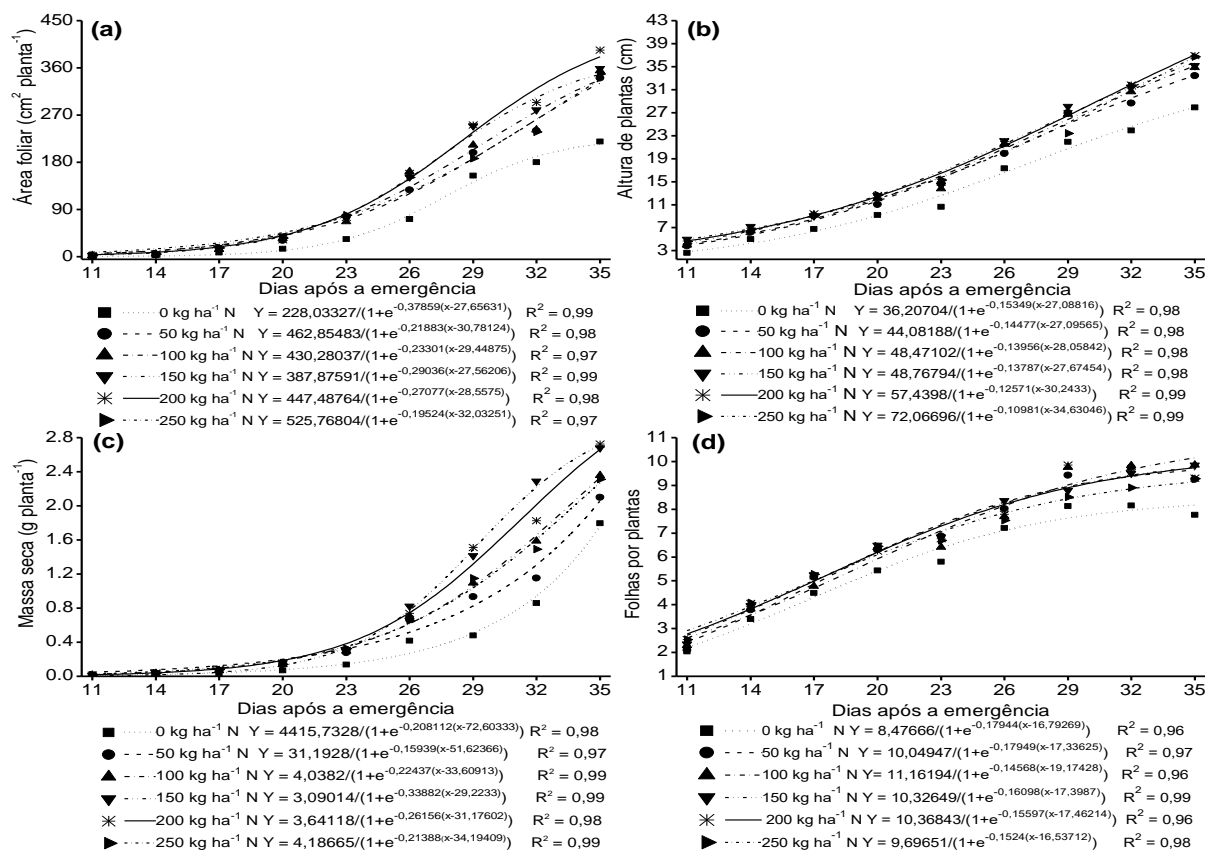
<sup>1</sup>Teste F; \*,  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ ; CV: coeficiente de variação; <sup>2</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, para a mesma variável e época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ); DMS: diferença mínima significativa.

Observou-se que desde a emergência (Figura 1a), plantas não adubadas com N apresentaram-se com área foliar muito aquém das adubadas, atingindo, aos 20 DAE, 43,5% da área foliar média apresentada por plantas adubadas com N. A diferença manteve-se praticamente constante à medida que as plantas cresceram, de modo que na colheita, a área foliar estimada para plantas não adubadas correspondia a 49,3% de plantas adubadas com 200 kg ha<sup>-1</sup> de N. Também, verificou-se que na última semana do ciclo, houve diferença no incremento de área foliar entre plantas adubadas ou não com N. Naquelas que não receberam N, constatou-se desaceleração na expansão da área foliar com tendência para estabilizar-se por volta de 200 cm<sup>2</sup> por planta. Esta desaceleração não foi observada em plantas que receberam adubação nitrogenada.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para massa seca e número de folhas em plantas de rúcula 'Folha Larga', ao longo do ciclo produtivo, em função de doses de nitrogênio.

Causas de variação	Dias após a emergência								
	11	14	17	20	23	26	29	32	35
Massa seca (g planta <sup>-1</sup> )									
0	0,009 b <sup>2</sup>	0,020 b	0,034 b	0,069 b	0,137 b	0,418 b	0,479 d	0,858 d	1,795 c
50	0,012 ab	0,033 ab	0,064 a	0,141 a	0,278 a	0,664 a	0,932 c	1,153 cd	2,098 bc
100	0,014 ab	0,036 a	0,070 a	0,138 a	0,298 a	0,702 a	1,093 bc	1,588 bc	2,356 ab
150	0,014 ab	0,041 a	0,073 a	0,156 a	0,300 a	0,823 a	1,416 a	2,289 a	2,681 a
200	0,013 ab	0,038 a	0,077 a	0,158 a	0,304 a	0,739 a	1,510 a	1,827 ab	2,725 a
250	0,014 a	0,037 a	0,078 a	0,139 a	0,326 a	0,652 a	1,148 b	1,489 bc	2,310 abc
Teste F <sup>1</sup>	3,29*	5,20**	28,13**	18,40**	33,06**	7,69**	91,00**	20,99**	9,63**
CV (%)	17,00	19,03	9,39	11,42	8,73	14,78	7,07	14,30	9,75
DMS	0,0050	0,0149	0,0143	0,0351	0,055	0,226	0,178	0,504	0,521
Folhas por planta									
0	0,36 c	3,31 b	4,29 b	5,43 b	5,80 b	7,10 c	8,23 a	8,15 b	7,76 b
50	0,82 bc	3,79 ab	5,23 a	6,31 a	6,88 a	8,02 ab	10,63 a	9,55 a	9,25 ab
100	1,46 ab	3,83 a	4,78 ab	6,40 a	6,41 ab	8,54 a	10,11 a	8,83 ab	9,35 a
150	1,04 b	3,95 a	5,25 a	6,50 a	6,84 a	8,51 a	9,40 a	9,51 ab	9,85 a
200	1,06 b	4,05 a	5,21 a	6,25 a	6,76 a	8,32 a	10,24 a	9,85 a	9,30 ab
250	1,82 a	4,08 a	5,28 a	6,45 a	6,69 a	7,30 bc	8,80 a	8,77 ab	9,28 ab
Teste F	11,86**	6,58**	3,94*	6,96**	6,00**	14,53**	3,14 <sup>ns</sup>	4,38*	4,39*
CV (%)	26,92	5,7	8,01	4,85	5,08	4,10	10,92	6,66	7,39
DMS	0,67	0,50	0,92	0,69	0,76	0,75	2,40	1,39	1,55

<sup>1</sup>Teste F, \*: p ≤ 0,05, \*\* p ≤ 0,01. CV: coeficiente de variação, <sup>ns</sup>: não significativo. <sup>2</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, para a mesma variável e época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p > 0,05). DMS: diferença mínima significativa.



**Figura 1.** Área foliar (a), altura (b), massa seca de folhas (c) e folhas por planta (d) de rúcula ‘Folha Larga’, ao longo do período de cultivo, em função de doses de nitrogênio.

Independentemente da dose de N, a evolução da área foliar de rúcula apresentou duas fases (Figura 1a): um período inicial mais longo até 20 DAE, caracterizado por uma pequena expansão da área foliar, quando as plantas apresentaram em média 7,8% e 8,7% do total da área foliar na colheita para plantas não adubadas e adubadas, respectivamente. Um segundo período, de 20 a 35 DAE, neste intervalo os incrementos ajustaram-se ao modelo linear com  $R^2$  superiores a 97,8%; neste intervalo as curvas de respostas apresentaram taxas diferenciadas de incremento conforme a dose de N.

A taxa máxima de expansão diária da área foliar ocorreu aos 28 a 31 DAE, com  $30 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  nas plantas que foram adubadas com  $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ . Nesse período, a área foliar correspondeu a 63,9% do total obtido no momento da colheita. Na colheita foi observada a máxima área foliar de  $393,78 \text{ cm}^2$  por planta com a aplicação de  $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ . A maior área foliar representa aumento de 101,8%

comparativamente à obtida com o tratamento testemunha ( $195,04 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ ) e 13% em relação a plantas que foram adubadas com a maior dose de N ( $348,15 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ ).

Como esperado, as doses de N promoveram incremento na altura das plantas de rúcula (Figura 1b), mas até 17 DAE, ainda com crescimento lento. As plantas não adubadas e adubadas apresentavam em média apenas 23,7% e 26,5% da altura no final do cultivo. No decorrer do ciclo, plantas do tratamento testemunha apresentaram altura inferior às plantas que receberam adubação. Na colheita (35 DAE), a altura máxima observada para plantas que foram adubadas com N foi de 35,4 cm. No tratamento testemunha as plantas apresentaram em média 26,9 cm. Este resultado representa redução de 24% comparativamente às plantas que receberam N. A taxa máxima diária de incremento na altura das plantas foi de 28 a 35 DAE, com incremento médio diário de 1,8 cm por dia neste período.

O acúmulo de massa seca pela planta (Figura 1c) apresentou aumento lento até 20 DAE, com acúmulo de apenas 3,3% e 5,4% do total acumulado no momento da colheita (35 DAE), para o tratamento testemunha e para as doses 150 e 200  $\text{kg ha}^{-1}$  N, respectivamente. Após 6 dias (26 DAE), houve aumento de 6 a 4,9 vezes, para os tratamentos sem adubação nitrogenada e aqueles que foram adubados, respetivamente. O máximo acúmulo diário de massa seca (Figura 1c) ocorreu de 29 a 31 DAE ( $0,26 \text{ g planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ), com a fertilização de 150  $\text{kg ha}^{-1}$  N. No momento da colheita (35 DAE), o acúmulo máximo de massa seca foi de 2,7 g por planta, obtido com 150  $\text{kg ha}^{-1}$  N, representando aumento de 50,8% em relação às plantas que não receberam adubação nitrogenada ( $1,79 \text{ g planta}^{-1}$ ) e 17,4% comparativamente ao tratamento que recebeu 250  $\text{kg ha}^{-1}$  N, onde observou-se plantas com 2,3 g.

Maior número de folhas foi observado aos 35 DAE com plantas que receberam adubação nitrogenada, tinham em média 9,8 folhas por planta (Figura 1d). Houve redução no número de folhas por plantas quando a rúcula não recebeu N, no momento da colheita as plantas tinham em média 7,6 folhas, isso representa redução de 22% no número de folhas, comparativamente a plantas fertilizadas com N. O máximo incremento diário no número de folhas ocorreu foi observado de 15 a 25 DAE, com a emissão de 0,4 folha  $\text{dia}^{-1}$  por planta.

De modo semelhante ao observado para características biométricas, houve efeito significativo das doses de N sobre o acúmulo dos nutrientes, exceto para o Fe,

apresentando-se maiores incrementos ao final do período experimental (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para o acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em plantas de rúcula ‘Folha Larga’, ao longo do período produtivo, em função de doses de nitrogênio.

Causas de variação	Dias após a emergência								
	11	14	17	20	23	26	29	32	35
Acúmulo de nitrogênio (mg planta <sup>-1</sup> )									
0	0,27 a <sup>2</sup>	0,44 c	1,05 c	2,07 b	4,52 b	12,37 b	13,66 d	24,27 d	41,71 c
50	0,33 a	0,76 bc	1,91 b	4,57 a	9,48 a	19,69 ab	26,62 c	31,35 cd	48,91 bc
100	0,39 a	1,03 ab	2,24 ab	4,54 a	9,84 a	21,00 a	33,06 b	39,94 bc	61,09 ab
150	0,39 a	1,23 a	2,38 ab	5,21 a	9,83 a	24,80 a	42,94 a	58,78 a	69,45 a
200	0,39 a	1,07 ab	2,52 a	5,37 a	9,50 a	22,59 a	44,67 a	50,38 ab	73,08 a
250	0,42 a	1,12 ab	2,53 a	4,72 a	10,79 a	19,20 ab	33,68 b	40,62 bc	60,44 ab
Teste F <sup>1</sup>	2,34 <sup>ns</sup>	8,79 <sup>**</sup>	29,10 <sup>**</sup>	19,63 <sup>**</sup>	21,61 <sup>**</sup>	6,08 <sup>**</sup>	108,78 <sup>**</sup>	23,47 <sup>**</sup>	10,97 <sup>**</sup>
CV (%)	19,77	21,00	9,95	12,24	10,72	17,22	6,73	12,59	10,65
DMS	0,16	0,45	0,48	1,24	2,21	7,89	5,01	11,83	15,16
Acúmulo de fósforo (mg planta <sup>-1</sup> )									
0	0,02 b	0,06 b	0,12 b	0,24 b	0,49 b	1,48 b	1,55 c	2,81 d	6,10 b
50	0,03 ab	0,09 ab	0,21 a	0,52 a	1,00 a	2,32 a	2,97 b	4,13 cd	9,37 ab
100	0,04 a	0,09 ab	0,22 a	0,51 a	1,01 a	2,47 a	3,36 b	5,50 bc	11,63 a
150	0,04 a	0,11 a	0,24 a	0,58 a	1,08 a	2,82 a	4,57 a	8,10 a	13,93 a
200	0,03 ab	0,10 ab	0,24 a	0,54 a	1,03 a	2,46 a	4,59 a	6,25 b	11,91 a
250	0,03 ab	0,10 ab	0,25 a	0,49 a	1,10 a	2,08 ab	3,34 b	5,01 bc	9,56 ab
Teste F	3,28 <sup>**</sup>	3,46 <sup>**</sup>	14,97 <sup>**</sup>	18,09 <sup>**</sup>	35,50 <sup>**</sup>	6,67 <sup>**</sup>	55,39 <sup>**</sup>	26,48 <sup>**</sup>	6,22 <sup>**</sup>
CV (%)	16,67	20,30	11,67	11,86	8,08	15,54	8,92	13,28	20,80
DMS	0,012	0,042	0,057	0,130	0,176	0,810	0,697	1,618	4,978
Acúmulo de potássio (mg planta <sup>-1</sup> )									
0	0,55 c	1,25 b	3,26 b	4,52 b	10,05 c	24,00 b	34,18 c	69,12 d	176,11 c
50	0,85 bc	2,33 a	5,58 a	12,56 a	21,04 b	50,16 a	74,91 b	95,09 cd	171,46 c
100	1,26 a	3,02 a	5,86 a	12,62 a	23,19 b	48,90 a	99,11 ab	134,9 bc	193,63 bc
150	0,92 abc	2,64 a	6,04 a	12,98 a	24,81 ab	58,83 a	119,33 a	225,83 a	252,71 ab
200	1,15 ab	3,23 a	6,72 a	12,84 a	24,91 ab	49,27 a	124,21 a	168,66 b	273,36 a
250	1,07 ab	2,69 a	5,94 a	12,19 a	29,99 a	44,46 ab	74,11 b	135,0 bc	260,32 ab
Teste F	8,96 <sup>**</sup>	9,87 <sup>**</sup>	12,48 <sup>**</sup>	36,47 <sup>**</sup>	26,63 <sup>**</sup>	6,31 <sup>**</sup>	35,85 <sup>**</sup>	20,08 <sup>**</sup>	7,78 <sup>**</sup>
CV (%)	17,53	17,61	12,10	9,74	11,63	20,32	12,84	17,85	14,85
DMS	0,39	1,02	1,54	2,52	5,97	21,45	25,85	56,64	75,51

<sup>1</sup>Teste F, \*:  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ . CV: coeficiente de variação. <sup>2</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, para a mesma variável e época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ); DMS: diferença mínima significativa.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para o acúmulo de cálcio, magnésio e enxofre em plantas de rúcula 'Folha Larga', ao longo do período produtivo, em função de doses de nitrogênio.

Causas de variação	Dias após a emergência								
	11	14	17	20	23	26	29	32	35
Acúmulo de cálcio (mg planta <sup>-1</sup> )									
0	0,021 b	0,048 b	0,101 b	0,142 b	0,285 d	0,826 c	1,01 c	2,02 d	4,25 c
50	0,026 ab	0,071 ab	0,174 a	0,385 a	0,495 c	1,30 ab	1,66 b	2,38 cd	5,75 bc
100	0,031 a	0,076 ab	0,192 a	0,382 a	0,526 bc	1,35 ab	2,02 b	3,43 bc	6,58 abc
150	0,027 ab	0,081 ab	0,190 a	0,421 a	0,614 ab	1,42 a	2,68 a	4,72 a	8,46 a
200	0,029 ab	0,083 a	0,185 a	0,456 a	0,567 bc	1,21 abc	2,72 a	3,87 ab	7,88 ab
250	0,030 ab	0,079 ab	0,188 a	0,406 a	0,684 a	0,97 bc	1,61 bc	2,86 bcd	6,38 abc
Teste F <sup>1</sup>	2,67*	3,17*	11,79**	31,64**	36,55**	6,09**	23,55**	17,16**	8,35**
CV (%)	16,75	19,86	11,98	10,95	8,54	16,08	14,04	15,02	15,67
DMS	0,010	0,033	0,047	0,092	0,103	0,437	0,63	1,11	2,35
Acúmulo de magnésio (mg planta <sup>-1</sup> )									
0	0,062 a	0,137 b	0,264 b	0,316 b	0,686 b	1,88 b	2,36 d	4,37 c	9,61 c
50	0,071 a	0,195 ab	0,524 a	0,933 a	1,243 a	2,80 ab	3,98 c	4,58 c	11,88 bc
100	0,086 a	0,202 ab	0,558 a	0,997 a	1,235 a	3,07 a	4,59 bc	6,00 bc	14,30 ab
150	0,069 a	0,209 ab	0,546 a	1,023 a	1,356 a	3,00 a	5,94 a	8,61 a	15,52 a
200	0,076 a	0,225 a	0,497 a	1,155 a	1,224 a	2,59 ab	5,62 ab	8,03 ab	15,35 a
250	0,069 a	0,207 ab	0,547 a	0,966 a	1,432 a	2,11 ab	3,60 cd	5,67 bc	12,69 abc
Teste F	1,75 <sup>ns</sup>	2,93*	9,97**	16,15**	15,73**	5,09**	22,84**	9,77**	10,00**
CV (%)	16,76	18,12	14,53	16,34	11,09	16,62	12,81	18,09	10,92
DMS	0,027	0,081	0,163	0,337	0,304	0,98	1,28	2,58	3,32
Acúmulo de enxofre (mg planta <sup>-1</sup> )									
0	0,05 a	0,12 b	0,24 b	0,47 b	0,93 b	2,64 b	3,38 c	6,12 d	14,84 c
50	0,06 a	0,18 ab	0,40 ab	0,97 a	1,88 a	4,39 a	6,48 b	8,41 cd	17,62 bc
100	0,07 a	0,20 ab	0,35 ab	0,91 a	2,07 a	5,09 a	7,20 b	10,87 bc	18,67 abc
150	0,07 a	0,25 a	0,48 ab	1,08 a	1,73 a	5,57 a	9,22 a	15,87 a	23,52 a
200	0,07 a	0,22 a	0,51 a	1,03 a	2,12 a	5,05 a	9,13 a	12,92 ab	22,44 ab
250	0,07 a	0,22 a	0,51 a	0,94 a	2,37 a	4,30 a	6,82 b	10,49 bc	18,63 abc
Teste F	2,55 <sup>ns</sup>	4,52*	4,17*	21,11**	8,83**	10,08**	33,38**	13,98**	8,34**
CV (%)	21,18	20,57	25,40	10,64	18,17	14,40	10,52	16,88	11,49
DMS	0,318	0,094	0,241	0,219	0,772	1,49	1,70	4,18	5,09

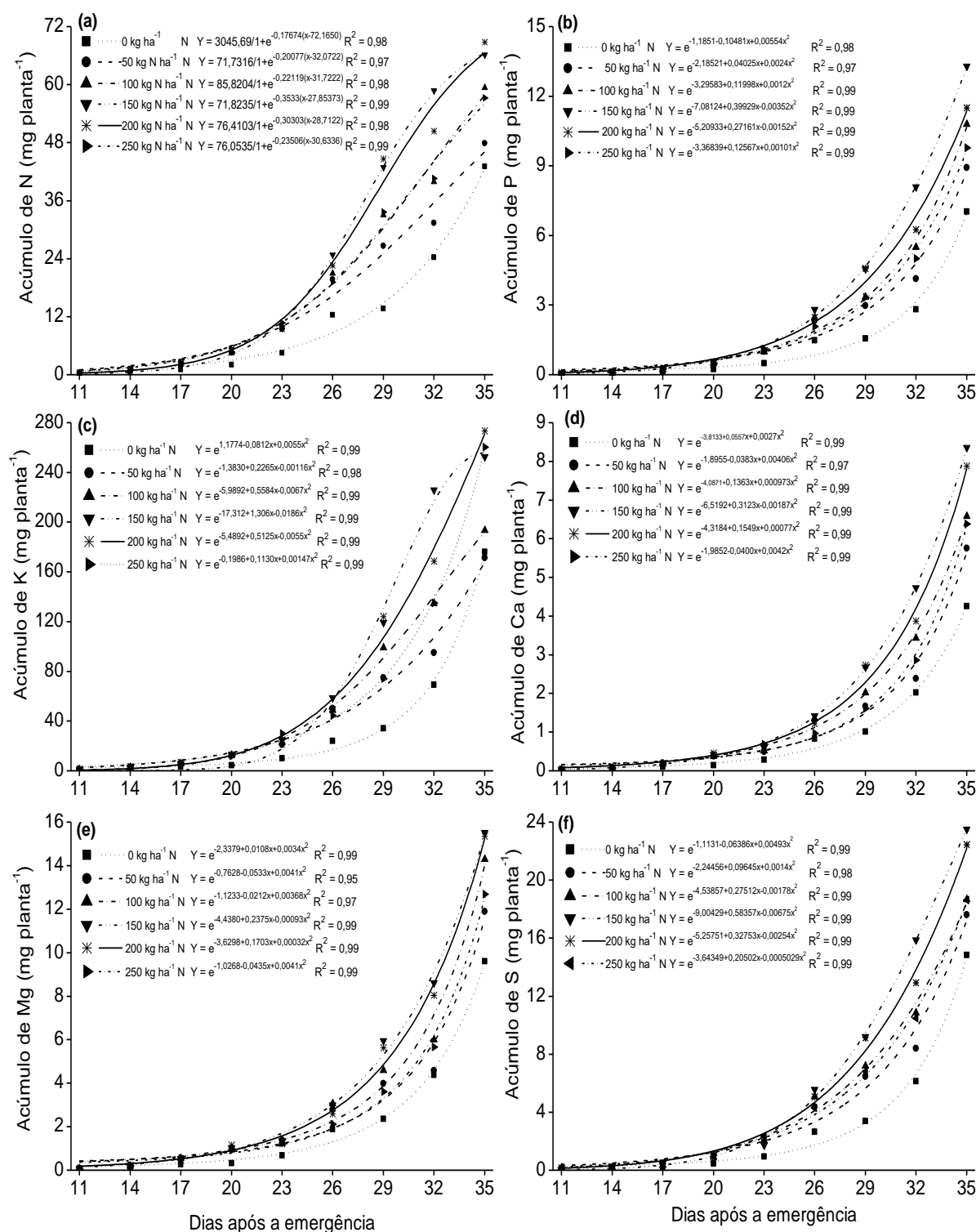
<sup>1</sup>Teste F, \*:  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ . CV: coeficiente de variação, <sup>ns</sup>: não significativo. <sup>2</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, para a mesma variável e época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ); DMS: diferença mínima significativa.

O acúmulo de nutrientes pode ser separado em duas épocas de acordo com o crescimento das plantas: o primeiro que se inicia na germinação e se estende até 20 DAE foi caracterizado pelo baixo acúmulo de nutrientes e o segundo que vai de 21 a 35 DAE onde observou-se rápido incremento no acúmulo de nutrientes nas folhas da rúcula.

A adubação nitrogenada proporcionou aos 20 DAE aumento de 131,9, 120,8 e 178,7% no acúmulo de N, P e K, respectivamente, em relação a plantas não adubadas (Figura 2). Neste período, plantas do tratamento testemunha tinham acumulado apenas 5,0, 4,0 e 2,5% do total acumulado de N, P e K, respectivamente, que corresponde a 2,07, 0,24 e 4,52 mg planta<sup>-1</sup> de N, P e K. Resultados semelhantes foram observados para plantas adubadas com N, sendo 7,8, 4,7 e 5,5% para N, P e K, respectivamente, do total acumulado no momento da colheita, sendo 4,9, 0,53 e 12,6 mg planta<sup>-1</sup>.

As quantidades de N, P e K acumulado no momento da colheita nas plantas que não foram adubadas foram 41,7, 6,1 e 176,1 mg planta<sup>-1</sup> (Figura 2a, 2b e 2c), e foram menores que as quantidades acumuladas por plantas que receberam adubação nitrogenada, nas quais houve acúmulo de 62,6, 11,3 e 230,3 mg. A taxa máxima de acúmulo por dia ocorreu na segunda fase de crescimento, período de 27 a 32 DAE para N (4,2 mg planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>), e na ocasião colheita para P e K, com 1,8 e 25,3 mg planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente, para plantas que receberam adubação nitrogenada.

Quanto ao acúmulo de Ca, Mg e S, foi observado aos 20 DAE resultados semelhantes para plantas adubadas ou não com nitrogênio (Figura 2d, 2e e 2f), com acúmulo médio de 4,7% do total obtido no final do período experimental para todos os tratamentos. As quantidades acumuladas, no momento da colheita, por plantas adubadas foi de 7,0, 13,9 e 20,1 mg por planta de Ca, Mg e S, respectivamente, com doses de 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> N. Estes resultados demonstram que houve aumento de 65%, 45% e 36%, em relação a plantas que não receberam adubação nitrogenada, para os mesmos nutrientes citados anteriormente. O período de maior acúmulo foi observado de 34 a 35 DAE, com 1,4; 2,4 e 3,1 mg dia<sup>-1</sup> planta<sup>-1</sup> para Ca, Mg e S, respectivamente.



**Figura 2.** Acúmulos de nitrogênio (a), fósforo (b), potássio (c), cálcio (d), magnésio (e) e enxofre (f) em plantas de rúcula ‘Folha Larga’, ao longo do período de cultivo, em função de doses de nitrogênio.

O acúmulo dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn apresentou comportamento similar as demais características avaliadas em função das doses de N (Tabelas 5 e

6). Os dados ajustaram-se aos modelos exponencial e logístico (Figura 3). Aos 20 DAE, plantas adubadas e não adubadas tinham acumulado em média apenas 5,3% do total dos micronutrientes obtidos no momento da colheita.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para o acúmulo cobre e ferro em plantas de rúcula ‘Folha Larga’, ao longo do período produtivo, em função de doses de nitrogênio.

Causas de variação	Dias após a emergência								
	11	14	17	20	23	26	29	32	35
Acúmulo de cobre (mg planta <sup>-1</sup> )									
0	0,00007 b	0,0002 a	0,0004 b	0,0007 b	0,0016 b	0,0049 c	0,0053 d	0,0096 c	0,028 a
50	0,00012 ab	0,0003 ab	0,0008 a	0,0018 a	0,0030 a	0,0071 bc	0,0084 c	0,011 bc	0,026 a
100	0,00015 a	0,0004 a	0,0008 a	0,0016 a	0,0034 a	0,0068 bc	0,010 bc	0,013 abc	0,029 a
150	0,00013 ab	0,00041 a	0,0009 a	0,0018 a	0,0034 a	0,0098 a	0,0134 a	0,021 a	0,030 a
200	0,00013 a	0,00042 a	0,0009 a	0,0020 a	0,0034 a	0,0082 ab	0,0135 a	0,019 ab	0,028 a
250	0,00014 a	0,00041 a	0,0009 a	0,0015 a	0,0040 a	0,0061 bc	0,0111 ab	0,014 abc	0,028 a
Teste F <sup>1</sup>	5,48**	5,10**	16,74**	21,27**	12,32**	8,78**	32,73**	6,23**	0,34 <sup>ns</sup>
CV (%)	18,14	20,10	12,30	12,31	14,51	15,71	10,67	23,42	15,05
DMS	0,0001	0,0002	0,0002	0,0005	0,0011	0,0026	0,0025	0,0081	0,0099
Acúmulo de ferro (mg planta <sup>-1</sup> )									
0	0,018 b	0,036 a	0,065 b	0,17 a	0,33 b	1,26 b	1,80 a	1,97 a	2,11 a
50	0,024 ab	0,065 a	0,10 a	0,36 a	0,78 ab	1,81 ab	1,99 a	2,21 a	2,18 a
100	0,023 ab	0,063 a	0,11 a	0,26 a	0,72 ab	2,05 ab	2,19 a	2,22 a	2,25 a
150	0,021 b	0,078 a	0,13 a	0,29 a	1,01 a	2,06 a	2,29 a	2,29 a	2,35 a
200	0,025 ab	0,057 a	0,12 a	0,29 a	0,76 ab	1,76 ab	2,23 a	2,48 a	2,62 a
250	0,031 a	0,067	0,10	0,27 a	0,82 a	1,65 ab	2,24 a	2,40 a	2,52 a
Teste F	4,74**	1,24 <sup>ns</sup>	9,68**	2,04 <sup>ns</sup>	4,87**	2,96*	0,31 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	1,45 <sup>ns</sup>
CV (%)	17,43	41,66	13,74	29,97	27,52	19,58	31,99	25,37	14,03
DMS	0,0096	0,059	0,0337	0,1919	0,4684	0,7959	1,56	1,31	0,7563

<sup>1</sup>Teste F, \*:  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ . CV: coeficiente de variação, <sup>ns</sup>: não significativo. <sup>2</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, para a mesma variável e época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ); DMS: diferença mínima significativa.

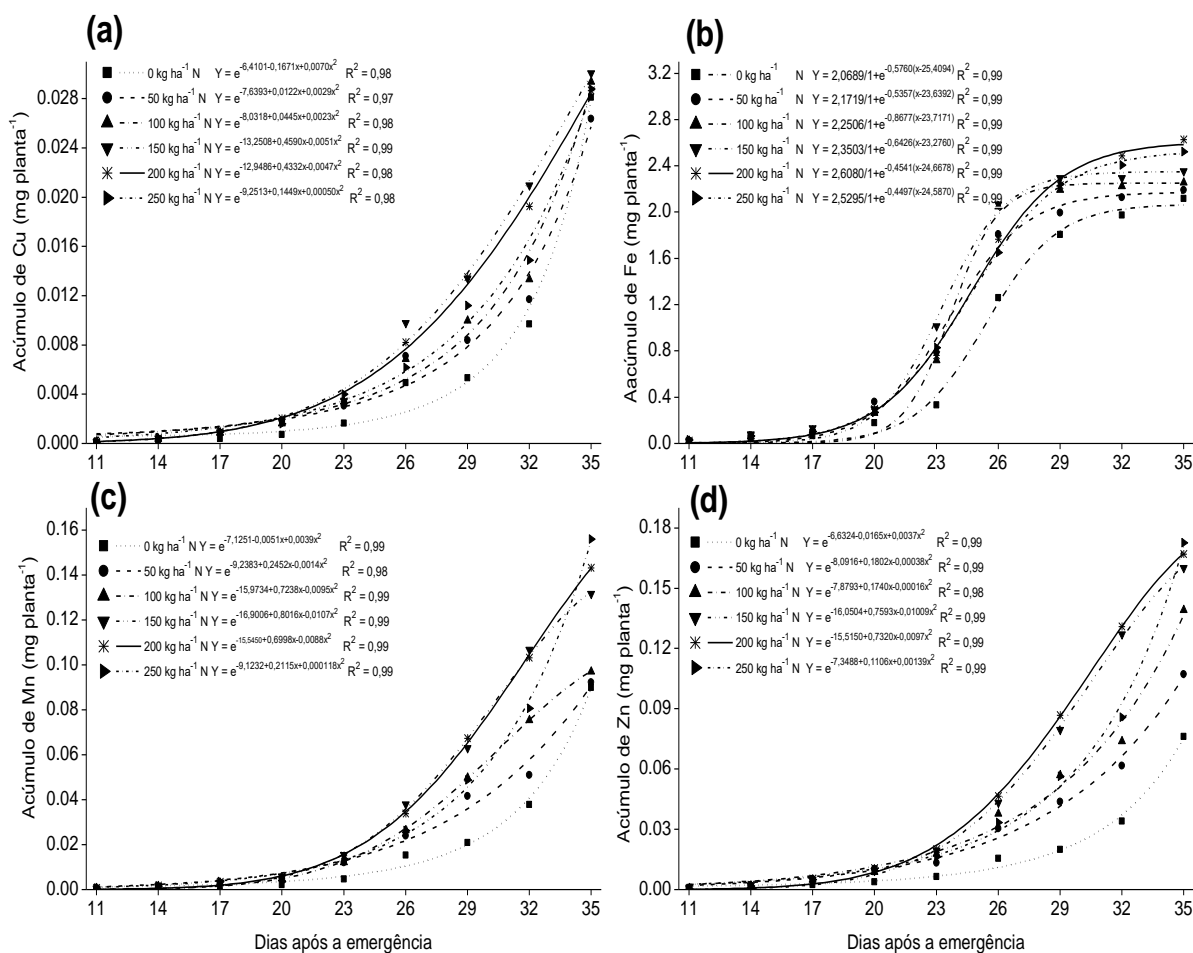
Não houve diferença para o acúmulo de Cu e Fe no momento da colheita entre plantas que receberam adubação nitrogenada e plantas não adubadas, as quais acumularam em média 0,028 e 2,33 mg planta<sup>-1</sup> de Cu e Fe, respectivamente (Tabela 5). O período de máximo acúmulo diário estimado para o Cu foi de 29 a 35 DAE, com incremento de 0,003 mg planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>; enquanto para o Fe, foi de 23 a 27 DAE, com 0,25 mg planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>.

Na ausência da adubação nitrogenada, verificou-se acúmulo estimado de 0,09 e 0,076 mg por planta de Mn e Zn, respectivamente. Quando adubadas, as médias de acúmulo foram 0,12 e 0,14 mg por planta de Mn e Zn, respectivamente. Estes resultados representam aumento de 34,4 e 96,1% no acúmulo de Mn e Zn. Foi observado maior acúmulo diário de 0,041 e 0,032 mg planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> para Mn e Zn aos 35 DAE, respectivamente.

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para o acúmulo de manganês e zinco em plantas de rúcula 'Folha Larga', ao longo do período produtivo, em função de doses de nitrogênio.

Causas de variação	Dias após a emergência								
	11	14	17	20	23	26	29	32	35
Acúmulo de manganês (mg planta <sup>-1</sup> )									
0	0,00046 b	0,00087 b	0,0014 b	0,0021 c	0,0047 c	0,015 c	0,020 d	0,038 c	0,090 c
50	0,00055 ab	0,0015 ab	0,0029 a	0,0053 a	0,0121 b	0,024 bc	0,041 c	0,051 bc	0,092 c
100	0,00074 a	0,0017 a	0,0030 a	0,0050 a	0,012 ab	0,026 bc	0,049 bc	0,075 ab	0,097 bc
150	0,00060 ab	0,0015 a	0,0033 a	0,0058 a	0,0155 a	0,038 a	0,063 ab	0,106 a	0,13 abc
200	0,00072 ab	0,0017 a	0,0033 a	0,0052 a	0,015 ab	0,034 ab	0,067 a	0,103 a	0,14 ab
250	0,00074 a	0,0016 a	0,0035 a	0,0036 b	0,013 ab	0,026 bc	0,049 c	0,080 ab	0,15 a
Teste F <sup>1</sup>	4,13*	5,31**	14,91**	33,71**	29,10**	10,58**	30,57**	15,62**	7,39**
CV (%)	17,95	18,50	13,34	10,42	11,91	17,76	12,39	18,30	17,96
DMS	0,0003	0,0006	0,0009	0,0011	0,0034	0,0112	0,0138	0,0320	0,0389
Acúmulo de zinco (mg planta <sup>-1</sup> )									
0	0,00045 b	0,0011 b	0,0025 b	0,0039 b	0,0064 c	0,015 c	0,020 c	0,034 d	0,076 c
50	0,00067 ab	0,0019 ab	0,0051 a	0,010 a	0,013 b	0,030 b	0,043 b	0,061 cd	0,107 bc
100	0,00087 a	0,0020 a	0,0050 a	0,008 a	0,018 a	0,038 ab	0,057 b	0,073 cd	0,139 ab
150	0,00072 ab	0,0021 a	0,0049 a	0,0094 a	0,019 a	0,043 ab	0,079 a	0,127 ab	0,160 ab
200	0,00082 a	0,0024 a	0,0054 a	0,010 a	0,020 a	0,046 a	0,087 a	0,131 a	0,167 ab
250	0,00070 ab	0,0019 ab	0,0050 a	0,0093 a	0,016 ab	0,033 ab	0,056 b	0,086 bc	0,172 a
Teste F	5,09**	4,52**	11,01**	28,82**	26,80**	12,42**	60,02**	16,89**	7,82**
CV (%)	18,52	20,64	14,01	10,40	12,64	18,05	10,95	21,51	19,97
DMS	0,0003	0,0009	0,0015	0,0021	0,0045	0,0143	0,0144	0,0423	0,0629

<sup>1</sup>Teste F, \*:  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ . CV: coeficiente de variação, <sup>ns</sup>: não significativo. <sup>2</sup>Médias seguidas de mesma letra na coluna, para a mesma variável e época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ); DMS: diferença mínima significativa.



**Figura 3.** Acúmulos de cobre (a), ferro (b), manganês (c) e zinco (d) em plantas de rúcula ‘Folha Larga’, ao longo do período de cultivo, em função de doses de nitrogênio.

### 3.4 DISCUSSÃO

Até 20 DAE, mesmo para as maiores doses de N, constatou-se pequenos incrementos no crescimento e acúmulo de nutrientes; no entanto, já era evidente o efeito das doses de N sobre o crescimento das plantas que receberam adubação nitrogenada. Resultados semelhantes foram encontrados por Grangeiro et al. (2011), que trabalharam com coentro e rúcula na região semi-árida do Rio Grande do Norte. Os autores observaram crescimento lento no início do ciclo, seguido por um período de rápido crescimento vegetativo. Doses de N acima de 200 kg ha<sup>-1</sup> não promoveram melhores resultados sobre o crescimento e o acúmulo de nutrientes.

Isso pode ter ocorrido porque a partir desta dose, outro(s) fator(es) de produção passou(ram) a ser limitante(s) (Wright et al., 2001).

A partir de 23 DAE, o efeito das doses de N sobre a área foliar, altura de plantas, número de folhas e massa seca tornaram-se mais expressivos. Então pôde-se destacar dois grupos de respostas às adubações nitrogenadas: primeiro, doses menores que 150 kg ha<sup>-1</sup> N e maiores que 200 kg ha<sup>-1</sup> N promoveram redução nas características analisadas, enquanto um segundo, representado por doses de 150 a 200 kg ha<sup>-1</sup> N, tiveram melhores resultados. No entanto, Silva (2017) observou aos 35 DAE, incremento na área foliar até 250 kg ha<sup>-1</sup> N. Enquanto Purquerio et al. (2007), obteve resposta positiva até 240 kg ha<sup>-1</sup> para as mesmas variáveis.

Com o rápido aumento da área foliar, há também maior incremento em altura de plantas e massa seca, com isso, a exigência nutricional tende a aumentar na mesma proporção. Por apresentar maior exigência em um período tão curto, plantas que não são fertilizadas com N tendem a apresentar deficiência nutricional, uma vez que o solo não tem capacidade de suprir de forma satisfatória a demanda nutricional da planta. Isso pode ser constatado no tratamento testemunha, onde a falta da adubação nitrogenada resultou em plantas menores e com menor acúmulo de massa seca.

Ao longo do ciclo de cultivo, o número de folhas também foi influenciado pela adubação nitrogenada, com 9,8 folhas por planta, obtidos com a aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> N. Estes resultados divergem dos encontrados por Silva (2017), que obteve 11,8 folhas por planta com 250 kg ha<sup>-1</sup> N e Mancin (2012), que observou 6,4 folhas por planta no momento da colheita quando utilizou 150 kg ha<sup>-1</sup> N em cobertura no cultivo de rúcula.

O acúmulo de nutrientes, em função do tempo e das doses de N, apresentou ajuste variável de acordo com o nutriente. No entanto a maior ocorrência dos ajustes deu-se com o modelo exponencial. Isso pode ter ocorrido possivelmente porque a rúcula é uma hortaliça folhosa e a colheita é realizada quando a planta ainda está em pleno desenvolvimento vegetativo, que justifica a intensa absorção e acúmulo dos nutrientes mesmo no momento da colheita.

As taxas de acúmulos de nutrientes na rúcula foram baixas até 20 DAE, que coincide com o baixo acúmulo de massa seca no período. O período de máxima absorção de nutrientes ocorreu entre 23 e 35 DAE, mesma época de maior acúmulo de massa seca. A ordem decrescente dos nutrientes extraídos foi: K, N, S, Mg, Ca,

Fe, Zn, Mn e Cu. O acúmulo de N foi crescente e 15 dias da colheita as plantas haviam acumulado em média apenas 4,9 mg planta<sup>-1</sup> N, que corresponde a 7,8% do total acumulado no final do cultivo. A rúcula acumulou 62,6 mg planta<sup>-1</sup> de N, que representa 2,3% na composição da massa seca total. A maior demanda coincidiu com o período de maior expansão da área foliar e massa seca. Resultados semelhantes foram encontrados em alface (Grangeiro et al., 2006), chicória (Feltrim et al., 2008) e alface (Kano et al., 2011).

As doses de N promoveram maior acúmulo de P ao longo do ciclo de cultivo da rúcula, comparativamente as do tratamento testemunha. Isso pode ter ocorrido por causa do maior crescimento da planta, com isso, houve aumento da demanda por P. Durante o ciclo de cultivo a rúcula acumulou apenas 11,3 mg por planta P, corresponde a 0,4% da massa seca. Apesar da baixa exigência da rúcula por P, este é o nutriente recomendado em maior quantidade para esta cultura. Isso corre pela baixa quantidade e disponibilidade deste nutriente no solo, com isso as adubações fosfatadas nos sistemas de cultivos, são frequentemente maiores do que as de N e K (Novais et al., 2007).

O potássio foi o nutriente mais absorvido pela planta, o acúmulo máximo foi de 230,3 mg planta<sup>-1</sup>, que corresponde a 8,5% da massa seca total da rúcula. Embora não faça parte de nenhum composto orgânico o K foi o nutriente mais acumulado pela rúcula, pois desempenha funções importantes no metabolismo vegetal, como ativador enzimático, transporte de carboidratos, síntese de proteínas, controla a pressão de turgor dentro da célula (Hawkesford et al., 2012; Taiz, et al., 2017). Portanto, fundamental para o funcionamento do metabolismo da planta, influenciando diretamente no crescimento e produtividade das culturas.

O total de Ca acumulado na planta foi de 7,0 mg planta<sup>-1</sup>. O baixo acúmulo na planta pode ter ocorrido pelo auto teor de K no solo, com isso, pode ter ocorrido interação entre esses dois nutrientes. Sabe que quando um desses se encontra em maior concentração no solo, um tende a reduzir a absorção do outro e com isso reduz o acúmulo. Aliado a isso, o K encontra-se no solo como íon monovalente com menor raio de hidratação, fazendo com ele tenha preferência no processo de absorção pelas raízes, comparativamente ao Ca, a mesma reação pode ocorrer com o Mg (Ernai, et al., 2007; Epstein e Bloom, 2008; Brady e Weil, 2013; Taiz et al., 2017).

Assim como o Ca, plantas que receberam adubação nitrogenada apresentaram maior acúmulo de Mg. O máximo de Mg acumulado foi de 13,9 mg planta<sup>-1</sup>. O maior conteúdo de Mg nas folhas explica-se pelo fato dele ser o átomo central da molécula de clorofila, na planta de rúcula o acúmulo de Mg correspondeu a 0,51% da massa seca total. O Mg é um importante ativador enzimático na rota de assimilação do N, sendo responsável pela ativação da glutamato sintetase (GS) no processo de assimilação da NH<sub>3</sub> que ocorre nos cloroplastos. Além de ser o nutriente responsável pela ativação do maior número de enzimas na célula vegetal, está envolvido no processo transferência de energia via ATP (adenosina trifosfato) (Epstein e Bloom 2008; Hawkesford et al., 2012; Taiz, et al., 2017).

Durante todo o ciclo de cultivo da rúcula, a adubação com N influenciou o acúmulo de S. O enxofre foi o terceiro nutriente mais acumulado pela rúcula, o acúmulo máximo foi de 20,6 mg planta<sup>-1</sup> S, perfazendo um total de 0,74% da massa seca no final do ciclo de cultivo. Nitrogênio e enxofre apresentam relação de sinergismo, deficiência de S reduz a síntese proteica e promove acúmulo de nitrato na planta, acarretando no menor acúmulo de massa seca e conseqüentemente menor produtividade e qualidade do produto colhido (acúmulo de nitrato) (Krishnam, 2005; Epstein e Bloom, 2008).

Acumulados em menores quantidades, mas não menos importantes os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foram influenciados pelas doses de N. O máximo acúmulo foi de 0,028, 2,33, 0,12 e 0,14 mg planta<sup>-1</sup> para Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente. O acúmulo desses nutrientes também apresentou comportamento similar aos macronutrientes, houve maior acúmulo no período que compreende maior incremento em massa seca. Esses nutrientes desempenham funções que estão diretamente relacionados no crescimento das plantas e na fotossíntese. O Cu ativa a carboxilase da ribulose, enzima responsável pela assimilação de CO<sub>2</sub> em compostos orgânicos, o Fe é componente da ferredoxina e do complexo b6f, o Mn participa do transporte de elétrons na fotossíntese, participa juntamente com S da quebra fotoquímica da molécula de H<sub>2</sub>O, já o Zn participa da alongação celular e crescimento apical.

### 3.5 CONCLUSÃO

Doses de nitrogênio entre 150 e 200 kg ha<sup>-1</sup> proporcionaram maior incremento em crescimento e acúmulo de nutrientes. A ordem decrescente de acúmulo dos nutrientes acumulados é de (em mg planta<sup>-1</sup>): K = 230,3; N = 62,6; S = 20,1; Mg = 13,9; P = 11,3; Ca = 7,01; Fe = 2,33; Zn = 0,14; Mn = 0,12 e Cu = 0,028.

### 3.6 REFERÊNCIAS

Andre RGB, Garcia A (2015) Aspectos climáticos do município de Jaboticabal-SP. **Nucleus**, 12:263-270.

Barbosa JC, Maldonado Júnior W (2015) **Experimentação Agronômica e Agroestat – Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. 1. ed. Jaboticabal: Gráfica Multipress Ltda, 2015.

Barros Júnior AP Cecílio Filho AB, Rezende BLA, Pôrto DRQ, Prado RM, Silva GS (2009) Teor de nitrato em consórcio de alface e rúcula em diferentes adubações nitrogenadas. **Horticultura Brasileira**, 27:1013-1018.

Brady NC, Weil RR (2013) **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Editora Bookman, 686p.

Epstein E, Bloom AJ (2006) **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 401p.

Ernani PR, Almeida JA, Santos FC (2007) Potássio. In Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1017p

Feltrim AL, Cecílio Filho AB, Rezende BLA, Barbosa JC (2008). Crescimento e acúmulo de macronutrientes em chicória coberta e não coberta com polipropileno. **Horticultura Brasileira**, 26:050-055.

Grangeiro LC, Bezerra Neto F, Negreiros MZ, Cecílio Filho AB, Caldas AVC, Costa NL (2007) Produtividade da beterraba e rúcula em função da época de plantio em monocultivo e consórcio. **Horticultura Brasileira**, 25:577-581.

Grangeiro LC, Costa KR, Medeiros MA, Salviano AM, Negreiros M, Bezerra Neto F, Oliveira SL (2006) Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semi-Árido. **Horticultura Brasileira**, 24:190-194.

Grangeiro LC, Freitas FCL, Negreiros MZ, Marrocos STP, Lucena RRM, Oliveira RA (2011) Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 6:11-16.

Hawkesford M, Horst W, Kichey T, Lambers T, Schjoerring J, Moller IH, White P (2012) Function of macronutrients. In: Marschner H (eds). **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press and Elsevier, London, p. 85-133.

Hoffmam R, Vieira S (1977) Análise de regressão, São Paulo, NEd. Huitec-Edusp, 339 p.

Jardina LL, Cordeiro CAM, Silva MCC, Sanches AG, Araújo Júnior PV (2017) Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, 4:78-82.

Kano C, Cardoso All, Villas Bôas RL (2011) Acúmulo de nutrientes pela alface destinada à produção de sementes. **Horticultura Brasileira**, v29:70-77.

Krishnan HB (2005) Engineering soybean for enhanced sulfur amino acid content. **Croop Science**, 45:454:461.

Mancin CA (2012) **Produtividade e teor de nitrato de alface e rúcula em cultivo consorciado e monocultivo em função da adubação com N-ureia e esterco bovino**. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

Medeiros MCL, Medeiros DC, Liberalino Filho J (2009) Adubação foliar na cultura da rúcula em diferentes substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 2:158-161.

Miyazawa M, Pavan MA, Muraoka T, Carmo CAFS, Melo WJ (2009) Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. DA (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, p. 191–233.

Novais RF, Smyth TJ, Nunes FN (2007) Fósforo. In Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL, **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1017p.

Oliveira EQ, Souza RJ, Cruz MCM, Marques VB, França AC (2010) Produtividade de alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, 28:36-40.

Oliveira LAA, Bezerra Neto F, Silva MLS, Oliveira OFN, Lima JSS, Barros Júnior AP (2015) Viabilidade agrônômica de policultivos de rúcula/cenoura/alface sob a qualidade de flor-de-seca e densidades populacionais. **Revista Caatinga**, 28:116-126.

Porto VCN, Bezerra Neto F, Lima JSS, Barros Júnior AP, Moreira JN (2011) Combination of lettuce and rocket cultivars in two cultures intercropped with carrots. **Horticultura Brasileira**, 29:404-411.

Purquerio LFV, Demant LAR, Goto R, Villas Boas RL (2007) Efeito da adubação nitrogenada de cobertura e do espaçamento sobre a produção de rúcula. **Horticultura Brasileira**, 25:464-470.

Ratke RF, Verginassi A, Basto DC, Morgado HS, Souza MRF, Fernandes EP (2011) Production and levels of foliar nitrogen in rocket salad fertilized with controlled-release nitrogen fertilizers and urea. **Horticultura Brasileira**, 29:246-249.

Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VAV, Lumbreras JF, Coelho MR, Almeida JA, Cunha TJF, Oliveira JB (2013) **Sistema brasileiro de classificação de solos** – 3 ed. ver. ampl. - Brasília, DF: EMBRAPA. 376 p.

Silva PHS (2017) **Adubação nitrogenada em rúcula: Efeitos no crescimento, produtividade e nutrição**. 2017. 36 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A (2017) **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 858p.

Trani PE, Purquerio LFV, Figueiredo GJB, Tivelli SW, Blat SF (2018) Alface, almeirão, agrião d'água, chicórias, coentro, espinafre e rúcula. In. Trani PE, Raij BV Cantarella H, Figueiredo GJB (Eds.) **Hortaliças: recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: CATI, 88 p. (Boletim técnico, 251).

Villas Bôas RL (2001) **Doses de nitrogênio para pimentão aplicadas de forma convencional e através da fertirrigação**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2001. 123p. Tese Livre Docência.

Wright IJ, Reich PB, Westoby M (2001) Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high-and low-rainfall and high-and low-nutrient habitats. **Functional Ecology**, 15:423-434.