

SARA RAISSA BRITO BEZERRA

**CURVA DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE
BRÓCOLIS E RÚCULA, E A ABSORÇÃO E O ACÚMULO DE NUTRIENTES
PARA A PRODUÇÃO DE SEMENTES EM SISTEMA ORGÂNICO**

Botucatu

2024

SARA RAISSA BRITO BEZERRA

**CURVA DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE
BRÓCOLIS E RÚCULA, E A ABSORÇÃO E O ACÚMULO DE NUTRIENTES
PARA A PRODUÇÃO DE SEMENTES EM SISTEMA ORGÂNICO**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp
Campus de Botucatu, para obtenção
do título de Doutora em Agronomia
(Horticultura)

Orientador: Dr. Antonio Ismael Inácio
Cardoso

Botucatu

2024

B574c Bezerra, Sara Raissa Brito

Curva de crescimento e desenvolvimento de plantas de brócolis e rúcula, e a absorção e o acúmulo de nutrientes para a produção de sementes em sistema orgânico / Sara Raissa Brito Bezerra. -- Botucatu, 2024

86 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Antonio Ismael Inácio Cardoso

1. Eruca sativa Miller. 2. Brassica oleracea L. italica. 3. Curva de crescimento. 4. Acúmulo de nutrientes. 5. Produção de sementes. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

CURVA DE CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE BRÓCOLIS E RÚCULA, E A ABSORÇÃO E O ACÚMULO DE NUTRIENTES PARA A PRODUÇÃO DE SEMENTES EM SISTEMA ORGÂNICO

AUTORA: SARA RAISSA BRITO BEZERRA

ORIENTADOR: ANTONIO ISMAEL INÁCIO CARDOSO

COORIENTADORA: CAROLINE DE MOURA D'ANDRÉA MATEUS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Horticultura), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ANTONIO ISMAEL INÁCIO CARDOSO (Participação Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



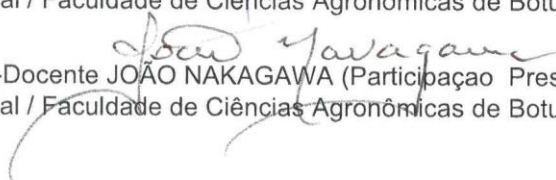
Prof.ª Dr.ª POLIANA ROCHA D'ALMEIDA MOTA (Participação Virtual)
Engenharia Agrícola e Solos / Universidade Federal do Piauí



Pesquisadora Dr.ª MARCIA PROVINZANO BRAGA XAVIER DE MELO (Participação Presencial)
./ Korin Agricultura e Meio Ambiente



Prof. Dr. EDVALDO APARECIDO AMARAL DA SILVA (Participação Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu



Voluntário Livre-Docente JOÃO NAKAGAWA (Participação Presencial)
Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Botucatu, 26 de março de 2024.

Para minha querida mãe Marileusa e amado irmão Wesley, através do amor incondicional de vocês aprendi lições de determinação que transcendem o tempo. Seus constantes apoio garantiram que nunca me faltassem a fé, a coragem e a persistência que me fizeram superar obstáculos em busca dos meus sonhos. Vocês são os pilares inabaláveis que sustentam cada conquista.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu guia, por estar presente em cada raio de sol e brilho da lua e por sua infinita graça. A Nossa Senhora Aparecida por toda proteção, colo de mãe, amor e orientação divina que sempre me ofertaram em minha jornada de vida.

Aos meus pais, Marileusa Brito e Raimundo Bezerra, por terem abdicado tanto de suas vidas para que eu pudesse conquistar meus sonhos. Sem o amor, apoio e incentivo incansável de vocês, este marco não teria sido possível. Cada passo que dei nessa vida foi sustentado pelo alicerce que vocês construíram para mim. Essa conquista é nossa.

Wesley Brito, meu amado irmão, agradeço por ser suporte, por ser amparo nos mais diversos momentos, a sua presença na minha vida é um presente. Sua compreensão, apoio incondicional e o amor que compartilhamos são verdadeiras joias. Obrigada por ser meu confidente, amigo e por estar presente nessa minha jornada.

Ao Prof. Dr. Antonio Ismael Inácio Cardoso, pela sua orientação, paciência incansável e credibilidade no meu crescimento acadêmico foram inestimáveis. Sou profundamente grata por sua dedicação em me ajudar na realização na minha carreira na pós-graduação desde o mestrado.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão pela valiosa contribuição da banca de qualificação e defesa da tese pelas valiosas contribuições e insights que foram fundamentais para o final desse doutorado.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP- Campus de Botucatu, pela oportunidade e pelos subsídios que proporcionaram a realização deste curso de pós-graduação. Em especial aos funcionários da Fazenda Experimental de São Manuel e do departamento de Horticultura, pelo auxílio nas implementações dos experimentos e das avaliações.

A Korin Agricultura e Meio Ambiente LTDA., em nome da gerente Patrícia Silva pela valiosa parceria e apoio durante o desenvolvimento desta pesquisa. A colaboração foi um pilar essencial para a concretização desse trabalho.

O meu profundo agradecimento a todos os professores que cruzaram meu caminho, deixando marcas indeléveis em minha formação intelectual e pessoal. Cada um, em especial prof. Dra. Janine Menegaes, prof. Dra. Poliana Mota e prof.

Dr. José Walmar Setubal, desempenharam um papel crucial, não apenas no compartilhamento de conhecimento, mas também na inspiração e orientação que moldaram minha trajetória.

Às amizades construídas em Botucatu, Juliana, Lucas, Camila, Pedro, Rafael, Maria Eduarda, Giovani, Silma, Lidiane, Andrey, Leandro por se tornarem minha segunda família, por todo apoio, força e descontração, cada momento compartilhado é um lembrete do valor inestimável do companheirismo, obrigada por fazerem parte da minha vida.

Aos meus amigos da pós-graduação, que levo para a vida, Isabella, Emanuele, Jolinda, Jorgiani e Joseantonio por estarem sempre ao meu lado, por chorarem comigo nos momentos difíceis, por tornarem a jornada mais leve com suas risadas, por serem um constante incentivo e por fornecerem auxílio valioso não apenas nos trabalhos acadêmicos, mas também na vida em geral. A amizade que compartilhamos é um tesouro inestimável, e a presença torna cada desafio mais suportável e cada vitória mais significativa.

Aos estagiários Iasmim Menezes e João Luis Cirilo por toda ajuda na execução dos experimentos e por tantos risos nas horas dos trabalhos mais árduos.

Aos não menos importante, meus amigos-irmãos, Renata, Ianny, Jayne e Josimar Júnior, meu coração transborda gratidão por nossa amizade e pelos incontáveis anos que compartilhamos juntos. Obrigado por tudo.

Agradeço a todos que direta e indiretamente me auxiliaram na realização do meu sonho, por todos que acreditaram e sonharam comigo, essa conquista é de vocês também.

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

Não é o crítico que merece destaque, nem aquele que indica onde o homem tropeçou ou como as façanhas poderiam ser aprimoradas. O mérito pertence àquele que está envolvido na arena da vida, cujo rosto é marcado por poeira, suor e sangue. Ele luta corajosamente, cometendo erros e enfrentando desilusões, pois não existe esforço sem esses obstáculos. Ele se dedica verdadeiramente aos seus feitos, experimentando entusiasmo e paixão, e se comprometendo com uma causa nobre. Se tiver sorte, alcançará o triunfo; e se fracassar, pelo menos terá ousado grandemente.

Roosevelt, T. (1910) *apud* Brown, B. **A coragem de ser imperfeito**. Rio de Janeiro: Editora sextante. 2016. 208 p.

RESUMO

O entendimento do crescimento e do acúmulo de nutrientes pelas plantas é de suma importância para o manejo da adubação. No entanto, quase não existem pesquisas nesta área para a produção de sementes da maioria das hortaliças e menos ainda em sistema orgânico de produção. O objetivo deste estudo foi estudar o padrão de crescimento e a absorção de nutrientes em duas espécies da família Brassicaceae: a rúcula, cultivar Giovana e o brócolis ramoso, cultivar Brasília. As duas espécies foram cultivadas em um sistema orgânico (natural) na localidade de Ipeúna-SP, nas instalações da empresa Korin Agricultura e Meio Ambiente LTDA. As avaliações da rúcula foram realizadas em nove épocas de amostragem, aos 20, 36, 48, 62, 76, 88, 110, 125 e 146 dias após a semeadura (DAS), enquanto para o brócolis foram conduzidas dez amostragens, aos 30, 45, 61, 73, 87, 103, 113, 135, 150 e 171 DAS. Durante esses momentos, foram avaliados tanto o crescimento das plantas quanto o acúmulo de nutrientes em folhas, caule, partes reprodutivas e, na última avaliação, também nas sementes. As plantas apresentaram crescimento contínuo, com a maioria dos macronutrientes acumulados durante as fases de florescimento e frutificação em ambas as culturas. Observou-se que a ordem decrescente do acúmulo total de nutrientes foi $K > N > Ca > S > Mg > P$ para a rúcula. Na coleta final, nas sementes, a ordem decrescente para a rúcula foi $N > S > K > P > Mg > Ca$. Os valores correspondentes ao acúmulo nas sementes de rúcula foram de 36% de N, 38% de P, 4% de K, 3% de Ca, 16% de Mg e 33% de S, do total acumulado desses nutrientes se encontravam nas sementes. A ordem decrescente dos nutrientes acumulados na planta inteira de brócolis foi $K > N > Ca > S > Mg > P$, enquanto nas sementes a ordem decrescente foi $N > K > Ca > Mg > S > P$. Do total acumulado na planta ao final do ciclo, 23%, 16%, 13%, 22%, 30% e 14% estavam nas sementes para o N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Para todas as características relacionadas à qualidade fisiológica das sementes, para a rúcula apresentou com médias 94%, 95% e 18,54 para primeira contagem, germinação total e índice de velocidade de germinação e para o brócolis médias de 77%, 89% e 12,15 para as mesmas características avaliadas.

Palavras-chave: *Eruca sativa* Miller; *Brassica olearacea* L. *italica*; curva de crescimento; acúmulo de nutrientes; cultivo orgânico; produção de sementes.

ABSTRACT

A comprehension of plant growth and nutrient accumulation is of great importance for fertilizer management. However, there is scarce research in this field for seed production of most vegetables, especially within the organic production system. The aim of this study was to investigate the growth pattern and nutrient absorption in two Brassicaceae family species: arugula (Giovana cultivar) and broccoli (Brasília cultivar). Both species were cultivated using an organic (natural) system in Ipeúna-SP, within the facilities of Korin Agricultura e Meio Ambiente LTDA. Arugula evaluation were conducted at nine sampling periods, at 20, 36, 48, 62, 76, 88, 110, 125, 146 days after sowing (DAS), while for broccoli, ten samplings were carried out at 30, 45, 61, 73, 87, 103, 113, 135, 150, and 171 DAS. Throughout these moments, both plant growth and nutrient accumulation in leaves, stems, reproductive parts, and in the final assessment, seeds, were evaluated. Plants exhibited continuous growth, with most macronutrients accumulating during the flowering and fruiting stages in both crops. The descending order of total nutrient accumulation was observed to be $K > N > Ca > S > Mg > P$ for arugula. In the final seed collection, the descending order for arugula was $N > S > K > P > Mg > Ca$. The corresponding values for nutrient accumulation in arugula seeds were 36% N, 38% P, 4% K, 3% Ca, 16% Mg and 33% S. The descending order of nutrients accumulated in the whole plant of broccoli was $K > N > Ca > S > Mg > P$, while in the seeds, the descending order was $N > K > Ca > Mg > S > P$. Of the total accumulated in the plant at the end of the cycle, 23%, 16%, 13%, 22%, 30% and 14% were in the seeds for N, P, K, Ca, Mg and S, respectively. For all characteristics related to the physiological quality of the seeds, arugula showed averages of 94%, 95%, and 18.54 for the first count, total germination, and germination speed index, respectively, while broccoli showed averages of 77%, 89%, and 12.15 for the same evaluated characteristics.

Keywords: *Eruca sativa* Miller; *Brassica olearacea* L. *italica*; growth curve; accumulation of nutrients; organic cultivation; seed production.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	17
CAPÍTULO 1- CURVA DE ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E DE MACRONUTRIENTES PELAS PLANTAS DE RÚCULA VISANDO PRODUÇÃO DE SEMENTES EM SISTEMA ORGÂNICO.....	20
1.1 INTRODUÇÃO.....	23
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
1.3.1 Curva de crescimento.....	29
1.3.2 Curva de acúmulo de macronutrientes.....	32
1.3.3 Taxa de acúmulo diário de nutrientes.....	44
1.3.4 Qualidade das sementes.....	46
1.4 CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS.....	48
CAPÍTULO 2- DINÂMICA DE CRESCIMENTO E ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES PELAS PLANTAS DE BRÓCOLIS VISANDO PRODUÇÃO DE SEMENTES EM SISTEMA ORGÂNICO.....	52
2.1 INTRODUÇÃO.....	55
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	57
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
2.3.1 Curva de crescimento.....	62
2.3.2 Curva de acúmulo de macronutrientes.....	65
2.3.3 Taxa de acúmulo diário de nutrientes.....	75
2.3.4 Qualidade das sementes.....	78
2.4 CONCLUSÕES.....	79
REFERÊNCIAS.....	80
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
REFERÊNCIAS.....	85

INTRODUÇÃO GERAL

A olericultura desempenha um papel fundamental na agricultura brasileira, trazendo benefícios socioeconômicos relevantes e sendo alicerce para uma dieta saudável. Esta atividade tem progredido consideravelmente na busca por produtos que forneçam alimentos de alta qualidade, ricos em nutrientes e vitaminas (Rodrigues, 2019).

As espécies da família Brassicaceae compreendem uma ampla diversidade de plantas, notáveis por sua relevância socioeconômica e contribuição crucial para a saúde e nutrição humana. Entre as espécies hortícolas pertencentes a essa família, merecem destaque o agrião (*Rorippa nasturtium-aquaticum*), o brócolis (*Brassica oleraceae* var. *italica*), a couve (*Brassica oleraceae* var. *acephala*), a couve-flor (*Brassica oleraceae* var. *botrytis*), o repolho (*Brassica oleraceae* var. *capitata*) e a rúcula (*Eruca sativa* Miller) (Marouelli *et al.*, 2017).

A rúcula é uma hortaliça herbácea anual, de estatura baixa, alcançando, no padrão comercial, de 15 a 20 cm de altura. Suas folhas são caracteristicamente robustas e apresentam segmentações. O verde é predominante no limbo foliar, enquanto as nervuras se destacam em um tom verde-claro. É uma hortaliça folhosa de grande importância econômica que tem ganhado destaque no grupo de vegetais devido à sua riqueza nutricional. Apresenta ciclo de crescimento curto para a colheita das folhas, e mais longo para produção de sementes, e, conseqüentemente, deve requerer alta necessidade de nutrientes, em um curto período para produção da folhosa, porém aumentando quando se tem a intenção de produção de sementes. No entanto, até o momento, os estudos relacionados ao manejo nutricional dessa cultura são escassos (Jasper *et al.*, 2020).

A cultura do brócolis apresenta um potencial de mercado elevado, seu valor econômico no setor agrícola tem aumentado substancialmente, impulsionado pela sua procura em diversos tipos de culinária, suas qualidades nutricionais e a presença de compostos benéficos para a saúde. Além do impacto econômico, o brócolis desempenha um papel social significativo ao gerar empregos diretos e indiretos, abrangendo desde a fase de cultivo até a etapa de processamento industrial (Melo, 2015).

Existem dois tipos de brócolis, o de inflorescência única e o ramoso. Neste último, o caule é relativamente longo e suas folhas possuem nervuras menos

proeminentes, enquanto os pedúnculos são compridos e mais espaçados. A inflorescência central exibe uma compactação menos evidente e variações de cor que vão do verde ao azulado. Esta estrutura produz vários rebentos nas axilas das folhas, que culminam em capítulos de flores imperfeitas. Os ápices florais consistem em botões com pétalas amareladas. Os estames se organizam em seis segmentos alongados. O fruto, conhecido como sílica, é alongado e contém um septo interno que abriga sementes redondas de tonalidade escura (Melo, 2015).

Nas últimas décadas conceitos como biodiversidade, agricultura ecológica, desenvolvimento sustentável passaram a ser destaque e pauta dentro do universo das políticas públicas e nos últimos anos o tema sustentabilidade vem ganhando um maior destaque pela sociedade (Santos, 2020). Agricultura biodinâmica, agricultura biológica, agricultura natural, permacultura e agricultura de manejo orgânico são alguns métodos da agricultura que buscam a sustentabilidade do agroecossistema (Oliveira, 2012).

A “lei de orgânicos” define o sistema orgânico de produção que objetiva a “sustentabilidade (econômica e ecológica), a maximização dos benefícios sociais e a minimização da dependência de energias não renováveis”, em conjunto com a utilização de métodos culturais, biológicos e mecânicos, e contraposição ao uso de materiais sintéticos (Brasil, 2003).

A agricultura natural, preconizada por Mokiti Okata em sua obra filosófica, considera fatores multifuncionais da agricultura, entre eles, produção de alimentos de qualidade, preservação ambiental, respeito da biodiversidade, bem-estar social e econômico de produtores (Demattê Filho, 2014).

O princípio da agricultura natural prioriza a ideia de artificializar o menos possível a produção, mantendo o sistema agrícola o mais próximo possível dos sistemas naturais, evitando perdas de energia no sistema (Penteado, 2001).

Apesar do crescente aumento na área com hortaliças produzidas no sistema orgânico, ainda são escassas as pesquisas nesta área, sendo que na área de produção de sementes são ainda menos comuns, principalmente em espécies em que ocorre aumento no ciclo e, conseqüentemente, na exigência em nutrientes como as brassicáceas (Magro *et al.*, 2009).

O conhecimento acerca da absorção e do acúmulo de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura tem função importante para determinar as épocas em que os elementos são mais exigidos e orientar as correções de deficiências

que possam vir a ocorrer durante o estabelecimento da cultura. As curvas de absorção auxiliam no planejamento da adubação, principalmente nas quantidades dos diferentes nutrientes a serem aplicados nos diferentes estádios fisiológicos da cultura (Villas Bôas, 2001).

A absorção dos nutrientes é maior durante o florescimento, na formação e no crescimento dos frutos ou do órgão que será colhido, por isso, além da quantidade absorvida de nutrientes, deve ser considerada, também, a sua concentração nos diferentes estádios de desenvolvimento (Mendes *et al.*, 2008).

A produção de matéria seca da planta é utilizada para indicar a intensidade de crescimento da mesma, possibilitando correlacionar com os fatores de nutrição mineral e conseqüentemente com a adubação, fator este influenciado pela taxa de crescimento da planta (Bortolini *et al.*, 2002).

Diante da escassez de informações acerca da demanda de nutrientes para muitas espécies olerícolas, como a rúcula e o brócolis, principalmente tendo em vista a produção de sementes, em que o ciclo se torna maior, e conseqüentemente a demanda de nutrientes, objetivou-se determinar a curva de absorção de macronutrientes e o acúmulo de matéria seca dessas espécies visando a produção de sementes em sistema orgânico.

CAPÍTULO 1

CURVA DE ACÚMULO DE MATÉRIA SECA E DE MACRONUTRIENTES PELAS PLANTAS DE RÚCULA VISANDO PRODUÇÃO DE SEMENTES EM SISTEMA ORGÂNICO

RESUMO

A produção e o consumo de rúcula produzidas no sistema orgânico no Brasil estão em contante crescimento. No entanto, são poucas as pesquisas sobre produção de sementes nesta espécie e, no caso da adubação orgânica, não existem pesquisas específicas para produção de sementes. O conhecimento do crescimento e acúmulo de nutrientes pela cultura pode ser de grande utilidade no manejo e na adubação da cultura. Objetivou-se determinar a curva de acúmulo de matéria seca e de macronutrientes da rúcula em um campo de produção de sementes em sistema orgânico no município de Ipeúna- SP, na empresa Korin Agricultura e Meio Ambiente LTDA. Foram realizadas nove amostragens ao longo do ciclo da cultura, correspondendo aos 20, 36, 48, 62, 76, 88, 110, 125 e 146 dias após a semeadura (DAS). Aos 20 DAS foram coletadas dez mudas, constituindo uma amostra composta e nas demais coletas foram amostradas três plantas. Em cada coleta foram obtidos a massa da matéria seca e o acúmulo de macronutrientes e calculada a taxa de acúmulo diária no caule, folhas, órgãos reprodutivos e, apenas na última amostragem, nas sementes. Observou-se que as plantas apresentaram crescimento contínuo e acúmulo de matéria seca ao longo de todo ciclo. O período de maior acúmulo da maioria dos nutrientes foi durante o florescimento e a frutificação dos 88 aos 146 DAS. A ordem decrescente dos nutrientes acumulados na planta inteira foi $K > N > Ca > S > Mg > P$, enquanto nas sementes a ordem decrescente foi $N > S > K > P > Mg > Ca$. Do total acumulado na planta ao final do ciclo, 36%, 38%, 4%, 3%, 16% e 33% estavam nas sementes para o N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Para todas as características relacionadas à qualidade fisiológica das sementes, para a rúcula apresentou com médias 94%, 95% e 18,54 para primeira contagem, germinação total e índice de velocidade de germinação

Palavras-chave: *Eruca sativa* Miller; curva de crescimento; acúmulo de nutrientes; cultivo orgânico.

ABSTRACT

The production and consumption of arugula grown in the organic system in Brazil are continuously growing. However, there is limited research on seed production in the species, and in the case of organic fertilization, there are no specific studies for seed production. Knowledge of growth and nutrient accumulation in the crop can be highly beneficial for crop management and fertilization. The objective was to determine the dry matter and macronutrient accumulation curve of arugula in an organic seed production field in Ipeúna- SP- Brazil, at the company “Korin Agricultura e Meio Ambiente LTDA”. Nine samplings were conducted throughout the crop cycle, corresponding to 20, 36, 48, 62, 76, 88, 110, 125 and 146 days after sowing (DAS). At 20 DAS, ten seedlings were collected, constituting a composite sample, and in the subsequent collections, three plants were sampled. For each collection, the dry matter mass and macronutrient accumulation were obtained, and the daily accumulation rate was calculated for stems, leaves, reproductive organs and, only in the last sampling, in seeds. It was observed that the plants showed continuous growth and dry matter accumulation throughout the cycle. The period of highest nutrient accumulation for most nutrients was during flowering and fruiting from 88 to 146 DAS. The descending order of nutrients accumulated in the whole plant was $K > N > Ca > S > Mg > P$, while in the seeds, the descending order was $N > S > K > P > Mg > Ca$. Of the total accumulated in the plant at the end of the cycle, 36%, 38%, 4%, 3%, 16% and 33% were in the seeds for N, P, K, Ca, Mg, and S, respectively. For all characteristics related to the physiological quality of the seeds, arugula showed averages of 94%, 95%, and 18.54 for the first count, total germination, and germination speed index, respectively.

Keywords: *Eruca sativa* Miller.; growth curve; accumulation of nutrients; organic cultivation.

1.1 INTRODUÇÃO

A rúcula (*Eruca sativa* Miller) é uma hortaliça folhosa pertencente à família Brassicaceae que tem como centro de origem a região mediterrânea e o oeste da Ásia. Possui crescimento rápido e ciclo de cultivo relativamente curto. Estima-se que no Brasil a área cultivada seja de 6.000 hectares/ano, com cerca de 85% da produção nacional concentrada na região Sudeste (Jardina *et al.*, 2017).

No Brasil, o consumo de rúcula está em constante crescimento, o que tem levado a um aumento na sua produção em diferentes regiões do país, além das tradicionais Sul e Sudeste (Cecílio Filho *et al.*, 2014). Cerca de 20.567 estabelecimentos agrários foram responsáveis pela produção nacional de 40.527 toneladas de rúcula no ano de 2016 (IBGE, 2023).

As folhas dessa hortaliça são altamente valorizadas na gastronomia devido as suas características organolépticas, com a presença de vários glucosinolatos e outros compostos que contêm enxofre, conferindo um gosto amargo, e oferecem benefícios à saúde, graças à presença significativa de nutrientes como potássio, ferro e vitamina C (Freitas *et al.*, 2017; Piślewska-Bednarek *et al.*, 2018).

Segundo Grangeiro *et al.* (2011), é fundamental ter um entendimento aprofundado sobre a nutrição e o comportamento da rúcula durante seu crescimento e desenvolvimento, a fim de garantir a disponibilidade adequada de nutrientes para alcançar maior produtividade. O conhecimento sobre a quantidade de nutrientes acumulados pela planta em cada estágio de desenvolvimento é de grande importância, pois fornece informações valiosas para auxiliar na elaboração de um programa de adubação eficiente. Assim, a compreensão da dinâmica de absorção e do acúmulo de nutrientes nas diferentes etapas de crescimento da planta permite determinar as épocas em que os elementos são mais exigidos e corrigir as deficiências que, porventura, possam ocorrer durante o ciclo da cultura (Alves *et al.*, 2011).

O conhecimento da produção de matéria seca durante o crescimento e o desenvolvimento da planta é essencial, pois oferece conhecimentos importantes sobre os fatores relacionados à nutrição mineral. Isso, por sua vez, tem um impacto direto na adubação, uma vez que a absorção de nutrientes é influenciada pela taxa de crescimento da planta, e compreender esses aspectos é fundamental para otimizar a aplicação adequada dos nutrientes necessários (Marschner, 1995).

Diante da necessidade exigida pelo mercado, tem sido crescente a demanda por produtos de origem orgânicas no mundo, e conseqüentemente maior necessidade de estudos e técnicas que viabilizem a produção de hortaliças e de sementes que minimizem ou eliminem a utilização de adubos minerais e agrotóxicos (Lima *et al.*, 2020).

Quando o objetivo é a produção de sementes, para muitas espécies olerícolas, como a rúcula, o seu ciclo é prolongado, assim como a demanda por nutrientes, tendo em vista que é após o florescimento que ocorre o maior acúmulo de nutrientes (Cardoso, 2011; Cardoso *et al.*, 2016). No entanto, não existem informações sobre a curva de absorção de matéria seca e de nutrientes para a rúcula visando a produção de sementes, sobretudo em sistema orgânico de produção.

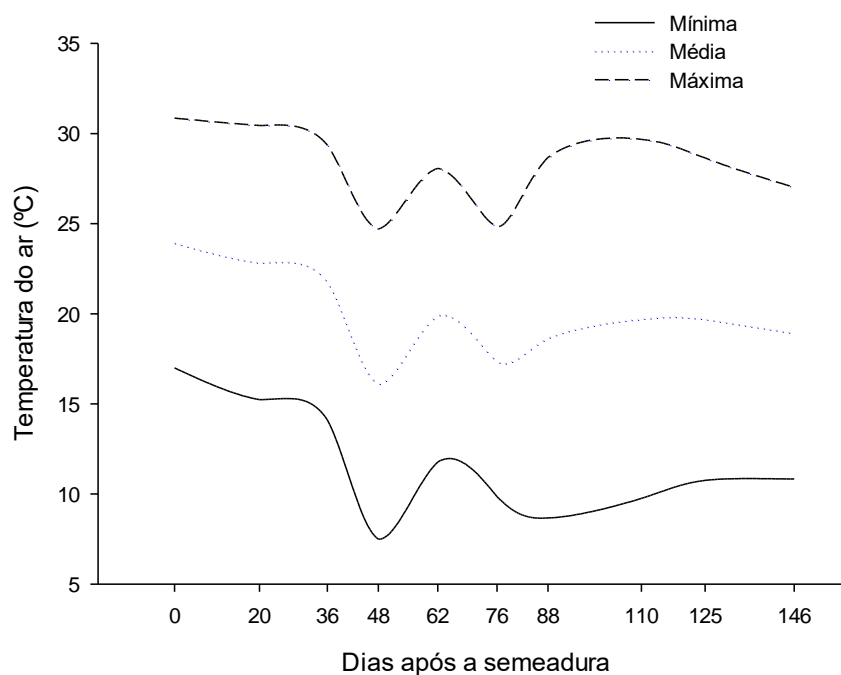
Diante da escassez de informações, objetivou-se determinar a curva de acúmulo de matéria seca e de macronutrientes da rúcula em um campo de produção de sementes em sistema orgânico.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na estação experimental da empresa Korin Agricultura e Meio Ambiente LTDA., no município de Ipeúna, estado de São Paulo (latitude 22°24'04" S, longitude 47°40'56" W, altitude 635 m). A propriedade possui certificação orgânica por auditoria pelo Instituto Biodinâmico (IBD) desde 2008. As plantas foram conduzidas em ambiente protegido, em estufa do tipo arco, com dimensões de 50 m de comprimento por 5 m de largura, coberta com plástico difusor de 150 µm, e pé direito de 4 m, sem fechamento das laterais para permitir a entrada de insetos polinizadores.

O clima é classificado como Cwa, mesotérmico com verões quentes e úmidos e invernos secos (Köppen, 1948). Durante a condução do experimento a temperatura média mínima foi de 11,5 °C e máxima de 28,2 °C com média de 19,9 °C (CIIAGRO, 2023). Na Figura 1, estão representadas as temperaturas registradas durante o período de condução do experimento no ambiente externo à estufa.

Figura 1- Temperaturas médias, mínimas e máximas diárias no município de Ipeúna-SP, durante o período do experimento



Fonte: CIIAGRO, 2023.

O solo da área experimental é classificado como latossolo vermelho amarelo e a análise química na camada de 0 a 20 cm na implantação do experimento apresentou os seguintes resultados: $\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)} = 6,2$; matéria orgânica = 37 g dm^{-3} ; $\text{P}_{\text{resina}} = 148 \text{ mg dm}^{-3}$; $\text{H+Al} = 17 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{K} = 15,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Ca} = 81 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg} = 38 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; soma de bases (SB) = $134,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, capacidade de troca de cátions (CTC) = $151,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e saturação de bases (V%) = 89%. Não foi feita calagem nem adubação antes do transplante devido os elevados valores da V% e dos teores dos nutrientes. No campo de produção de rúcula, a cultura anteriormente cultivada foi zínia, sendo retirado, no momento da colheita, todos os restos de colheita.

A semeadura da cultivar Giovana foi realizada em 08 de abril de 2022, em bandejas de polipropileno com 200 células preenchidos com substrato Carolina Soil, enriquecido com bokashi farelado e pó de rocha. As mudas foram transplantadas aos 20 dias após a semeadura (DAS), sendo uma linha por canteiro, no espaçamento 1,00 x 0,30 m, sendo apenas uma planta por cova.

Durante o ciclo da rúcula, foram realizadas três aplicações de Bokashi FertPremium®, fertilizante orgânico compostado à base de água, extrato de levedura, composto orgânico e melão de cana de açúcar, na concentração de 1%, espaçadas entre si em 15 dias, sendo a primeira aplicação aos 24 DAS.

Durante a condução do experimento foram implementadas medidas de controle de plantas daninhas (capinas), irrigação localizada por microaspersão e aos 90 DAS as plantas foram tutoradas, sendo realizada a cobertura dos canteiros com palhada de capim Napier.

Foram realizadas nove amostragens de plantas, desde a semeadura até a colheita das sementes, correspondendo aos 20, 36, 48, 62, 76, 88, 110, 125 e 146 DAS. Aos 20 DAS, realizou-se o transplante das mudas sendo coletadas dez mudas, constituindo uma amostra composta e nas demais coletas foram três plantas amostradas individualmente.

Em cada coleta, as plantas amostradas foram cortadas rentes ao solo, sendo mensurados altura da planta (ALT) com auxílio de uma régua milimétrica, diâmetro de caule (DC) utilizando paquímetro digital e número de folhas (NF) através da contagem. Posteriormente, foram divididas em caule, folhas e a partir da coleta aos 88 DAS, também a parte reprodutiva, e na última coleta aos 146 DAS foram separadas as sementes das demais das partes do material reprodutivo.

A colheita das sementes foi realizada ao observar que cerca de 50% das sílicas de cada planta se encontravam amareladas e não completamente secas, e as sementes se apresentavam com coloração marrom ou pretas (Contreras *et al.*, 2014).

Em cada coleta, cada parte da planta foi lavada em duas etapas, água corrente até remoção total das partículas do solo e posteriormente mergulhadas por um minuto em bandeja plástica contendo água destilada. Após a lavagem, estas foram dispostas sobre papel toalha e secas ao ar por 24 horas e colocadas em sacos de papel, secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingir massa constante.

As amostras secas foram pesadas em balança digital (com precisão de 0,01 g) para obtenção da massa da matéria seca. Depois, as amostras foram moídas em moinho de aço inoxidável, tipo Willey, e armazenadas em sacos de papel em câmara seca a 20°C e 40% de umidade relativa.

Ao final das coletas de plantas, as amostras secas moídas foram encaminhadas para o Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UNESP/FCA, para avaliação dos teores de macronutrientes.

A determinação dos teores de macronutrientes foi feita segundo Malavolta (2006), sendo o teor de nitrogênio (N) realizado pelo método de digestão sulfúrica, enquanto de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) pelo método de digestão nítrico-perclórica. As quantidades de nutrientes acumulados foram obtidas pela proporcionalidade do teor de cada nutriente pela massa da matéria seca da amostra e os dados foram expressos em mg planta^{-1} .

As taxas de acúmulo diário foram calculadas a partir do acúmulo estimado para cada nutriente, subtraindo-se os valores de dois dias consecutivos. Esse cálculo foi realizado para todos os dias do ciclo de cultivo, resultando em valores de acúmulo diário, expressando os resultados em $\text{mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para cada macronutriente.

As características avaliadas foram submetidas à análise de regressão, sendo considerada como variável independente a idade da planta, expressa em dias após a semeadura (DAS). Os dados de cada característica obtidos nas nove épocas de amostragem de planta foram utilizados para obtenção de equações para estimar o crescimento e acúmulo de nutrientes no decorrer do ciclo.

As equações foram ajustadas no modelo de regressão não linear sigmoidal com três parâmetros, conforme a Equação 1. O software utilizado para realizar a análise da estatística e da regressão foi o Origin, e para desenvolver as figuras, o software SigmaPlot.

$$y = \frac{a}{1+e^{-k(x-xc)}} \quad (1)$$

onde:

y = valor médio da característica avaliada;

a = ponto de máximo da curva;

k = parâmetro de ajuste;

xc = ponto de inflexão.

Para o teste de germinação foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, dispostas em caixa gerbox com papel mata-borrão, umedecidos com água destilada correspondente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Após o procedimento, as caixas foram dispostas em germinador tipo BOD com temperatura constante de 20°C (Brasil, 2009).

Foram contabilizados os totais de sementes germinadas foi avaliada aos 4 e 7 dias após a semeadura, constituindo respectivamente, primeira contagem e germinação total. Foram consideradas germinadas as sementes que apresentavam as folhas cotiledonares totalmente expandidas (Brasil, 2009).

O índice de velocidade de germinação foi calculado utilizando os dados coletados no teste de germinação. A obtenção deste índice foi por meio da equação 2, descrita por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n} \quad (2)$$

Onde:

G_1, G_2, G_n = número de plantas germinadas em cada contagem;

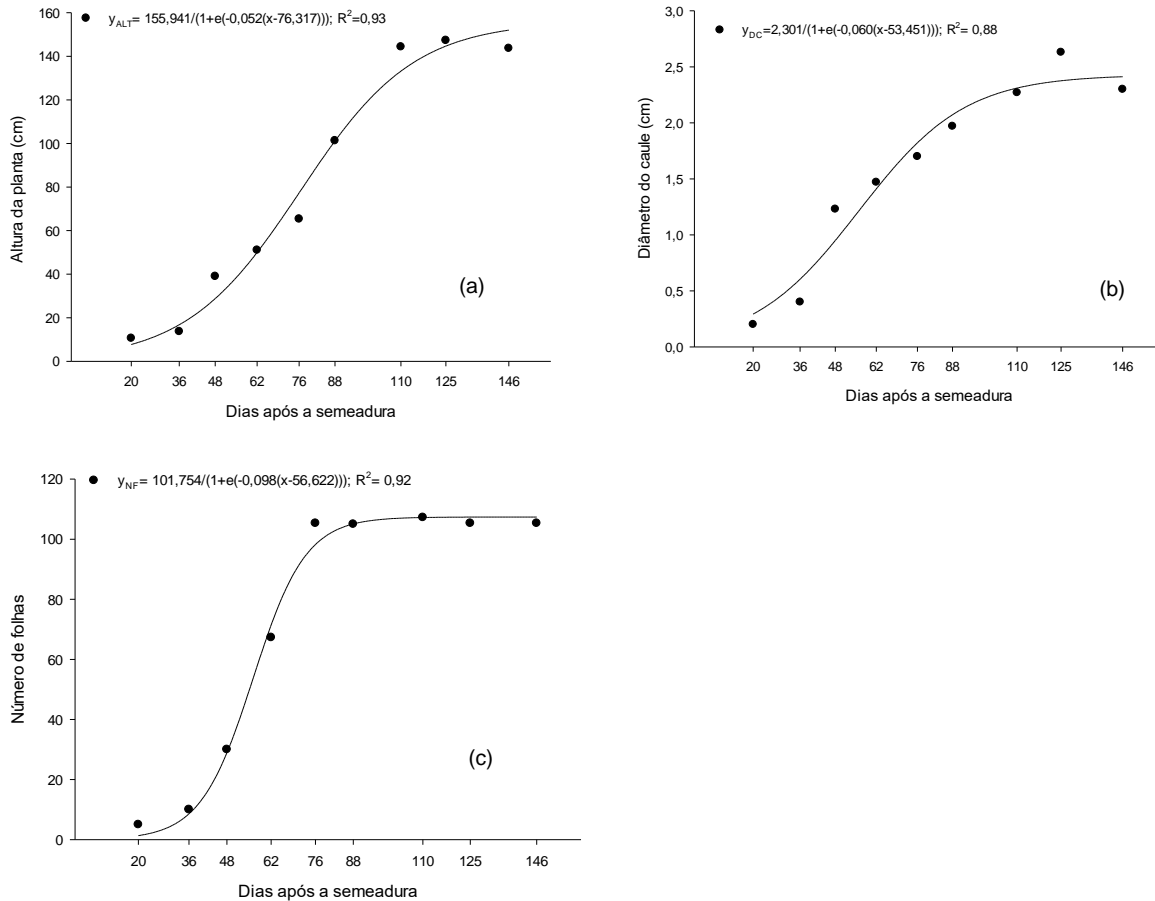
N_1, N_2, N_n = número de dias da semeadura a cada contagem.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Curva de crescimento

O ciclo da rúcula cv. Giovana foi de 146 dias até a colheita das sementes, e a curva de crescimento ajustou-se ao modelo de crescimento sigmoidal. Com relação à altura da plantas (Figura 2a) e diâmetro do caule (Figura 2b), foi observado crescimento lento até os 76 DAS, e dos 88 DAS aos 110 DAS um rápido incremento de altura de planta, devido a alongação da haste floral, e depois se estabilizou até a colheita das sementes. Quanto ao número de folhas, houve aumento até os 88 DAS, ou seja, até quando houve a emissão dos botões florais, mantendo-se estável a partir desta avaliação até a colheita das sementes (Figura 2c).

Figura 2- Altura da plantas (a), diâmetro do caule (b) e número de folhas (c) em plantas de rúcula ao longo do ciclo para produção de sementes em sistema orgânico

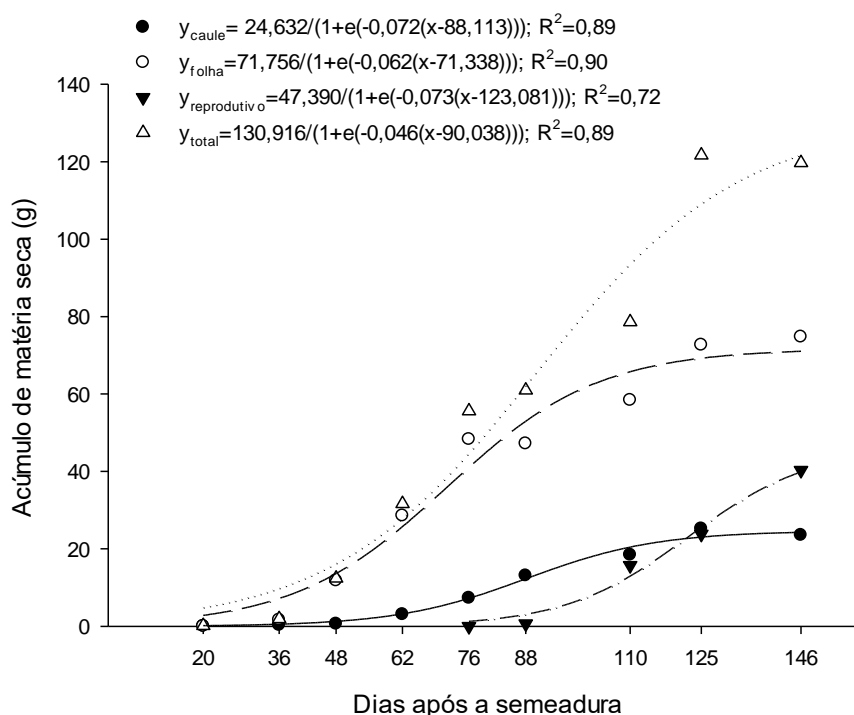


Ao analisar a curva que descreve o acúmulo de matéria seca total da planta de rúcula, pode-se dividir o desenvolvimento da mesma em três estágios, sendo o primeiro da sementeira até aos 48 DAS, o segundo dos 48 aos 88 DAS e o terceiro dos 88 aos 146 DAS (Figura 3), sendo as duas primeiras fases correspondentes ao estágio vegetativo e a terceira correspondente ao início da emissão dos botões florais até o ponto de colheita das sementes. No primeiro estágio (até 48 DAS) observa-se aumento da massa de matéria seca, porém, menos pronunciado que no segundo estágio (48 a 88 DAS) quando o acúmulo de matéria seca foi acentuado e quase que linear, e no último (após os 88 DAS) o aumento foi menos pronunciado que no segundo.

Wurr *et al.* (1981), ao estudarem couve-flor, também observaram três fases, porém com o objetivo da colheita do cultivo comercial, a primeira corresponde a fase juvenil em que a planta produz somente folhas, a segunda fase é a da indução da

floração e a terceira fase refere-se ao crescimento da inflorescência. Kano *et al.* (2011), ao estudarem alface para produção de sementes, observaram que a planta apresenta uma demanda por nutrientes crescente até a colheita das sementes, e o primeiro estágio, até o ponto de colheita para consumo, também foi de acúmulo de matéria seca bem menos intensa que após o início da fase reprodutiva. Isto mostra que para estas hortaliças folhosas não é possível extrapolar o acúmulo de matéria seca e, conseqüentemente, de nutrientes, para a produção de sementes a partir de trabalhos em que se avalia apenas a fase vegetativa, até o ponto de colheita do vegetal para consumo. Se for considerado que as plantas estavam em ponto de colheita para consumo com cerca de 40 DAS, tinham acumulado apenas 11,69 g planta⁻¹ de matéria seca total, ou seja, cerca de 9,6% do total acumulado ao final do ciclo para produzir sementes aos 146 DAS.

Figura 3- Acúmulo de matéria seca total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de rúcula ao longo do ciclo para produção de sementes em sistema orgânico



Segundo Holtekjolen *et al.* (2008), o crescimento inicial lento das plantas ocorre devido o direcionamento de uma grande quantidade de energia para fixar suas raízes

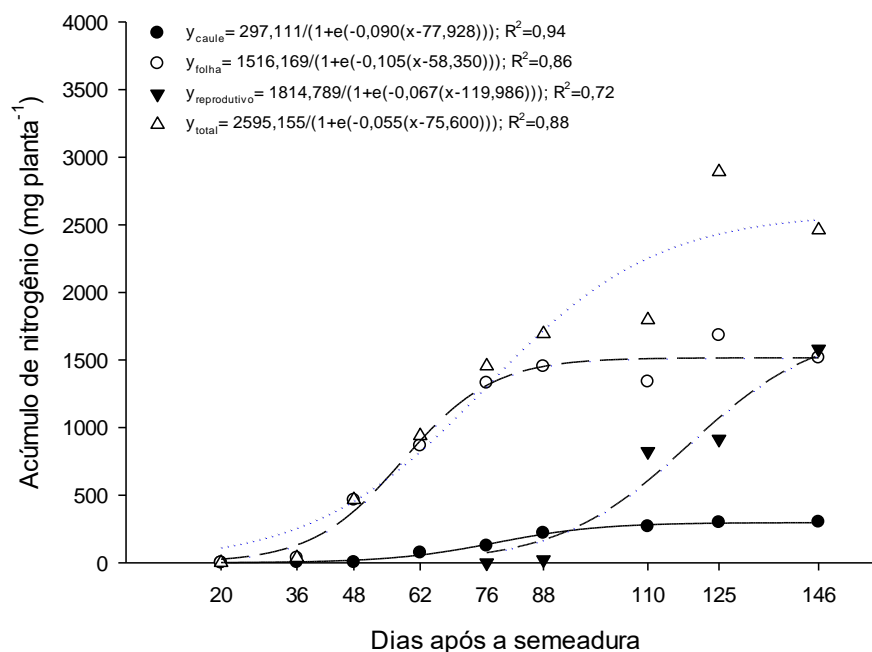
no solo. Nessa fase, as raízes são o principal local de consumo de fotoassimilados, o que resulta em um desenvolvimento mais gradual da parte aérea das plantas. Além disso, as plantas ainda estão aumentando o número de folhas e área foliar, responsáveis pela fotossíntese e, conseqüentemente, acúmulo de massa seca.

A partir da fase em que iniciou a emissão dos botões florais aos 88 DAS, houve um direcionamento de fotoassimilados da parte vegetativa para as partes reprodutivas da planta, sendo crescente o incremento no acúmulo de matéria seca (Figura 3). Porém, a parte vegetativa da planta ainda continuou a acumular matéria seca, e do total acumulado aos 146 DAS, 92,26 g planta⁻¹ (75,7%) acumularam-se na parte vegetativa (MSVeg) e 39,91 g planta⁻¹ (32,7%) nas partes reprodutivas (MSRep). Apesar da parte reprodutiva ser o dreno mais forte da planta (Taiz *et al.*, 2017), a parte vegetativa da planta de rúcula se desenvolve ao longo de um período maior e acumula a maior parte da massa de matéria seca, com destaque para as folhas, para somente depois se formarem as partes reprodutivas.

1.3.2 Curva de acúmulo de macronutrientes

O acúmulo de nitrogênio (N) no caule e nas folhas foi crescente até o início da emissão dos botões florais (88 DAS), estabilizando-se após esta data (Figura 4), enquanto nas partes reprodutivas o acúmulo foi mais pronunciado a partir dos 110 DAS.

Figura 4- Quantidade de nitrogênio acumulado total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de rúcula ao longo do ciclo para produção de sementes em sistema orgânico



Para o total de nitrogênio na planta (Figura 4), foram observados três estádios, sendo o primeiro, até cerca de 48 DAS, com acúmulo lento, aumentando quase linearmente dos 48 aos 110 DAS, e um terceiro estágio, dos 110 aos 146 DAS, com incrementos menos intensos que no segundo estágio. Ao final do ciclo (146 DAS) a planta apresentava 3355,41 mg planta⁻¹ de N. As avaliações iniciaram-se aos 20 DAS, com 27,87 mg planta⁻¹, sendo que ao final do primeiro período (48 DAS) as plantas apresentavam 400,45 mg planta⁻¹, ou seja 18,1% do total acumulado; ao final do segundo período (110 DAS) as plantas apresentavam 2406,62 mg planta⁻¹, ou 88,8% do total acumulado; e no terceiro período (110 aos 146 DAS) acumularam cerca de 11,1% do total acumulado, demonstrando a importância da disponibilidade deste nutriente até o final do ciclo. Kano *et al.* (2011), ao estudarem o acúmulo de nutrientes em alface para produção de sementes, também relataram o padrão sigmoide, com pequena demanda por nutrientes no início do ciclo, sendo a maior demanda após o início do pendoamento e redução ao final do ciclo, semelhante ao observado em rúcula.

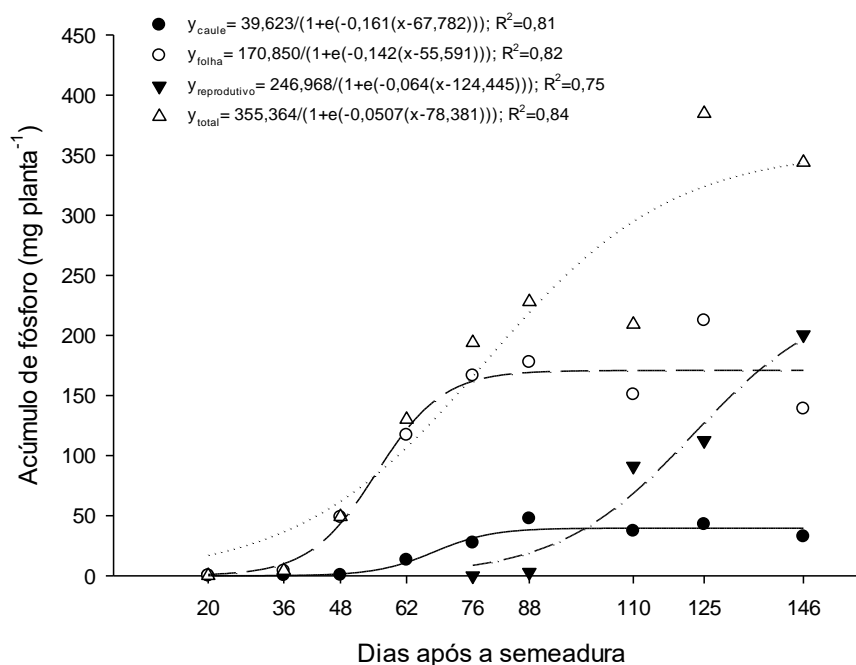
A partir dos 88 DAS, a parte vegetativa (folhas e caule) deixou de acumular o N e, provavelmente, passaram a redistribuir o nutriente para as estruturas reprodutivas na mesma proporção em que recebiam o nutriente absorvido pela planta, com estabilização no acúmulo nestes órgãos vegetativos até o final do ciclo. Também Castoldi *et al.* (2009), ao estudarem couve-flor, observaram o mesmo comportamento do acúmulo de nitrogênio, havendo a translocação do nutriente para as inflorescências e Kano *et al.* (2011), em alface, onde o N foi translocado das folhas para os órgãos reprodutivos, principalmente as sementes.

Ao final do ciclo, aos 146 DAS, observa-se que do total acumulado, 45,2% do N estava nas folhas, 8,8% no caule e 46% na parte reprodutiva das plantas de rúcula. Portanto, a parte reprodutiva representou 32,7% da massa seca total, Figura 3, o nitrogênio acumulou em maior porcentagem nesta parte das plantas. Kano *et al.* (2011), em alface, observaram o mesmo comportamento e destacaram que isso se deve à senescência das folhas e a redistribuição do nutriente para os órgãos reprodutivos. Segundo Malavolta (2006), o nitrogênio na planta é altamente móvel, sendo redistribuído pelo floema, movendo-se dos órgãos e folhas mais velhos para os mais jovens, ou em direção aos frutos e sementes.

O nitrogênio é um elemento mineral essencial para as plantas, requerido em grandes quantidades. Segundo Cardoso (2011), o N é o nutriente mais acumulado nas sementes das hortaliças, que são ricas em proteínas. Ele desempenha papel fundamental como constituinte de diversos componentes celulares vegetais, incluindo clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos (Taiz *et al.*, 2017).

O acúmulo de fósforo (P) apresentou resultado semelhante ao do N. Nas folhas e no caule (Figura 5) apresentou acúmulo crescente até o início do aparecimento dos botões florais aos 88 DAS e posteriormente se mantendo estável, enquanto nas partes reprodutivas o acúmulo foi mais pronunciado a partir dos 110 DAS.

Figura 5- Quantidade de fósforo acumulado total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de rúcula ao longo do ciclo para produção de sementes em sistema orgânico



Para o total na planta (Figura 5), foram observados três estádios, sendo o primeiro, até cerca de 48 DAS, com acúmulo lento, aumentando quase linearmente dos 48 aos 110 DAS, e um terceiro estádio, dos 110 aos 146 DAS, com incrementos menos intensos que no segundo estádio. Ao final do ciclo (146 DAS) a planta apresentava 408,11 mg de fósforo por planta. As avaliações iniciaram-se aos 20 DAS, com 1,11 mg planta⁻¹, sendo que ao final do primeiro período (48 DAS) as plantas apresentavam 45,01 mg planta⁻¹, ou seja 18,2% do total acumulado; ao final do segundo período (110 DAS) as plantas apresentavam 280,22 mg planta⁻¹, ou seja 85,9% do total acumulado; e no terceiro período (110 aos 146 DAS) acumularam cerca de 14,1% do total acumulado, demonstrando a importância da disponibilidade deste nutriente até o final do ciclo. Kano *et al.* (2011), ao estudarem o acúmulo de nutrientes em alface, também relataram o padrão sigmoide, com pequena demanda por nutrientes no início do ciclo, sendo a maior demanda após o início do pendoamento e redução ao final do ciclo, semelhante ao observado em rúcula.

O total de fósforo no caule, folhas e órgãos reprodutivos ao final do ciclo, 146 DAS, foram de 39,62; 170,85; 197,64 mg planta⁻¹, ou seja, 9,7, 41,9 e 48,4% do total

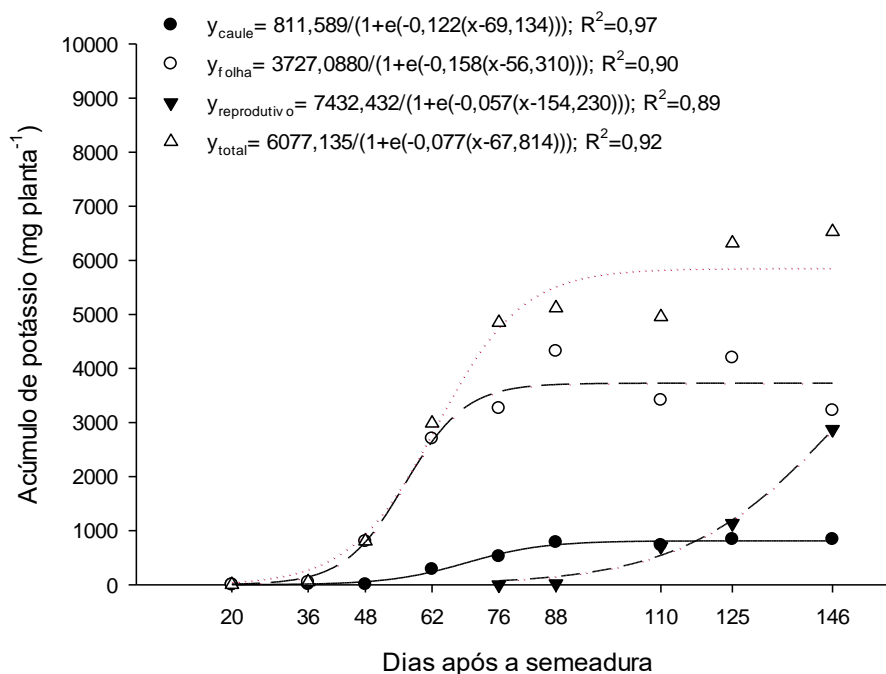
acumulado, respectivamente. Portanto, apesar da parte reprodutiva ter representado 32,7% da massa de matéria seca total (Figura 3), o fósforo acumulou em maior porcentagem nesta parte das plantas. Kano *et al.* (2011), em alface, observaram o mesmo comportamento e destacaram que isso se deve à senescência das folhas e a redistribuição do nutriente para os órgãos reprodutivos. Segundo Malavolta (2006), o fósforo na planta é altamente móvel, sendo redistribuído pelo floema, movendo-se dos órgãos e folhas mais velhos para os mais jovens, ou em direção aos frutos e sementes.

O fósforo desempenha papel essencial nas células vegetais, sendo componente fundamental de compostos importantes, como os açúcares fosfato, intermediários da respiração e fotossíntese, além dos fosfolipídios que compõem as membranas vegetais. Além disso, o fósforo faz parte dos nucleotídeos essenciais para o metabolismo energético das plantas, como o ATP, e está presente no DNA e RNA (Taiz *et al.*, 2017). Adicionalmente, o fósforo desempenha um papel crucial ao promover o rápido desenvolvimento das raízes, melhorar a qualidade dos frutos, hortaliças e grãos, sendo indispensável na formação das sementes (Novais *et al.*, 2007), onde é armazenado na forma de fitina (Cardoso, 2011; Kano *et al.*, 2011, 2012).

O acúmulo de potássio (K) nas folhas e no caule foi crescente até cerca de 76 e 88 DAS, respectivamente, e se estabilizou até o final do ciclo (Figura 6). Já para a parte reprodutiva da planta o acúmulo foi mais pronunciado ao final do ciclo, principalmente após os 110 DAS.

Assim como observado para o N e o P, o acúmulo de K na planta toda (Figura 6) pode ser dividido em 3 períodos, sendo que no primeiro, até cerca de 48 DAS o acúmulo foi contínuo, mas menos pronunciado que no segundo período, o de maior acúmulo (dos 48 aos 88 DAS), enquanto após os 88 DAS o incremento foi menos pronunciado, quase se estabilizando ao final do ciclo. Conforme mencionado por Kano *et al.* (2011), a absorção de nitrogênio, fósforo e potássio acompanha a tendência do acúmulo de biomassa da cultura.

Figura 6- Quantidade de potássio acumulado total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de rúcula ao longo do ciclo para produção de sementes em sistema orgânico

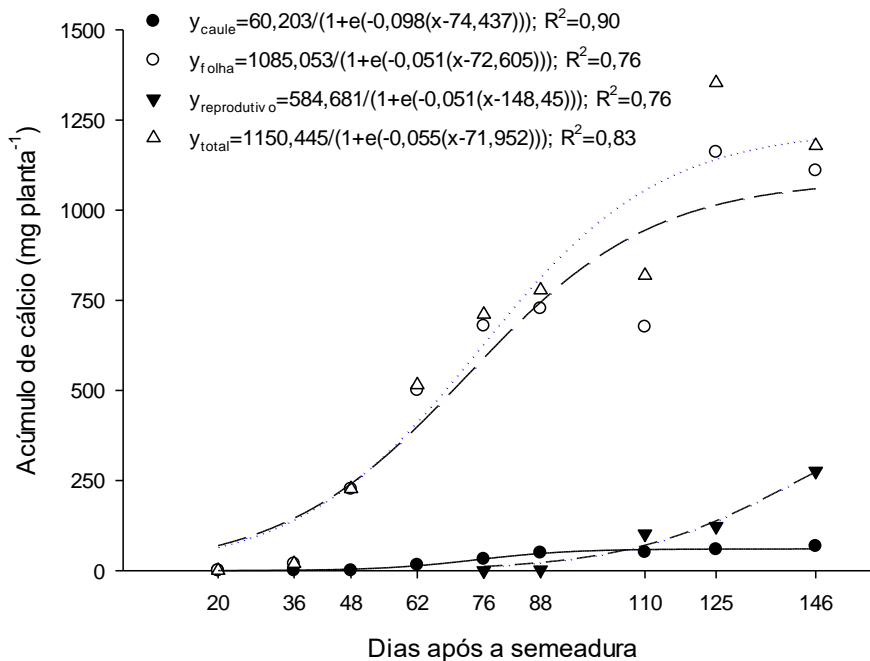


Ao final do ciclo, cerca de 38,7% do K estava na parte reprodutiva (Figura 6), ou seja, uma proporção menor do que o observado para o N (Figura 4) e o P (Figura 5), mostrando sua importância na parte vegetativa, apesar de ser um elemento móvel na planta e, na deficiência, ser translocado em grande quantidade para as sementes, mas nem tanto quando em quantidade ideal ou em excesso no solo (Kano *et al.*, 2006). O potássio possui uma função crucial na regulação do potencial osmótico das células vegetais, abertura e fechamento dos estômatos, e é responsável por ativar diversas enzimas envolvidas nos processos de respiração e fotossíntese (Taiz *et al.*, 2017). A falta de potássio na planta resulta em redução da fotossíntese e aumento da respiração. Isso leva à diminuição no acúmulo de carboidratos, o que, conseqüentemente, impacta negativamente o crescimento e a produção da planta (Novais *et al.*, 2007) e na produção de sementes (Kano *et al.*, 2006).

O acúmulo de cálcio (Ca) nas folhas foi crescente nas primeiras avaliações e acentuou-se após os 48 DAS, reduzindo a quantidade acumulada após os 110 DAS (Figura 7). Por outro lado, nas partes reprodutivas o acúmulo até os 110 DAS foi pouco

pronunciado, sendo que cerca de 73,6% do total acumulado nestas partes (201,22 mg planta⁻¹) ocorreu após os 110 DAS.

Figura 7- Quantidade de cálcio acumulado total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de rúcula ao longo do ciclo para produção de sementes em sistema orgânico



O acúmulo de cálcio (Ca) na planta toda foi contínuo e gradativo, obtendo-se o máximo acumulado de 1394,30 mg planta⁻¹ ao final do ciclo, sendo que 76,0% estavam nas folhas, 4,3% no caule e 19,7% nas partes reprodutivas. O cálcio apresenta baixa mobilidade na planta, sendo seu acúmulo em cada parte da planta basicamente devido a absorção do mesmo, que depende da taxa transpiratória (Malavolta, 2006; Taiz *et al.*, 2017), muito maior nas folhas que no caule e nas partes reprodutivas. Pelo grande acúmulo nas partes reprodutivas no final do ciclo e pelo fato de não ser translocado das folhas, é fundamental que haja disponibilidade do nutriente ao longo de todo o ciclo, além de uma irrigação muito equilibrada. Em algumas espécies, a aplicação foliar deste nutriente durante a fase reprodutiva pode favorecer a produção de sementes (Nakada-Freitas *et al.*, 2021; Cardoso *et al.*, 2022; Colombari

et al., 2022), embora nem sempre ocorra aumento na produção de sementes, conforme relatado por Bezerra *et al.* (2023) em alface.

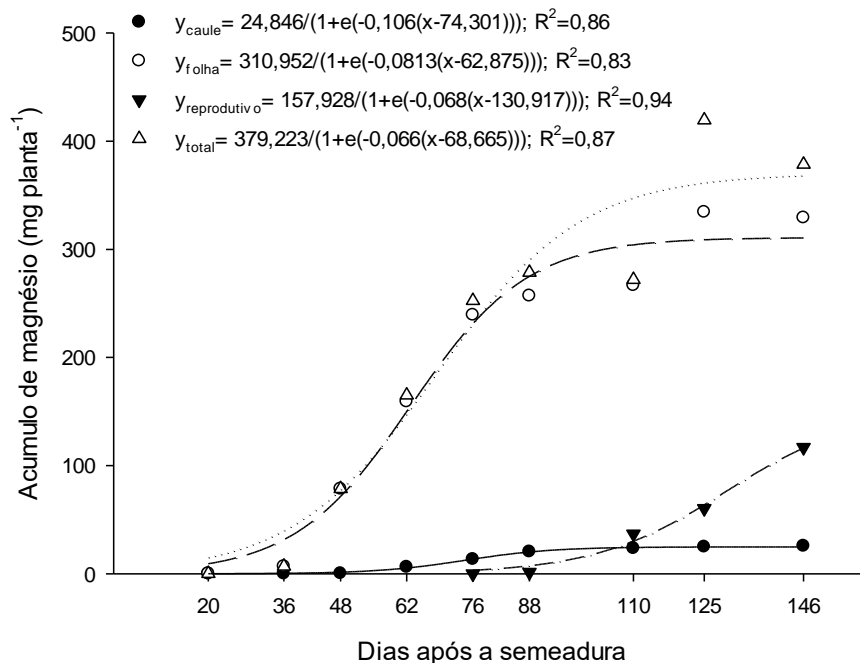
Nas plantas, os íons de cálcio possuem dois papéis distintos. Desempenham um papel estrutural / apoplástico ao se ligarem a grupos ácidos de lipídios da membrana (fosfo e sulfolipídeos) e ao promover a ligação cruzada entre pectinas, especialmente na lamela média que separa células recentemente divididas. Também têm um papel sinalizador, atuando como mensageiros secundários para iniciar as respostas vegetais aos estímulos ambientais (Taiz *et al.*, 2017).

O padrão no acúmulo de magnésio (Mg) (Figura 8) foi semelhante ao do cálcio, sendo contínuo nas folhas até os 88 DAS e depois quase se estabilizou, enquanto nas partes reprodutivas o acúmulo até os 110 DAS foi pouco pronunciado, sendo que cerca de 73,6% do total acumulado nestas partes (85,53 mg planta⁻¹) ocorreu após os 110 DAS.

O acúmulo de magnésio na planta toda foi contínuo e gradativo, obtendo-se o máximo acumulado de 451,66 mg planta⁻¹ ao final do ciclo, sendo que 68,8% estavam nas folhas, 5,5% no caule e 25,7% nas partes reprodutivas. Assim como o cálcio, o magnésio apresenta baixa mobilidade na planta, sendo seu acúmulo preferencialmente nas partes vegetativas, principalmente nas folhas. Esta maior concentração de Mg é justificada por sua importância como átomo central na molécula de clorofila. Na planta de rúcula para produção de sementes, o acúmulo de Mg correspondeu a 0,49% da massa seca total. Esses valores são semelhantes aos resultados encontrados por Reis (2019), onde o acúmulo de Mg correspondeu a 0,51% da massa seca total da rúcula para comércio.

O íon de magnésio possui um papel específico nas células vegetais ao ativar enzimas essenciais para a respiração, a fotossíntese e a síntese de DNA e RNA (Taiz *et al.*, 2017). Segundo Novais *et al.* (2007), o magnésio exerce influência no deslocamento de carboidratos das folhas para outras regiões da planta e estimula a absorção e transporte do fósforo dentro da planta.

Figura 8- Quantidade de magnésio acumulado total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de rúcula ao longo do ciclo para produção de sementes em sistema orgânico

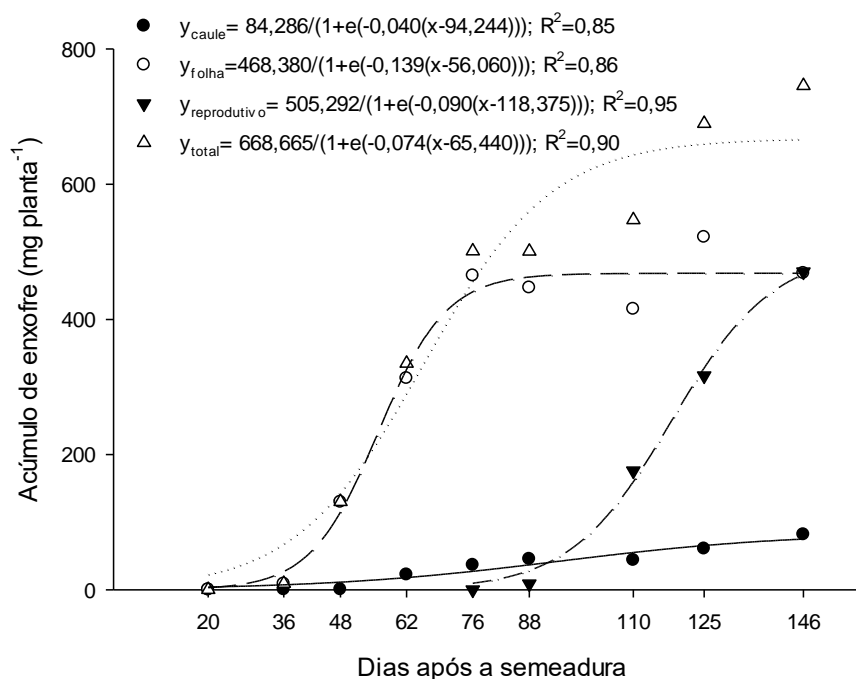


O acúmulo de enxofre (S) no caule foi contínuo ao longo de todo o ciclo (Figura 9). Nas folhas observou-se acúmulo crescente até cerca de 76 DAS, quando o valor se estabilizou até o final do ciclo. Por outro lado, nas partes reprodutivas o acúmulo foi contínuo e crescente a partir dos 88 DAS até o final do ciclo.

Na planta toda o acúmulo de enxofre foi contínuo ao longo de todo o ciclo, sendo que aos 146 DAS o acúmulo total foi de 1010,74 mg planta⁻¹, sendo que 46,3% estavam nas folhas, 7,4% no caule e 46,2% nos órgãos reprodutivos. Esta grande concentração de enxofre nas partes reprodutivas é comumente relatada em brássicas (Cardoso *et al.*, 2016; Corrêa *et al.*, 2017), embora não seja comum em outras folhosas como a alface (Kano *et al.*, 2011)

Ao final do ciclo de cultivo, foi observado um acúmulo máximo de 1010,74 mg planta⁻¹ de enxofre, representando cerca de 1,1% da massa de matéria seca total. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Reis (2019), que registrou uma porcentagem de 0,74% na massa seca. O enxofre está presente em aminoácidos específicos, como a cistina e a cisteína, e é um componente essencial de diversas coenzimas e vitaminas necessárias para o metabolismo (Taiz *et al.*, 2017).

Figura 9- Quantidade de enxofre acumulado total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de rúcula ao longo do ciclo para produção de sementes em sistema orgânico



A ordem decrescente dos macronutrientes acumulados na parte vegetativa total das plantas de rúcula ao final do ciclo foi $K > N > Ca > S > Mg > P$ (Tabela 1). Devido à ausência de estudos sobre as curvas de acúmulo de macronutrientes em plantas de rúcula destinadas à produção de sementes, foi realizado um comparativo desses acúmulos com a rúcula destinada ao consumo de folhas. Neste caso, Barlas *et al.* (2011) e Grangeiro *et al.* (2011) obtiveram a ordem decrescente de macronutrientes acumulados de $K > N > Ca > Mg > P$, não sendo avaliado, em ambos, o acúmulo de enxofre, ou seja, a única diferença foi a inversão do Ca e do N. No entanto, na presente pesquisa foi avaliada a parte vegetativa ao final do ciclo, quando, normalmente, parte do N é translocado para as partes reprodutivas, enquanto o cálcio se mantém nas folhas.

Tabela 1- Distribuição de macronutrientes acumulados nas diversas partes da planta de rúcula com finalidade de produção de sementes no final do ciclo em sementes orgânicas

	Massa Seca		N		P		K		Ca		Mg		S	
	g	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%
Órgão reprodutivo	18,35	14%	331,18	10%	41,57	10%	2598,71	35%	230,21	17%	44,64	10%	138,02	14%
Sementes	21,56	16%	1211,76	36%	156,07	38%	266,81	4%	44,01	3%	71,55	16%	329,33	33%
Reprodutivo total	39,91	30%	1542,94	46%	197,64	48%	2865,52	39%	274,22	20%	116,23	26%	467,35	47%
Caule	24,27	18%	296,45	9%	39,62	10%	811,52	11%	60,15	4%	24,83	5%	75,00	7%
Folhas	71,07	52%	1516,02	45%	170,85	42%	3727,09	50%	1059,94	76%	310,59	69%	468,38	46%
Vegetativo total	95,34	70%	1812,47	54%	210,47	52%	4538,61	61%	1120,09	80%	335,42	74%	543,38	53%
TOTAL	135,25	100%	3355,41	100%	408,11	100%	7404,13	100%	1394,30	100%	451,66	100%	1010,74	100%

Quanto aos macronutrientes acumulados nas sementes foi encontrada a seguinte ordem decrescente: N > S > K > P > Mg > Ca (Tabela 1). O N foi o mais acumulado nas sementes, representando 36% de todo N acumulado na planta de rúcula ao final do ciclo, apesar das sementes representarem apenas 16% da matéria seca total da planta. Martins *et al.* (2022) e Bezerra *et al.* (2023) também observaram que o N foi o nutriente mais acumulado em sementes de alface, assim como em brócolis (Magro *et al.*, 2009) e couve-flor (Cardoso *et al.*, 2016), estas últimas da mesma família da rúcula. Cardoso (2011), em revisão incluindo várias hortaliças folhosas, reportou que o N foi o nutriente mais acumulado nas sementes em todas as espécies, o que mostra a importância deste nutriente na composição das sementes, geralmente ricas em proteínas, além de ser um nutriente muito móvel na planta, com grande translocação das folhas para as partes reprodutivas (Malavolta, 2006).

O enxofre (S) foi o segundo nutriente mais acumulado nas sementes de rúcula, sendo que 33% de todo o nutriente acumulado na planta ao final do ciclo se encontrava nas sementes, que representavam apenas 16% da matéria seca da planta (Tabela 1). Este resultado confirma o relatado por Magro *et al.* (2009), Contreras *et al.* (2014) e Cardoso *et al.* (2016) que observaram ser o S o segundo nutriente mais acumulado nas sementes na espécie *Brassica oleracea*, e por Aguilar *et al.* (2021) em rabanete, ou seja, este nutriente é muito importante na formação das sementes da família Brassicaceae. Corrêa *et al.* (2017) observaram aumento linear na produção de sementes de couve-flor (*B. oleracea*) quanto maior a dose de S em cobertura. Entretanto, esta grande necessidade em S deve se restringir às brassicáceas, tanto

que em outras espécies o S é pouco acumulado nas sementes (Cardoso, 2011; Aguilár *et al.*, 2020; Tavares *et al.*, 2021; Bezerra *et al.*, 2023).

Por outro lado, o cálcio (Ca) e o potássio (K) foram, proporcionalmente, pouco acumulados nas sementes, apenas 3% e 4%, respectivamente do total na planta em cada nutriente (Tabela 1), respectivamente, apesar de serem os 2 mais acumulados na parte vegetativa, tanto em valores como proporcionalmente. Portanto, pode-se dizer que a ordem e a proporção de acúmulo de nutrientes nas sementes não se devem apenas a mobilidade do nutriente, pois enquanto o N se concentra nas sementes, o K se concentra em outras partes da planta, apesar de serem ambos muito móveis na planta (Malavolta, 2006). Percebe-se que em algumas famílias há maior demanda por algum nutriente nas sementes, como é o enxofre nas brassicáceas e, portanto, não se pode extrapolar o resultado de uma espécie para outra, assim como não se pode extrapolar os resultados de estudos em que se avalia a parte vegetativa comercial para as sementes em espécies folhosas, pois, conforme destacado por Cardoso (2011), o ciclo torna-se mais longo e a demanda por nutrientes é também muito maior na fase reprodutiva destas espécies.

Tabela 2- Quantidade de macronutrientes acumulados nas diversas partes da planta de rúcula, por hectare, com finalidade de produção de sementes no final do ciclo em sementes orgânicas

	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
Órgão reprodutivo	11,04	1,39	86,62	7,67	1,49	4,60
Sementes	40,39	5,20	8,89	1,47	2,38	10,98
Reprodutivo total	51,43	6,59	95,52	9,14	3,87	15,58
Caule	9,88	1,32	27,05	2,00	0,83	2,50
Folhas	50,53	5,69	124,24	35,33	10,35	15,61
Vegetativo total	60,42	7,02	151,29	37,34	11,18	18,11
TOTAL	111,85	13,60	246,80	46,48	15,05	33,69

A grande remoção de nutrientes pelas plantas, conforme observado na tabela 2 pode levar a redução desses nutrientes no solo, ocasionando um empobrecimento do solo, se não for realizada adubação antes do plantio. Portanto, seria recomendado

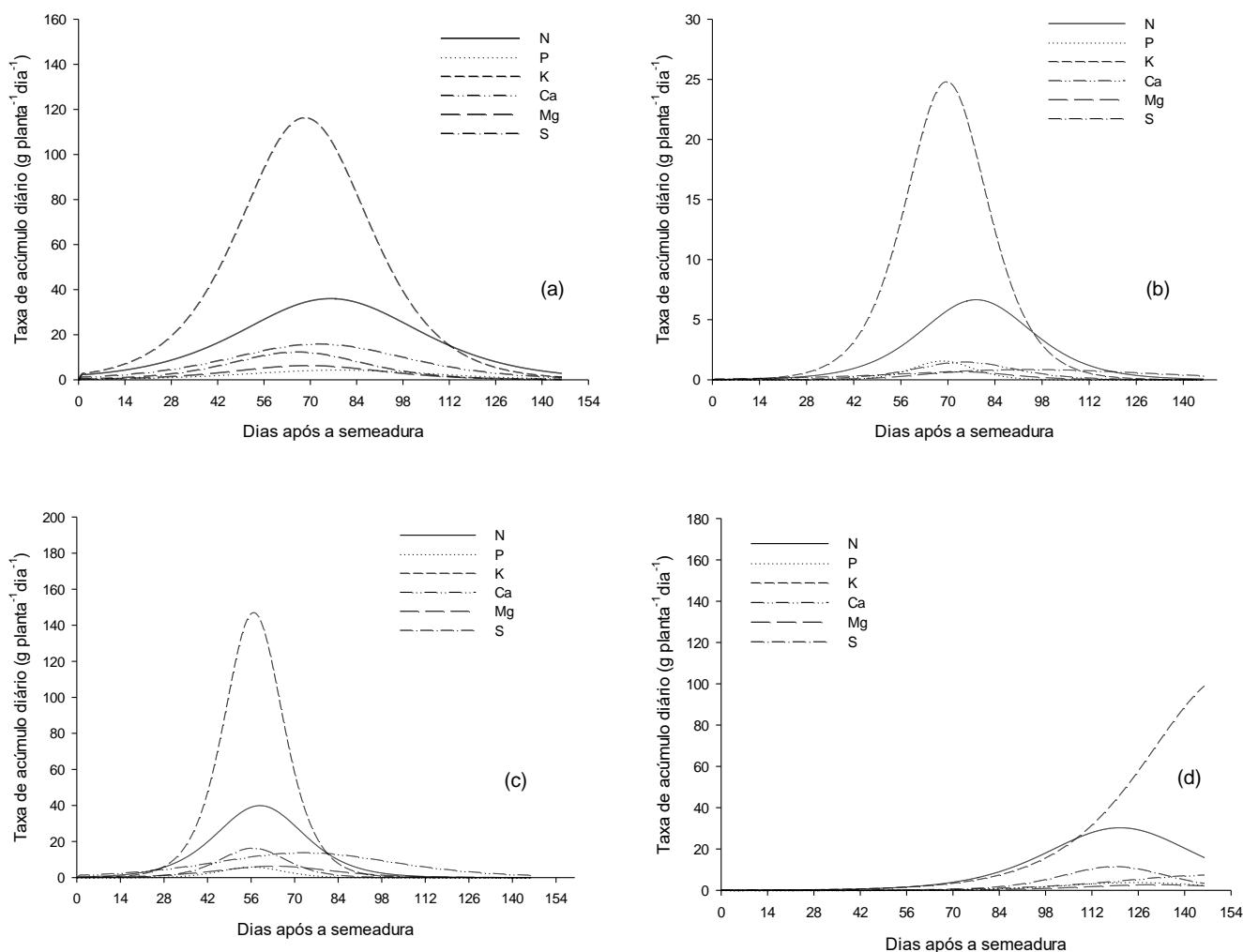
fazer a adubação de plantio a fim de repor a quantidade de nutrientes utilizados pela cultura durante o ciclo.

1.3.3 Taxa de acúmulo diário de nutrientes

Segundo Furlani e Purquerio (2010), estimar a taxa diária de acúmulo de nutrientes é fundamental, pois isso abre caminho para criar programas de fertilização personalizados para cada espécie e cultivar, levando em conta o cronograma ideal. Ao somar as taxas diárias em intervalos de tempo, é possível distribuir os nutrientes de forma estratégica, garantindo que as plantas tenham acesso adequado durante os momentos de maior necessidade. Assim, evita-se qualquer carência ou excesso de nutrientes ao longo do ciclo de cultivo.

Analisando-se a demanda nutricional das plantas em função dos dias após a semeadura (Figura 10) notou-se crescimento da taxa de acúmulo diário ao longo do ciclo de cultivo até um ponto máximo, conhecido como taxa máxima de acúmulo diário (TMAD), seguido por um decréscimo da taxa até o final do ciclo para todas as partes vegetativas (folhas, caule e total vegetativo) para todos os nutrientes. Por outro lado, para as partes reprodutivas a taxa de acúmulo diário de todos os nutrientes foi crescente, com o ponto máximo encontrado próximo a colheita.

Figura 10- Taxa de acúmulo diário de macronutrientes pela parte aérea total (a), caule (b), folhas (c) e parte reprodutiva (d) das plantas de rúcula em função dos dias após a semeadura



A taxa máxima de acúmulo diário para N, P, K ocorreram nas partes vegetativas da planta no período entre 56 e 95 dias após a semeadura, sendo na planta inteira, o correspondente a 36,02 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 76 DAS para nitrogênio, 4,50 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 79 DAS para o fósforo e 116,35 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 68 DAS para o potássio.

Quanto a TMAD para o Ca, Mg e S transcorreram em um período maior, sendo que nas folhas ocorreu mais cedo, (Figura 10c), 13,83 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 73 DAS para o cálcio, 6,31 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 63 DAS para o magnésio e 16,31 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 57 DAS para o enxofre. Para a planta inteira, a taxa máxima foi de, 15,90

mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 72 DAS para o cálcio, 6,30 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 69 DAS para o magnésio e 12,33 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 66 DAS para o enxofre.

Estes resultados mostram que pouco antes do aparecimento dos botões florais, ou seja, pouco antes da formação dos órgãos reprodutivos, tem-se uma demanda máxima por estes macronutrientes para formação das partes vegetativas que, se bem desenvolvidas, podem suprir as necessidades das plantas para a fase reprodutiva, formação e maturação das sementes. Após este máximo acúmulo diário, há grande redução, o que coincide com a estabilização da massa seca nas partes vegetativas. Por outro lado, após os 88 DAS há grande acúmulo de matéria seca nas partes reprodutivas, que é crescente até o final da maturação das sementes, mostrando a importância da disponibilidade de nutrientes até o final do ciclo que, para produção de sementes, foi até 146 DAS. Neste ponto, é vantajoso ter um solo rico em matéria orgânica e a complementação com adubos orgânicos que apresentam liberação lenta de nutrientes, comparativamente aos adubos inorgânicos utilizados no sistema convencional.

1.3.4 Qualidade das sementes

Apesar da ausência de adubação antes do plantio, as sementes obtidas foram de excelente qualidade fisiológica, sendo obtidas médias de 94%, 95% e 18,54 para a primeira contagem, germinação total e índice de velocidade de germinação. Os valores de germinação total foram elevados e muito superiores ao mínimo exigido para a comercialização de sementes de rúcula pelo MAPA, que é 80% (Brasil, 2019). Portanto, a nutrição da planta foi adequada para a obtenção de sementes de excelente qualidade fisiológica.

1.4 CONCLUSÕES

A parte vegetativa da planta de rúcula para produção de sementes em cultivo orgânico apresenta crescimento inicial lento, com aceleração até o início do aparecimento dos botões florais (88 DAS) e estabilização após este período.

A parte reprodutiva da planta de rúcula para produção de sementes apresenta crescimento a partir dos 88 DAS, aumentando a demanda diária até o final da maturação e colheita das sementes aos 146 DAS.

A planta de rúcula acumulou 3355,41; 408,11; 7404,13; 1394,31; 451,61; 1010,73 mg planta⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente.

A ordem decrescente de acúmulo nas sementes foi $N > S > K > P > Mg > Ca$.

As sementes acumularam o corresponderam a 36%, 38%, 4%, 3%, 16%, 33% do total de N, P, K, Ca, Mg e S acumulado na planta de rúcula ao final do ciclo.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, A.S.; VASQUE, H.; BARDIVIESSO, E.M.; ACEVEDO, A.F.G.; FELITO, R.A.; PELVINE, R.A.; BEZERRA, S.R.B.; LEIS, J.M.O.; CARDOSO, A.I.I.; LEMES, E.M. Content and accumulation of macronutrients in radish seeds in response to sulfur and organic compost. **Journal of Agricultural Studies**, v.9, n.3, 2021, p. 291-302.

AGUILAR, A.S.; VASQUE, H.; FELITO, R.A.; ACEVEDO, A.F.G.; BARDIVIESSO, E.M.; PELVINE, R.A.; CARDOSO, A.I.I.; LEMES, E.M. Macronutrient contents of eggplant seeds with different ages and postharvest resting times. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v.26, n.6, 2020, p.1171-1178.

ALVES, A.U.; PRADO, R.M.; CORREIA, M.A.R.; GONDIM, A.R.O.; CECÍLIO FILHO, A.B.; POLITI, L.S.; Couve-flor cultivada em substrato: marcha de absorção de macronutrientes e micronutrientes. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.1, 2011, p. 45-55.

BARLAS, N.T.; IRGET, M.E.; TEPECIK, M. Mineral Content of the rocket plant (*Eruca sativa*). **African Journal of Biotechnology**, v. 10, 2011, p. 14080-14082.

BEZERRA, S.R.B.; MARQUES, I.B.; BARDIVIESSO, E.M.; PELVINE, R.A.; AGUILAR, A.S.; CARDOSO, A.I.I. Application of calcium and boron directed to inflorescences in production, quality and nutrient accumulation in lettuce seeds. **Horticultura Brasileira**, v.41, 2023, p. 1-7.

BRASIL. Instrução Normativa nº42, de 17 de setembro de 2019. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, nº 182, 19 de set. 2019. p. 6.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p.

CARDOSO, A.I.I. Nutrição e adubação em campos de produção de sementes de hortaliças. In: NASCIMENTO, W.M. **Hortaliças**: tecnologia de produção de sementes. Brasília: Embrapa Hortaliças. 2011, p.109-134.

CARDOSO, A.I.I.; CLAUDIO, M.T.R.; NAKADA-FREITAS, P.G.; MAGRO, F.O.; TAVARES, A.E.B. Phosphate fertilization over the accumulation of macronutrients in cauliflower seed production. **Horticultura Brasileira**, v. 34, 2016, p. 196-201.

CARDOSO, A.I.I.; COLOMBARI, L.F.; SILVA, G.F.; CHAVES, P.P.N.; NOGUEIRA, B.B.; PUTTI, F.F. Calcium and boron foliar application in the production and quality of sweet pepper seeds. **Horticultura Brasileira**. V.40, 2022. p. 373-374

CASTOLDI, R.; CHARLO, H.C.O.; VARGAS, P.F.; BRAZ, L.T. Crescimento, acúmulo de nutrientes e produtividade da cultura da couve-flor. **Horticultura Brasileira**, v.27, 2009, p. 438-446.

CECÍLIO FILHO, A.B.; MAIA, M.M.; MENDOZA-CORTEZ, J.W.; RODRIGUES, M.A.; NOWAKI, R.H D. Épocas de cultivo e parcelamento da adubação nitrogenada para a rúcula. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, 2014, p. 252-258.

Centro integrado de informações agrometeorológicas- CIIAGRO. **Portal agrometeorológico e hidrológico do estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.ciiagro.org.br/diario/cperiodo>>. Acesso em: 06 jul. 2023.

COLOMBARI, L.F.; SILVA, G.F.; CHAVES, P.P.N.; MAKITA, M.K.; SOMAN, J.M.; CARDOSO, A.I.I. Calcium and boron foliar application in the production and quality of zucchini seeds. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.65, e22220056, 2022.

CONTRERAS, S.; FARÍAS, A.; NASCIMENTO, W.M. Produção de sementes de *Brassica oleracea*. In: NASCIMENTO, W.M. **Produção de sementes de hortaliças**. Brasília: Embrapa, v. 1. 2014, p. 45-73.

CORRÊA, C.V.; GOUVEIA, A.M.S.; TAVARES, A.E.B.; EVANGELISTA, R.M.; CARDOSO, A.I.I.; MENDONÇA, V.Z.; MARTINS, B.N.M.; LANNA, N.B.L. Sulphur (S) topdressing and organic compost in the production, quality and nutrients accumulation in broccoli seeds at planting. **Australian Journal of Crop Science**, v.11, n. 5, 2017, p. 542-547.

FREITAS, M.S.M.; SOUZA, M.C.; SILVA, L.A.; LIMA, V.L.A. Composição química, atividade antioxidante e antibacteriana de folhas de couve (*Brassica oleracea* L. var. Acephala). **Revista de Ciências Farmacêutica Básica e Aplicada**, v. 38, 2017, p. 173-178.

FURLANI, P.R.; PURQUERIO, L.F.V. Avanços e desafios na nutrição de hortaliças. In: MELLO PRADO, R.; CECILIO FILHO, A.B.; CORREIA, M.A.R.; PUGA, A.P. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**. Jaboticabal: FCAV, 2010, p. 45-62.

GRANGEIRO, L.C.; FREITAS, F.C.L.; NEGREIROS, M.Z.; MARROCOS, S.T.P.; LUCENA, R.R.M.; OLIVEIRA, R.A. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, 2011, p. 11-16.

HOLTEKJOLEN, A.K.; UHLEN, A.K.; KNUTSEN, S.H. Barley carbohydrate composition varies with genetic and abiotic factors. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B- Soil and Plant Science**, v.58, n.1, 2008. p. 27-34.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE. **Censo Agropecuário de 2017: Resultados definitivos**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017/resultados-definitivos>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

JARDINA, L.L.; CORDEIRO, C.A.M.; SILVA, M.C.C.; SANCHES, A.G.; ARAÚJO JÚNIOR, P.V. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 1, 2017, p. 78-82.

KANO, C.; CARDOSO, A.I.I.; HIGUTI, A.R.O.; VILLAS BÔAS, R.L. Doses de potássio na produção e qualidade de sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 24, 2006, p. 356-359.

KANO, C.; CARDOSO, A.I.I.; VILLAS BÔAS, R.L. Acúmulo de nutrientes pela alface destinada à produção de sementes. **Horticultura Brasileira**, v. 29, 2011, p. 70-77.

KANO, C.; CARDOSO, A.I.I.; VILLAS BÔAS, R.L. Phosphorus rates on yield and quality of lettuce seeds. **Horticultura Brasileira**, v. 30, 2012, p. 695-698.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Econômica. México. 1948. 479 p.

LIMA, S.K.; GALIZA, M.; VALADARES, A.; ALVES, F. **Texto para discussão**: Produção e consumo de produtos orgânicos no mundo e no Brasil, Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2020. 52 p.

MAGRO, F.O.; CARDOSO, A.I.I.; FERNANDES, D.M. Acúmulo de nutrientes em sementes de brócolis em função de doses de composto orgânico. **Revista Cultivando o Saber**, v. 2, 2009, p. 49-57.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.1, 1962, p. 176-177.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic, 1995. 889 p.

MARTINS, B.N.M.; JORGE, L.G.; COLOMBARI, L.F.; BARDIVIESSO, E. M.; NASSER, M.D.; SOUSA, M.C.; CARDOSO, A.I.I. Doses of sulfur at topdressing and organic compost supply at planting in the production, quality and content of macronutrients in lettuce seeds. **BioScience Journal**, v.38, e38063, 2022.

NAKADA-FREITAS, P.G.; SANTOS, J.T.; HIDALGO, G.F.; ANJOS, L.V.S.; SOUZA, E.P.; MARTINS, I.R.; CARDOSO, A.I.I.; BARDIVIESSO, E.M.; LANNA, N.B.L.; CATÃO, H.C.R.M.; HEINRICHS, R. Calcium in the production and quality of cauliflower seeds. **Research, Society and Development**, v.10, n.2, 2021. 7 p.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

PIŚLEWSKA-BEDNAREK, M.; NAKANO, R. T.; HIRUMA, K.; PASTORCZYK, M.; SANCHEZ VALLET, A.; SINGKARAVANIT-OGAWA, S.; CIESIOŁKA, D.; TAKANO, Y.; MOLINA, A.; SCHULZE-LEFERT, P.; BEDNAREK, P. Glutathione transferase U13 functions in pathogen-triggered glucosinolate metabolism. **Plant Physiology**, Rockville, v. 176, 2018, p. 538-551.

REIS, I.S. **Doses de nitrogênio no acúmulo de nutrientes, crescimento e produtividade da rúcula**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Ciência do

solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal-SP, 2019. 62 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAVARES, A.E.B.; LANNA, N.B.L.; COLOMBARI, L.F.; MARTINS, B.N.M.; SOUZA, E.P.; CARDOSO, A.I.I. Nitrogen doses and splitting in top dressing in the production, quality, and macronutrients content in zucchini seeds. **Research, Society and Development**, v.10, n.10, e328101018708, 2021.

WURR, D.C.E.; AKEHURST, J.M.; THOMAS, T.H. A hypothesis to explain the relationship between low-temperature treatment, gibirellin activity, curd initiation and maturity in cauliflower. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 15, 1981, p. 321-330.

CAPÍTULO 2

DINÂMICA DE CRESCIMENTO E ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES PELAS PLANTAS DE BRÓCOLIS VISANDO PRODUÇÃO DE SEMENTES EM SISTEMA ORGÂNICO

RESUMO

O valor econômico do brócolis no setor agrícola tem aumentado substancialmente, impulsionado pelas qualidades nutricionais e a presença de compostos benéficos para a saúde. Apesar da crescente demanda por esta cultura produzida em sistema orgânico, não existem pesquisas sobre a demanda nutricional quando o objetivo é a produção de sementes. A compreensão do crescimento e do processo de acumulação de nutrientes é importante para a formulação de estratégias adequadas de fertilização. Com o propósito de investigar o acúmulo de nutrientes e matéria seca pela cultura do brócolis, cultivar ramoso Brasília, destinada à produção de sementes, foi conduzido um experimento de 14 de março a 31 de agosto de 2022. No decorrer desse período, foram realizadas dez amostragens, aos 30, 45, 61, 73, 87, 101, 113, 135, 150 e 171 dias após a semeadura (DAS). A primeira delas consistiu em uma amostra composta de 13 mudas, enquanto as amostras subsequentes foram compostas por três plantas individuais, selecionadas de forma a representar os padrões observados no campo. Durante as avaliações, foram mensurados tanto o crescimento das plantas quanto o acúmulo de nutrientes nas folhas, caule e partes reprodutivas. Adicionalmente, na última coleta, foi examinado o acúmulo de nutrientes nas sementes. Os resultados demonstraram um crescimento contínuo das plantas, acompanhado por um aumento gradual da matéria seca ao longo do período experimental. A fase de florescimento e frutificação, principalmente entre os 87 e 135 DAS, foi identificada como o período de maior acúmulo da maioria dos nutrientes. A ordem decrescente dos nutrientes acumulados na planta inteira foi $K > N > Ca > S > Mg > P$, enquanto nas sementes a ordem decrescente foi $N > K > Ca > Mg > S > P$. Do total acumulado na planta ao final do ciclo, 23%, 16%, 13%, 22%, 30% e 14% estavam nas sementes para o N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Para todas as características relacionadas à qualidade

fisiológica das sementes, para a rúcula apresentou médias de 77%, 89% e 12,15 para primeira contagem, germinação total e índice de velocidade de germinação.

Palavras-chave: *Brassica oleraceae* L. *italica*, acúmulo de nutrientes, curva de crescimento, manejo orgânico, produção de sementes.

ABSTRACT

The economic value of broccoli in the agricultural sector has significantly increased, driven by its nutritional qualities and the presence of health-beneficial compounds. Despite the growing demand for this crop produced in an organic system, there is a lack of research on the nutritional requirements when the objective is seed production. Understanding the growth and nutrient accumulation process is important for formulating appropriate fertilization strategies. In order to investigate nutrient and dry matter accumulation in broccoli, specifically the Brasília cultivar with ramoso characteristics, intended for seed production, an experiment was conducted from March 14th to August 31st, 2022. Over this period, ten samplings were performed on days 30, 45, 61, 73, 87, 101, 113, 135, 150 and 171 days after sowing (DAS). The first sampling consisted of a composite of 13 seedlings, while subsequent samples were composed of three individual plants selected to represent the observed patterns in the field. During evaluations, both plant growth and nutrient accumulation in leaves, stems, and reproductive parts were measured. Additionally, nutrient accumulation in the seeds was examined during the final collection. Results demonstrated continuous plant growth, accompanied by a gradual increase in dry matter throughout the experimental period. The flowering and fruiting phase, mainly between 87 and 135 DAS, was identified as the period of highest nutrient accumulation. The descending order of nutrients accumulated in the whole plant was $K > N > Ca > S > Mg > P$, while in the seeds, the descending order was $N > K > Ca > Mg > S > P$. Of the total accumulated in the plant at the end of the cycle, 23%, 16%, 13%, 22%, 30% and 14% were in the seeds for N, P, K, Ca, Mg and S, respectively. For all characteristics related to the physiological quality of the seeds, arugula showed averages of 77%, 89%, and 12.15 for the first count, total germination, and germination speed index.

Keywords: *Brassica oleraceae* L. *italica*, nutrient accumulation, growth curve, organic management, seed production.

2.1 INTRODUÇÃO

O brócolis (*Brassica oleraceae* L. var. *italica* Plenck) se destaca entre as várias espécies pertencentes a família Brassicaceae pelas qualidades nutricionais e pelo aumento contínuo na produção. Essa família inclui diversas plantas com usos variados para os seres humanos, abrangendo desde alimentos frescos e industrializados até plantas forrageiras, medicinais e ornamentais (Marouelli *et al.*, 2017).

No Brasil, há a presença de dois grupos de genótipos que se diferenciam quanto ao padrão de crescimento. O primeiro grupo engloba os genótipos de cabeça, ou inflorescência, única, enquanto o segundo abarca os genótipos do grupo ramoso. Além de produzir uma cabeça central de menor tamanho, o grupo ramoso emite brotos laterais coroados por pequenas inflorescências. Essa característica permite múltiplas colheitas que podem se estender por período superiores a dois meses (Schiavon Júnior, 2008).

Em 2020 o total comercializado no Ceagesp chegou a um valor de 13.172 toneladas, com o preço médio de R\$ 3,13 por quilo (Agrianual, 2022). Cerca de 23.574 estabelecimentos agrários foram responsáveis pela produção nacional de brócolis, sendo as regiões Sul e Sudeste as com maior área produtora (IBGE, 2023).

As partes comestíveis do brócolis constituem nas inflorescências, que incluem botões florais e hastes, e embora consumidas em menor frequência, as folhas, também são fonte de nutrientes. Os floretes podem ser ingeridos crus, como saladas ou cozidos. Eles se destacam por suas qualidades nutricionais, servindo como fonte de fibras e de substâncias antioxidantes como vitamina A, vitamina C, minerais (Ca e Mg), além de apresentarem quantidades significativas de glucosinolatos, compostos reconhecidos por suas propriedades anticancerígenas (Melo, 2015).

De acordo com Pacífico (2017), a agricultura orgânica emprega métodos de conservação do solo que visam minimizar a perda de nutrientes, prevenir a contaminação dos solos e dos recursos hídricos, e evitar a movimentação indesejada de nutrientes. Adicionalmente, essa abordagem contribui para aprimorar a fertilidade do solo e suas características físicas, tais como a capacidade de retenção de água e nutrientes, e reduzir a erosão e a lixiviação.

Apesar de ter sido pioneira na produção orgânica, a olericultura ainda enfrenta desafios, incluindo a escassez de sementes orgânicas necessárias para o processo de certificação em toda a cadeia produtiva (Nascimento *et al.*, 2011). No caso da

produção de sementes do brócolis, o ciclo é mais longo e a demanda por nutrientes é maior, em especial após o florescimento, onde ocorre o acúmulo máximo de nutrientes. No entanto, informações sobre o acúmulo de matéria seca e a absorção de nutrientes durante a produção de sementes de brócolis são escassas, especialmente em sistemas orgânicos de cultivo (Cardoso, 2011; Cardoso *et al.*, 2016).

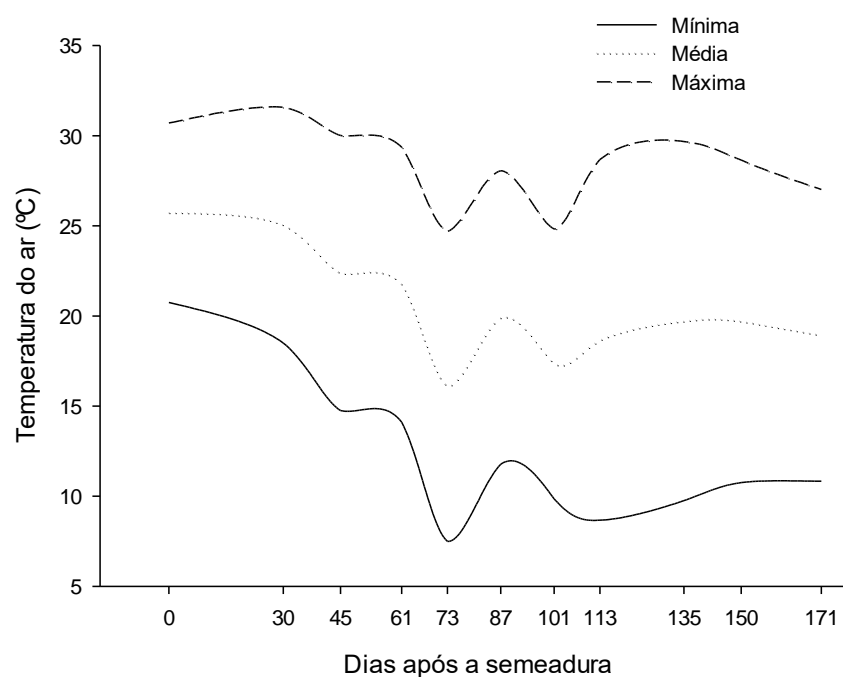
Objetivou-se estudar o acúmulo de matéria seca e de macronutrientes nas plantas de brócolis durante o cultivo, em um campo dedicado à produção e sementes em um sistema de cultivo orgânico.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área de produção da empresa Korin Agricultura e Meio Ambiente LTDA., situada no município de Ipeúna, no estado de São Paulo (latitude 22°24'04" S, longitude 47°40'56" W, altitude 635 m). A propriedade tem a certificação orgânica concedida pelo Instituto Biodinâmico (IBD) desde 2008. As plantas foram cultivadas em ambiente protegido, em estufa do tipo arco, com 50 m de comprimento por 5 m de largura e altura do pé direito de 4 m, coberta com plástico difusor com 150 µm e as laterais sem fechamento para possibilitar a entrada de insetos polinizadores.

A região possui um padrão climático Cwa, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos secos, de acordo com a classificação Köppen (1948). Ao longo da realização do experimento, as médias das temperaturas mínimas foram 11,5 °C e das máximas de 28,2 °C, com média geral de 19,9 °C, conforme informações provenientes do CIIAGRO (2023). A figura 1 ilustra as temperaturas registradas durante o período de condução do estudo no ambiente externo à estufa.

Figura 1- Temperaturas médias, mínimas e máximas diárias no município de Ipeúna-SP durante o período do experimento



Fonte: CIIAGRO, 2023.

O solo da área experimental é um latossolo vermelho amarelo e a análise química na camada de 0 a 20 cm na implantação do experimento apresentou os seguintes resultados: pH_(CaCl₂) = 6,2; matéria orgânica 35 g dm⁻³; P_{resina} = 137 mg dm⁻³; H+Al = 20 mmol_c dm⁻³; K = 17,2 mmol_c dm⁻³; Ca = 76 mmol_c dm⁻³; Mg = 35 mmol_c dm⁻³; soma de bases (SB) = 128,2 mmol_c dm⁻³; capacidade de troca de cátions (CTC) = 148,2 mmol_c dm⁻³ e saturação de bases (V%) = 87%. Não foi feita calagem nem adubação antes do plantio devido os elevados valores da V% e dos teores dos nutrientes. Na mesma área, anteriormente ao cultivo de brócolis, foi cultivado alface, sendo retirado todo o resto cultural no momento da colheita.

A semeadura da cultivar ramoso Brasília foi feita no dia 14 de março de 2022, em bandejas de polipropileno contendo 162 células, preenchidas com substrato Carolina Soil, enriquecido com bokashi farelado e pó de rocha. As mudas foram transplantadas 30 dias após a semeadura (DAS), sendo dispostas em uma linha por canteiro, com um espaçamento de 1,00 m entre linhas e 0,50 m entre plantas.

Ao longo do ciclo de cultivo do brócolis foram realizadas cinco aplicações de Bokashi FertPremium®. Trata-se de um fertilizante orgânico compostado à base de água, extrato de levedura, composto orgânico e melão de cana de açúcar, na concentração de 1%, sendo a primeira aplicação aos 40 DAS em intervalos de 12 dias nas primeiras três aplicações e nas duas últimas, intervalos de 8 dias. Esse material possui certificação que atesta um teor de 1% de nitrogênio total e 8% de carbono orgânico total, além de uma densidade de 1,01 g ml⁻¹, pH de 3,8 e condutividade elétrica de 20 mS cm⁻¹.

Foram realizadas também nove aplicações do produto comercial Azamax® (inseticida do grupo químico tetranortriterpenóide (azadiractina), permitido no sistema orgânico) para o controle do pulgão-da-couve (*Brevicoryne brassicae*), sendo aplicado a cada 8 dias.

Durante a execução do experimento foram implementadas medidas de controle de plantas daninhas através de capinas, além da utilização de irrigação localizada por meio de microaspersão. Aos 70 DAS foi realizada a amontoa, e aos 80 DAS, a cobertura dos canteiros com palhada de capim Napier e aos 126 DAS as plantas foram tutoradas para garantir o seu adequado suporte.

Foram realizadas dez coletas de amostras de plantas, abrangendo o período desde o transplântio, até o momento da colheita das sementes. Essas amostragens ocorreram aos 30, 45, 61, 73, 87, 101, 113, 135, 150 e 171 DAS. No dia do transplântio

(30 DAS) foram coletadas 13 mudas, constituindo uma mostra composta. Nas demais coletas foram amostradas três plantas, individualmente, que melhor representasse os padrões visualizados em campo.

Em cada coleta, as plantas foram cortadas rentes ao solo, e foram realizadas medidas de altura da planta (ALT), diâmetro do caule (DC) e a contagem do número de folhas (NF). Após isso, as plantas foram divididas em caule, folhas e a partir da coleta aos 87 DAS, as partes reprodutivas também foram separadas. Na última coleta, aos 171 DAS, as sementes foram separadas dos restos das partes do material reprodutivo.

A colheita das sementes foi efetuada quando aproximadamente metade das sílicas de cada planta estavam amareladas e não totalmente secas, e as sementes apresentavam coloração marrom ou preta, de acordo com recomendação encontradas em Contreras *et al.* (2014).

A cada coleta, cada seção das plantas passou por um processo de lavagem em duas etapas. Primeiro, as partes foram lavadas com água da torneira até que todas as partículas de solo fossem removidas. Depois, elas foram submersas em uma bandeja plástica contendo água destilada por cerca de um minuto. Após essa lavagem, as partes foram colocadas sobre papel toalha e deixadas secar naturalmente por um período de 24 horas. Em seguida, foram dispostas em sacos de papel e submetidas a uma secagem em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 65 °C, até que alcançassem uma massa constante.

Uma vez que as amostras se encontraram secas, foram pesadas em uma balança digital com precisão de 0,01 g, para obter a medida de massa de matéria seca. Posteriormente as amostras foram moídas em moinho de aço inoxidável, tipo Willey, e armazenadas em sacos de papel e mantidas em uma câmara seca a uma temperatura de 20 °C e uma umidade relativa de 40%.

Ao final das coletas de plantas, as amostras secas moídas foram encaminhadas para o Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UNESP/FCA, para avaliação dos teores de macronutrientes.

A determinação dos teores de macronutrientes seguiu o método descrito por Malavolta (2006). O teor de nitrogênio (N) foi analisado usando o método de digestão sulfúrica, enquanto os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) foram determinados através do método de digestão nítrico-perclórica. A quantidade de nutrientes acumulados foi calculada multiplicando-se o teor de cada

nutriente pela massa da matéria seca da amostra, com os resultados expressos em mg planta⁻¹.

As taxas de acúmulo diário foram calculadas subtraindo-se os valores de acúmulo de nutrientes de dois dias consecutivos. Esse cálculo foi realizado para cada dia do ciclo de cultivo, resultando em valores de acúmulo diário, expressos em mg planta⁻¹ dia⁻¹ para cada macronutriente.

As características avaliadas foram submetidas à análise de regressão, tendo como variável independente a idade da planta, medida em dias após a semeadura (DAS). Os dados de cada característica coletados nas dez amostragens foram utilizados para desenvolver equações de estimativa de crescimento e acúmulo de nutrientes ao longo do ciclo. As equações no modelo de regressão não linear sigmoidal com três parâmetros, conforme descrito a seguir. O software utilizado para realizar a análise da estatística e da regressão foi o Origin, e para desenvolver as figuras, o software SigmaPlot.

$$y = \frac{a}{1 + e^{-k(x-xc)}} \quad (1)$$

onde:

y = valor médio da característica avaliada;

a = ponto de máximo da curva;

k = parâmetro de ajuste;

xc = ponto de inflexão.

Para se avaliar a qualidade das sementes, foi realizado o teste de germinação com quatro repetições de 50 sementes, dispostas em caixa gerbox com papel mata-borrão, umedecido com água destilada correspondente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Após o procedimento, as caixas foram dispostas em germinador tipo BOD com temperatura constante de 20°C (Brasil, 2009).

O total de sementes germinadas foi avaliado aos 5 e 10 dias após a semeadura, constituindo respectivamente, primeira contagem e germinação total. Foram consideradas germinadas as sementes que apresentavam as folhas cotiledonares totalmente expandidas (Brasil, 2009).

O índice de velocidade de germinação foi calculado utilizando os dados coletados no teste de germinação. A obtenção deste índice foi por meio da equação 2, descrita por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n} \quad (2)$$

Onde:

G_1, G_2, G_n = número de plantas germinadas em cada contagem;

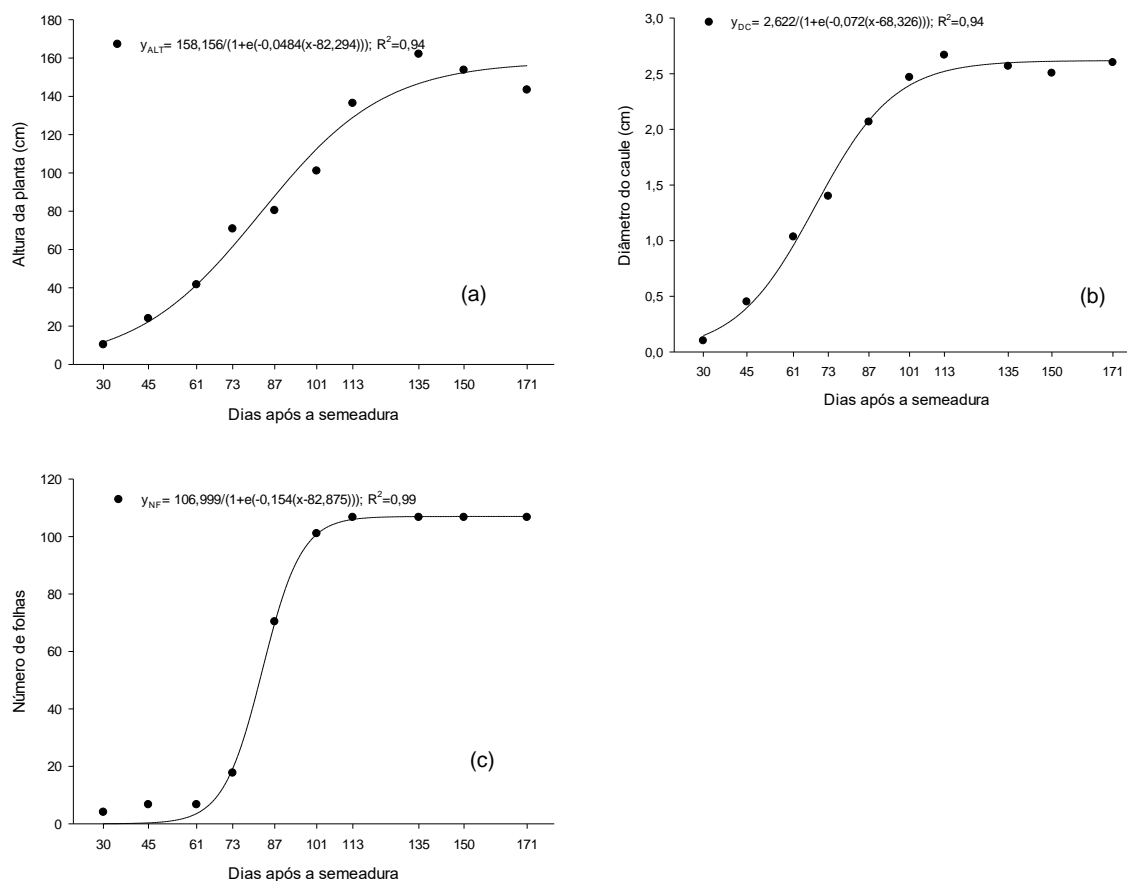
N_1, N_2, N_n = número de dias da semeadura a cada contagem.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Curva de crescimento

O ciclo completo do brócolis ramoso 'Brasília' foi de 171 dias, desde a semeadura até a colheita das sementes, com padrão de crescimento que se ajustou ao modelo sigmoidal ao longo desse período. A altura das plantas (Figura 2a) e o diâmetro do caule (Figura 2b) apresentaram crescimento quase linear dos 61 até os 113 DAS, seguido por um período de estabilização que persistiu até o final do ciclo. Em relação ao número de folhas, observou-se início de aumento mais lento até os 73 DAS, sendo seguido por um pico no número de folhas aos 113 DAS, logo após o período que ocorreu a alongação da haste floral, e depois o número de folhas permaneceu estável até o momento da colheita (Figura 2c).

Figura 2- Altura da plantas (a), diâmetro do caule (b) e número de folhas (c) em plantas de brócolis ramoso ao longo do ciclo para produção de sementes

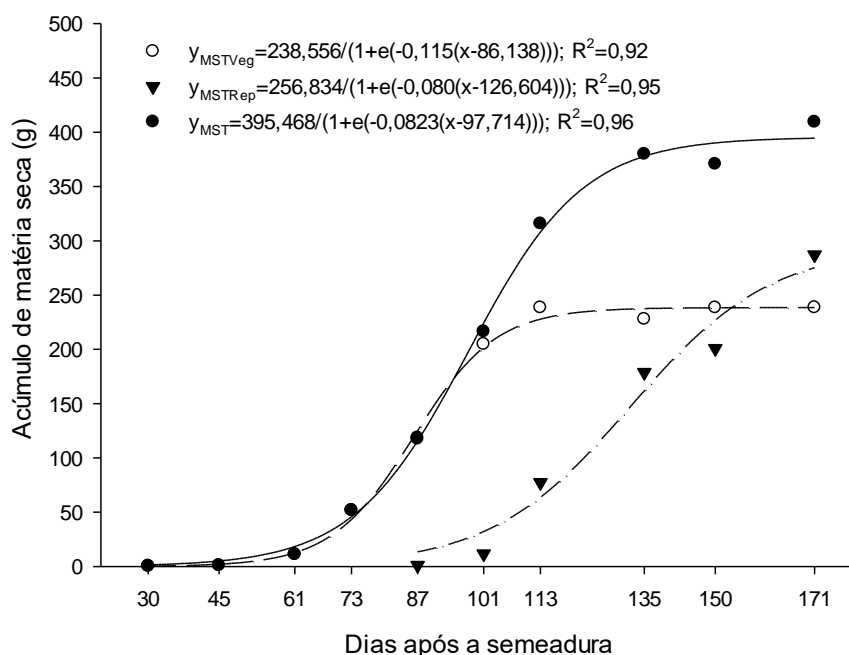


Para o acúmulo total de matéria seca na planta de brócolis, é possível identificar três fases distintas de desenvolvimento (Figura 3). A primeira fase abrange o período desde a semeadura até 73 DAS, que corresponde a menor acúmulo e corresponde ao estágio vegetativo, antes da emissão da haste floral. A segunda fase ocorre entre 73 e 135 DAS, com grande aumento da massa seca (cerca de 96% do total), enquanto a terceira fase vai dos 135 aos 171 DAS, com aumento menos pronunciado da matéria seca total, pois houve estabilização na massa da parte vegetativa (caule e folhas). Estes dois últimos estádios marcam o início da fase reprodutiva até a colheita das sementes.

A partir do momento em que os botões florais surgiram aos 87 DAS, observou-se uma transferência dos fotoassimilados da parte vegetativa para as estruturas reprodutivas da planta. Isso resultou em um aumento progressivo no acúmulo de matéria seca da parte reprodutiva a partir dos 87 DAS e foi contínua até o final do ciclo, enquanto a parte vegetativa estava com a matéria seca estabilizada nesse

período (Figura 3). Ao final do ciclo (171 DAS), a matéria seca da parte vegetativa (folhas + caule) (238,57 g planta⁻¹) representavam 48,9% do total, enquanto 249,71 g planta⁻¹ (51,14%) foram acumulados nas partes reprodutivas.

Figura 3- Acúmulo de matéria seca total (planta), parte vegetativa e parte reprodutiva em plantas de brócolis ramoso ao longo do ciclo para produção de sementes



Segundo Zanini (2015), na fase inicial do desenvolvimento da planta, ocorre uma gradual acumulação de massa seca nas folhas, no caule e no total, devido à adaptação às condições do solo e do clima após o transplante. Em seguida, observa-se um aumento exponencial no crescimento, que é influenciado pela absorção pelas raízes e pela atividade fotossintética. Portanto, para otimizar a acumulação de massa seca nas plantas de brócolis, é crucial que todos os fatores de crescimento, como água, luz, temperatura, adubação e radiação solar, estejam disponíveis até 42 dias após o transplante (DAT). Isso destaca a importância de realizar o manejo da adubação antes do início do período reprodutivo.

Diniz *et al.* (2008) observaram que houve um aumento progressivo na extensão do dossel ao longo do tempo, e as variáveis de crescimento como altura, diâmetro do caule, número de folhas, largura e comprimento das folhas, exibiram padrões

semelhantes. Esses padrões permitiram a identificação de duas fases distintas no crescimento do brócolis. Na primeira fase, observou-se um crescimento inicial lento nas primeiras semanas, indicando uma época de acumulação de massa seca limitada. Posteriormente, houve um aumento significativo na quantidade de massa seca, sugerindo uma possível necessidade aumentada de nutrientes nesse período em comparação com o anterior. É crucial ressaltar que o referido estudo se limitou à análise das plantas até a colheita das inflorescências, momento em que se observou uma redução ou estabilidade no acúmulo de massa seca. A terceira fase da curva sigmoide, característica do crescimento vegetal, não foi identificada naquela pesquisa.

2.3.2 Curva de acúmulo de macronutrientes

A quantidade de nitrogênio (N) acumulado no caule e nas folhas aumentou progressivamente até o início da formação dos botões florais aos 87 DAS. Depois desse ponto, houve estabilização nesse acúmulo (Figura 4). Nas partes reprodutivas da planta, o acúmulo de N apresentou aumento quase linear dos 101 aos 135 DAS, posteriormente manteve-se estável até a colheita das sementes. Nestes 34 dias foram acumulados 5912,01 mg planta⁻¹ de N nas partes reprodutivas, cerca de 74,7% do total de N acumulado nestas partes da planta ao final do ciclo (7912,32 mg planta⁻¹ de N).

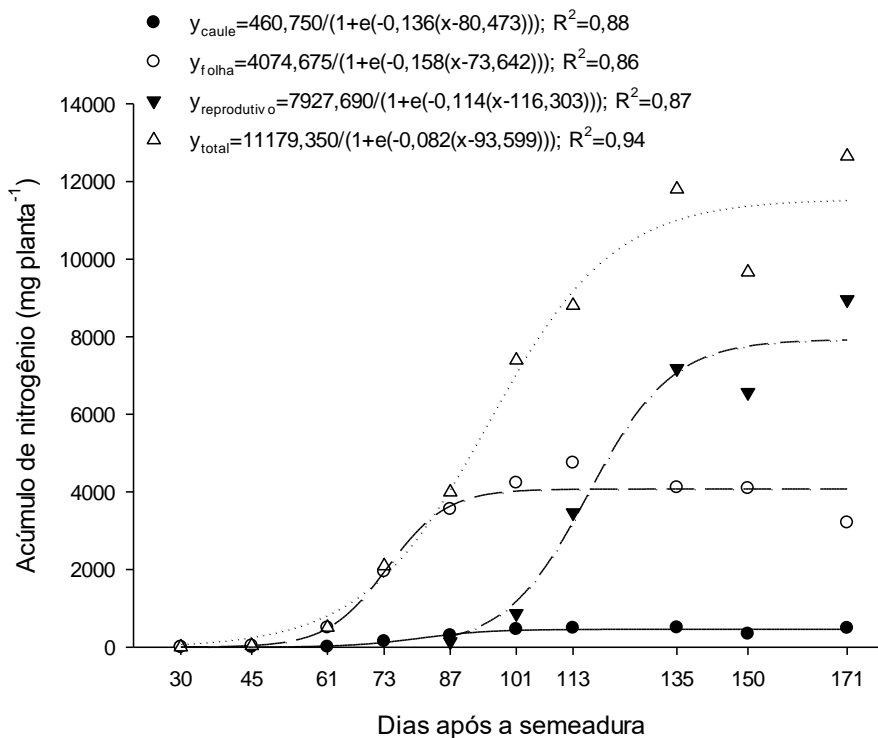
Cecílio Filho *et al.* (2017) notaram que a partir dos 55 DAT, a acumulação de nitrogênio nas folhas e hastes da planta praticamente cessou, enquanto a acumulação de N ocorreu predominantemente na inflorescência, atingindo 46% do total acumulado no final do ciclo quando o brócolis é colhido para consumo. Durante o desenvolvimento da inflorescência, a quantidade acumulada de N aumentou exponencialmente, e verificou-se que o maior período de extração foi próximo a colheita aos 75 DAT (Duarte *et al.*, 2019).

O acúmulo total de N na planta foi caracterizado por três estádios distintos (Figura 4). O primeiro estádio, que se estendeu até aproximadamente 61 DAS, exibiu um aumento lento alcançando 515,63 mg planta⁻¹, ou seja, cerca de 6,5% do total ao

final do ciclo (12.447,74 mg planta⁻¹). A partir dos 61 DAS até os 135 DAS ocorreu um aumento quase linear no acúmulo, alcançando 10.813,89 representando 96,9% do total acumulado. O terceiro estágio abrangeu o período dos 135 aos 171 DAS, durante o qual os incrementos de acúmulo de N foram menos acentuados, representando 3,1% do total acumulado. Provavelmente, neste período deve ter ocorrido grande translocação do N das partes vegetativas para a reprodutiva pois nesta última o aumento foi intenso até os 135 DAS, assim como o total.

Ao final do primeiro estágio, aos 61 DAS, 94% do nitrogênio acumulado estava nas folhas, esta acumulação deveu-se à grande participação desse nutriente nas estruturas de clorofila e Rubisco, organela e enzima essenciais no processo fotossintético (Feller *et al.*, 2008).

Figura 4- Quantidade de nitrogênio acumulado total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de brócolis ao longo do ciclo para produção de sementes

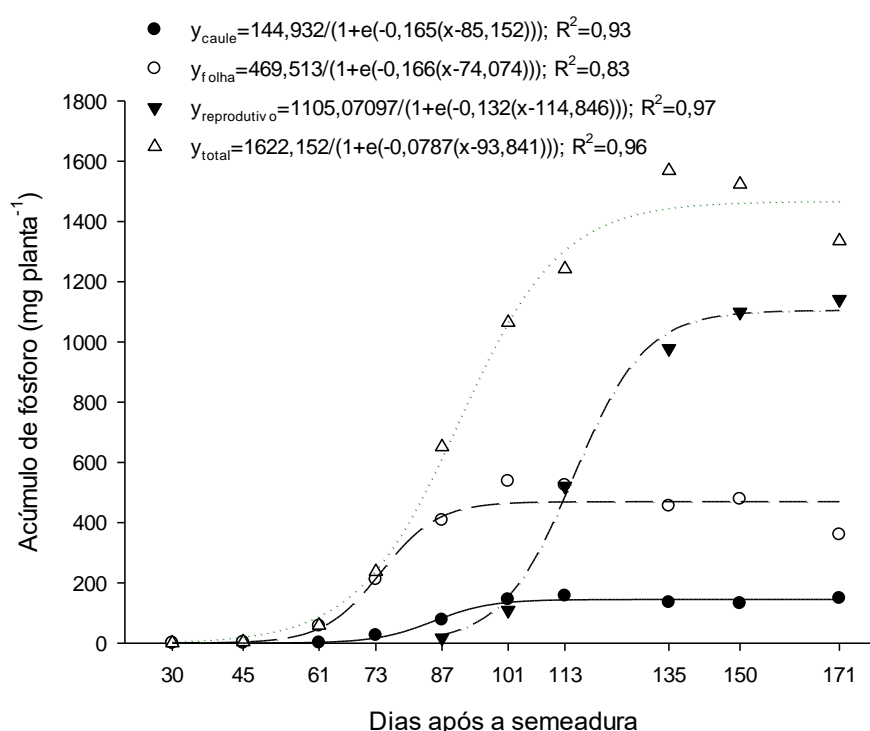


No final do ciclo, aos 171 DAS, é possível constatar que do total acumulado, 32,7% do nitrogênio (N) estava presente nas folhas, 3,7% no caule e 63,6% na porção

reprodutiva das plantas de brócolis ramoso, sendo que a parte reprodutiva correspondeu a 51% do acúmulo de massa da matéria seca total, mostrando a importância do N nas partes reprodutivas.

A quantidade de fósforo (P) acumulado no caule e nas folhas, assim como no acúmulo de nitrogênio, aumentou de maneira progressiva até o início da formação dos botões florais aos 87 DAS. Após esse ponto, houve uma estabilização nesse acúmulo (Figura 5). Nas partes reprodutivas da planta observou-se aumento considerável no acúmulo dos 101 aos 135 DAS, representando 93,5% do total acumulado nestas partes apenas nestes 34 dias, seguido de uma estabilidade de acúmulo até a colheita das sementes.

Figura 5- Quantidade de fósforo acumulado total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de brócolis ao longo do ciclo para produção de sementes



O padrão de acúmulo de P no total da planta foi caracterizado por três estágios distintos (Figura 5), com pequeno acúmulo até os 61 DAS (50,78 mg planta⁻¹, correspondendo a 7,0% do acúmulo total de P, grande acúmulo dos 61 aos 113 DAS,

1097,84 mg planta⁻¹, representando 75,0% do acúmulo total de P, enquanto no terceiro período (113 aos 171 DAS) foram acumulados 18,0% do total. No final do ciclo, aos 171 DAS, a planta teve um acúmulo total de P de 1718,85 mg planta⁻¹.

Ao final do ciclo (171 DAS) observa-se que do total acumulado, 27,3% do fósforo estava presente nas folhas, enquanto 8,4% estavam no caule e a maior proporção, ou seja, 64,2% estavam localizados na parte reprodutiva das plantas de brócolis.

Pode-se observar que o maior acúmulo ocorreu entre os 61 e 113 DAS, estágio em que, provavelmente, o P que estava “armazenado” nas folhas foi redistribuído para as sementes, o principal dreno de reserva das plantas (Kano *et al.*, 2011; Magro *et al.*, 2009). É importante destacar que o maior acúmulo de P na parte reprodutiva em detrimento da parte aérea pode ser atribuído a maior exigência das sementes por esse nutriente, do que a parte aérea no final do ciclo, como constatado também por Kano *et al.* (2011) em sementes de alface. Segundo Lopes *et al.* (1989), o acúmulo de fósforo nas sementes é maior do que em qualquer outra parte da planta, o que é facilitado pela grande mobilidade do P na planta, sendo redistribuído das folhas para as partes reprodutivas (Malavolta, 2006; Cardoso, 2011).

O fósforo atua em vários processos importantes no metabolismo celular das plantas, como a transferência de energia durante a fotossíntese, metabolismo de carboidratos, respiração e fixação de nitrogênio (Ghaly *et al.* 2019). Na fase reprodutiva, promove a floração, a fixação e aumento do tamanho das siliquas e maior produtividade de sementes (Yadav *et al.*, 2017), sendo que a exigência em P para a produção de sementes em brássicas é muito maior que a exigência quando se cultiva apenas até o ponto de consumo in natura, sendo observado aumento linear na produtividade de sementes, quanto maior a dose deste nutriente (Cardoso *et al.*, 2016).

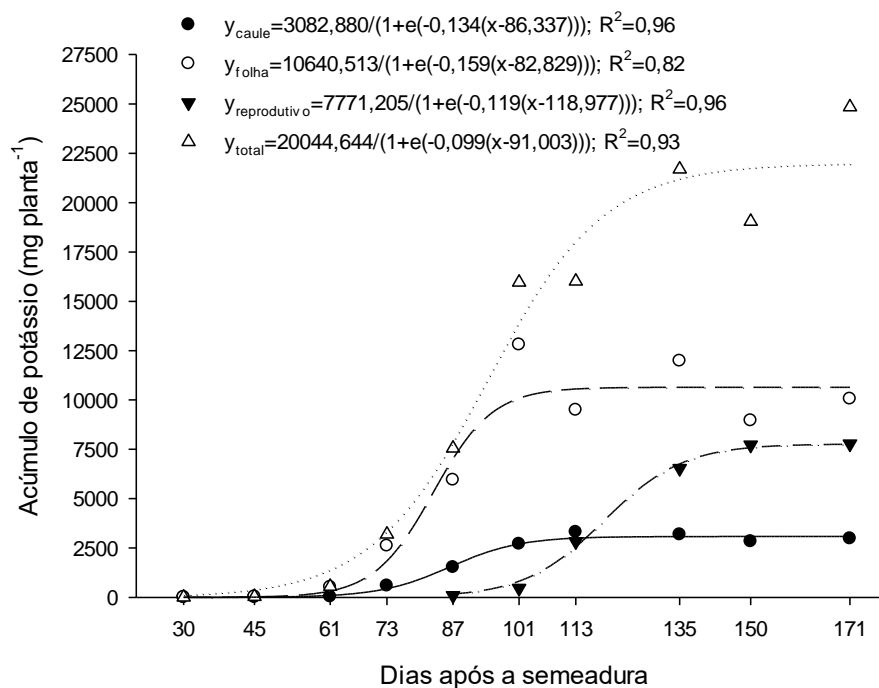
O acúmulo de potássio (K) aumentou gradualmente nas folhas e no caule até 101 DAS, respectivamente (Figura 6), permanecendo estável até o término do ciclo. Por outro lado, na parte reprodutiva da planta, o acúmulo de potássio foi mais significativo a partir dos 101 até 135 DAS, posteriormente mantendo-se estável até os 171 DAS.

Semelhante ao que foi observado para o nitrogênio e fósforo, o acúmulo de K em toda a planta pôde ser segmentado em três períodos distintos. No primeiro período, que abrangeu até cerca de 61 DAS, houve um acúmulo constante, porém

menos acentuado do que no segundo período (dos 61 DAS aos 135 DAS). Após os 135 DAS, o aumento foi menos expressivo, quase atingindo uma estabilização no fim do ciclo.

No final do ciclo, o potássio atingiu o valor de 21.478,69 mg planta⁻¹, sendo que 49,5% se encontravam nas folhas, 14,3% no caule e 36,1% na parte reprodutiva. O potássio acumulou-se em maior quantidade nas folhas do que na parte reprodutiva, assim como observado por Kano *et al.* (2011) em sementes de alface e Cardoso *et al.* (2016) em sementes de couve-flor. Apesar de ser um dos nutrientes mais acumulado pelas plantas no final do ciclo, acumulou-se em menor quantidade nas partes reprodutivas do que na parte vegetativa, ou seja, proporcionalmente não é um nutriente tão importante para a reprodução da planta comparativamente ao N e ao P, apesar destes três elementos serem facilmente translocáveis na planta.

Figura 6- Quantidade de potássio acumulado total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de brócolis ao longo do ciclo para produção de sementes



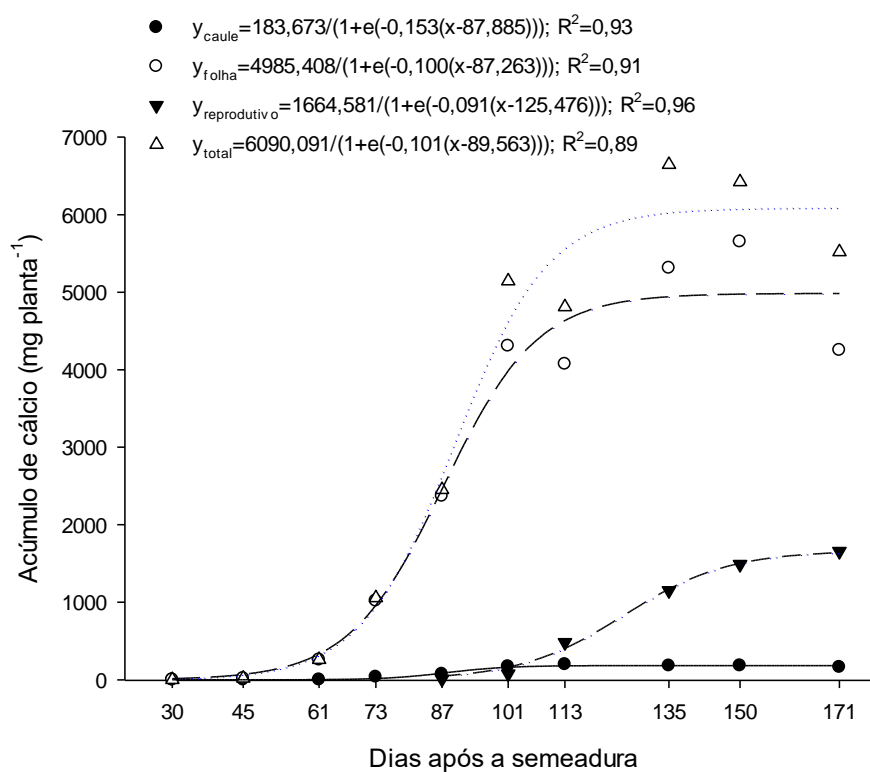
O potássio (K) é essencial para o desenvolvimento das plantas, embora não faça parte da composição orgânica dos tecidos vegetais. Atua nas propriedades osmóticas,

controlando o movimento dos estômatos, promovendo a ativação de enzimas, facilitando a síntese de proteínas, participando no transporte de carboidratos e desempenhando outras funções vitais (Taiz; Zeiger, 2013).

O acúmulo de cálcio (Ca) total também pode ser dividido em três fases, sendo a primeira pouco acentuada até os 61 DAS, a segunda com acentuado acúmulo até os 113 DAS e a última dos 113 DAS até a colheita das sementes aos 171 DAS se mantendo de maneira mais estável. Ao concluir o primeiro estágio (61 DAS), as plantas acumularam 335,19 mg planta⁻¹, equivalente a 5,2% do total acumulado. Ao chegar ao final do segundo estágio (113 DAS), esse valor acumulado foi para 86,3%. No terceiro estágio (113 aos 171 DAS), a planta inteira acumulou 8,5% do total.

A planta total resultou no valor máximo acumulado de cálcio de 6.806,43 mg planta⁻¹ ao concluir o ciclo, sendo que 73,2% nas folhas, 2,7% no caule e 24,0% nas partes reprodutivas da planta. Portanto, este nutriente foi proporcionalmente menos acumulado nas partes reprodutivas que os nutrientes já citados, principalmente o N e o P. Considerando-se que este nutriente não é móvel na planta (Nakada-Freitas *et al.*, 2021), ou seja, não é translocado das folhas para a parte reprodutiva, há a necessidade de a planta ter Ca disponível para ser absorvido até o final do ciclo e que as condições sejam favoráveis para que isto ocorra, tais como irrigação e balanço entre cátions adequado (Gilliam *et al.*, 2011). A absorção de cálcio pelas plantas ocorre principalmente por meio do xilema e do apoplasto, enfatizando a relevância da transpiração e do fluxo de água nesse processo (Gilliam *et al.*, 2011). Vale ressaltar que o cálcio não é transportado dos tecidos mais velhos para os mais jovens através do floema, tornando os tecidos em desenvolvimento dependentes do movimento da água pelo xilema para receber cálcio (White; Broadley, 2003).

Figura 7- Quantidade de cálcio acumulado total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de brócolis ao longo do ciclo para produção de sementes



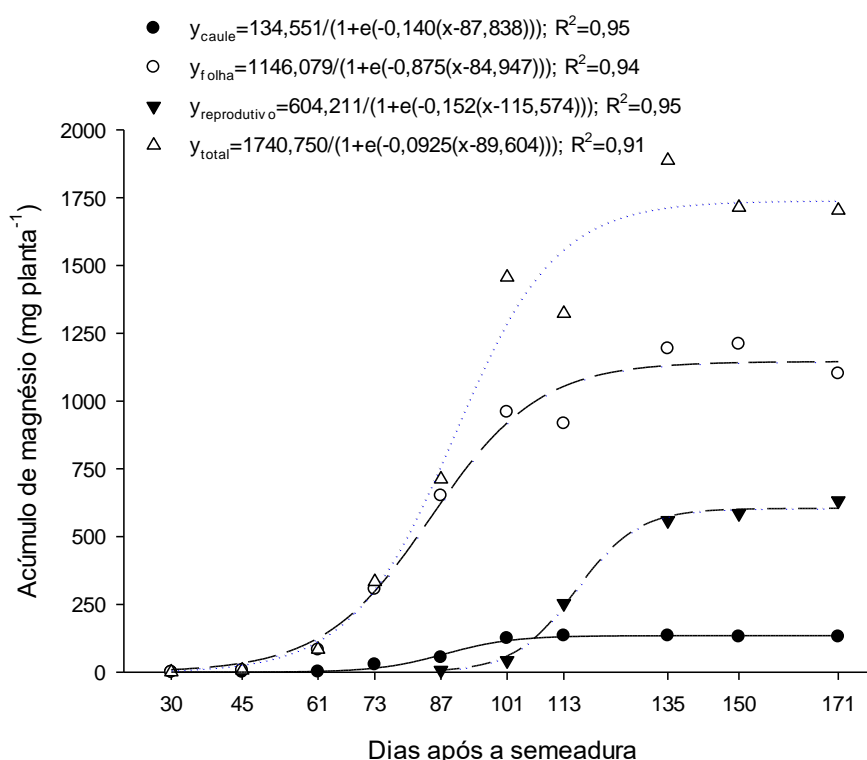
De acordo com Castoldi *et al.* (2009) o cálcio representou o terceiro maior macronutriente acumulado pela cultura da couve-flor, distribuindo-se com 75,92% nos limbos foliares, 17,84% nos pecíolos, 5,13% no caule e somente 1,11% nas inflorescências. Dos 103,2 kg de cálcio acumulados pela planta, apenas 1,2 kg foram exportados pelas inflorescências, enquanto o restante foi reintegrado ao solo por meio dos resíduos da cultura, principalmente provenientes das folhas.

Na planta, o cálcio desempenha um papel crucial na preservação da integridade estrutural e funcional das membranas celulares vegetais. Ele age como um agente cimentante, formando pectatos de cálcio na lamela média, o que contribui para regular o transporte e a troca iônica (Hadi; Karimi, 2012).

Para o magnésio (Mg), o padrão de acúmulo (Figura 8) foi semelhante aos nutrientes já citados, sendo em três estágios, com maior acúmulo total dos 61 aos 113 DAS e da parte reprodutiva dos 101 aos 135 DAS. Do total acumulado no final do ciclo (171 DAS), 1.884,09 mg planta⁻¹, 60,8% se encontravam nas folhas, 7,1% no caule e

32,1% nas partes reprodutivas. O maior acúmulo de magnésio nas folhas em relação a parte reprodutiva pode ser atribuído ao fato desse nutriente estar intimamente relacionado a molécula de clorofila (Castro *et al.*, 2020) e, assim, com grande importância para o processo fotossintético.

Figura 8- Quantidade de magnésio acumulado total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de brócolis ao longo do ciclo para produção de sementes

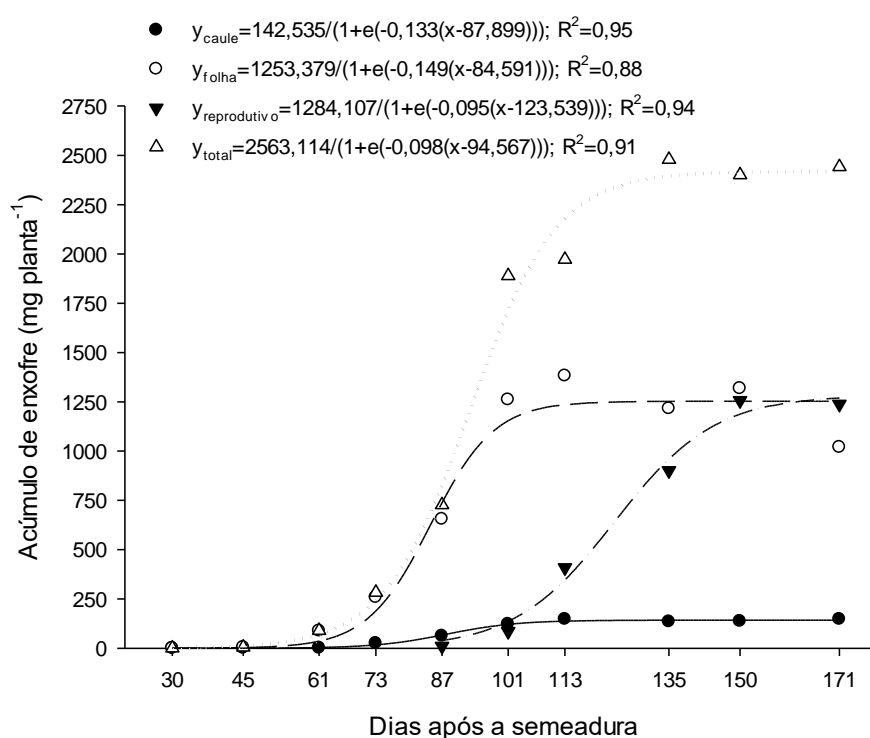


O acúmulo de enxofre (S) nas folhas e no caule também ocorreu de maneira mais intensa até os 101 DAS (Figura 9), enquanto para a parte reprodutiva o maior acúmulo ocorreu a partir dos 101 DAS. Ao considerar a planta como um todo, o acúmulo total de S aos 171 DAS foi de 2665,81 mg planta⁻¹, distribuindo-se da seguinte forma: 47,0% nas folhas, 5,3% no caule e 47,6% nos órgãos reprodutivos.

A elevada concentração de enxofre nas partes reprodutivas é frequentemente observada em brássicas conforme observado em estudos anteriores (Cardoso *et al.*, 2016; Corrêa *et al.*, 2017), sendo que foram obtidos aumentos lineares na produção de sementes de brócolis quanto maior a dose de S aplicado em cobertura em brócolis (Corrêa *et al.*, 2017).

O enxofre desempenha um papel essencial na formação de aminoácidos e proteínas, além de ser crucial para processos como a fotossíntese e a resistência ao frio (Taiz *et al.*, 2017).

Figura 9- Quantidade de enxofre acumulado total (planta), caule, folhas e parte reprodutiva em plantas de brócolis ao longo do ciclo para produção de sementes



No final do ciclo, a ordem decrescente dos macronutrientes acumulados na parte vegetativa total (folhas + caule) das plantas de brócolis foi observada como $K > Ca > N > S > Mg > P$ (Tabela 1). Para o total da planta (vegetativo + reprodutivo) a ordem foi $K > N > Ca > S > Mg > P$, ordem diferente da relatada por Vidigal e Moreira (2021) para brócolis cabeça única para consumo, quando o N foi o nutriente mais absorvido pela planta, seguido de K e Ca, sendo a ordem de absorção $N > K > Ca > Mg > S > P$. Por outro lado, Braz *et al.* (2007) e Castoldi *et al.* (2007), ao avaliarem as cultivares de brócolis de cabeça única 'Legacy' e 'Lord Summer', respectivamente, obtiveram a mesma ordem de macronutrientes acumulados na planta, ordem similar encontrada, sendo ela, $N > K > Ca > Mg > S > P$. Cecílio Filho *et al.* (2017) também

observaram que o fósforo foi o macronutriente menos absorvido durante o cultivo de brócolis.

A ordem decrescente média dos macronutrientes acumulados nas sementes foi: N > K > Ca > Mg > S > P. Magro *et al.* (2009) encontraram a ordem média acumulada nas sementes de brócolis N > S > P > K > Ca > Mg. Observam-se grandes diferenças na ordem, principalmente para o S e o P, sendo o S mais acumulado na parte reprodutiva, na presente pesquisa, porém nos restos dos frutos e hastes florais e não nas sementes.

Tabela 1- Distribuição de macronutrientes acumulados nas diversas partes da planta de brócolis com finalidade de produção de sementes no final do ciclo

	Massa Seca		N		P		K		Ca		Mg		S	
	g	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%	mg planta ⁻¹	%
Sementes	233,72	48%	2809,19	23%	274,07	16%	2736,30	13%	1520,90	22%	557,49	30%	383,19	14%
Órgão reprodutivo	16,00	3%	5103,13	41%	830,33	48%	5019,04	23%	117,56	2%	46,59	2%	886,71	33%
Reprodutivo total	249,71	51%	7912,32	64%	1104,40	64%	7755,34	36%	1638,46	24%	604,08	32%	1269,90	47%
Caule	57,60	12%	460,75	4%	144,93	8%	3082,84	14%	183,67	3%	134,55	7%	142,53	7%
Folhas	180,97	37%	4074,67	33%	469,51	27%	10640,50	50%	4984,30	73%	1145,46	61%	1253,38	46%
Vegetativo total	238,57	49%	4535,42	36%	614,44	36%	13723,34	64%	5167,97	76%	1280,01	68%	1395,91	53%
TOTAL	488,28	100%	12447,74	100%	1718,84	100%	21478,68	100%	6806,43	100%	1884,09	100%	2665,81	100%

Ao final do ciclo foram acumuladas grandes quantidades de nutrientes nas plantas: 429,57, 248,95, 136,13, 53,32, 37,68 e 34,38 kg ha⁻¹ de K, N, Ca, S, Mg e P, respectivamente (Tabela 2). Considerando-se que, normalmente, toda a planta é retirada do campo ao final do ciclo, estes valores podem ser considerados como a exportação destes macronutrientes pela planta de brócolis para produção de sementes. Esta grande extração de nutrientes pelas plantas pode resultar na diminuição desses elementos no solo, potencialmente levando ao seu empobrecimento. Importante ressaltar que não ocorreu a aplicação de fertilizantes antes do plantio. Assim, é aconselhável realizar a adubação de plantio para restabelecer a quantidade de nutrientes consumida pela cultura ao longo do ciclo.

Tabela 2- Quantidade de macronutrientes acumulados nas diversas partes da planta de brócolis, por hectare, com finalidade de produção de sementes no final do ciclo

	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
Órgão reprodutivo	102,06	16,61	100,38	2,35	0,93	17,73
Sementes	56,18	5,48	54,73	30,42	11,15	7,66
Reprodutivo total	158,25	22,09	155,11	32,77	12,08	25,40
Caule	9,22	2,90	61,66	3,67	2,69	2,85
Folhas	81,49	9,39	212,81	99,69	22,91	25,07
Vegetativo total	90,71	12,29	274,47	103,36	25,60	27,92
TOTAL	248,95	34,38	429,57	136,13	37,68	53,32

Se for utilizada a recomendação do boletim 100 (Trani *et al.*, 2022), seriam aplicadas quantidades aquém do extraído pela cultura para alguns nutrientes. Por exemplo, para o potássio são recomendados apenas 30 kg de K₂O ha⁻¹ antes do plantio (para um solo com alto teor neste nutriente) e mais 100 a 160 kg de K₂O ha⁻¹ em cobertura. Para o N são recomendados 40 a 60 e 180 a 260 kg de N ha⁻¹ antes do plantio e em cobertura, respectivamente. Porém, estas recomendações são para a produção de brócolis para o consumo da inflorescência, o que confirma o relatado por Cardoso (2011) que afirma que a necessidade de nutrientes quando o objetivo for a produção de sementes é muito superior ao recomendado quando o objetivo for o consumo, pois o ciclo é muito aumentado e a exigência em nutrientes durante o florescimento e maturação das sementes é muito grande. O mesmo foi observado para alface (Kano *et al.*, 2011) e couve-flor (Cardoso *et al.*, 2016), outras culturas com ciclo muito aumentado quando o objetivo é a produção de sementes.

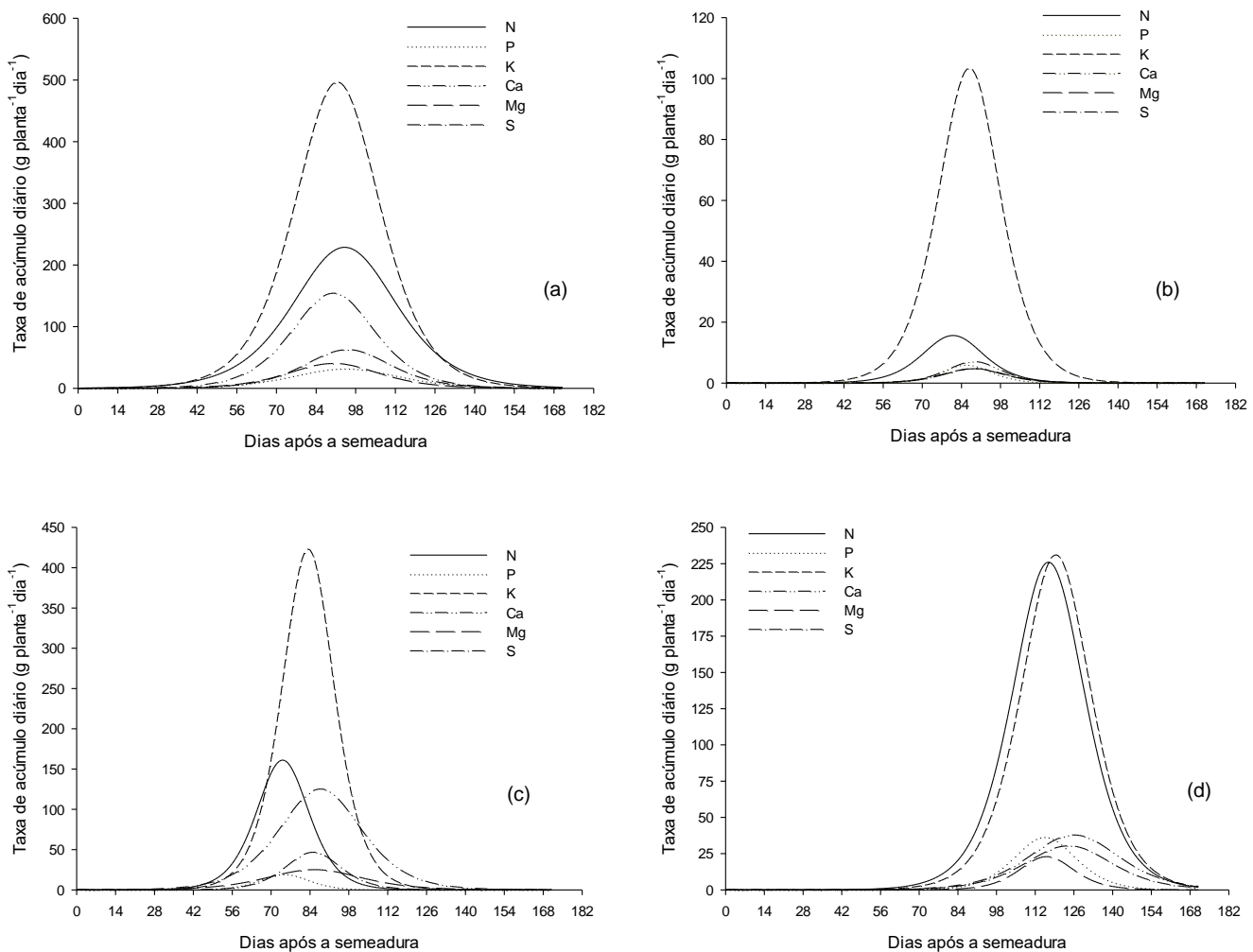
2.3.3 Taxa de acúmulo diário de nutrientes

Conforme Furlani e Purquerio (2010) indicaram, a estimativa da taxa diária de acúmulo de nutrientes é essencial, pois proporciona a base para a formulação de programas de fertilização personalizados para cada espécie e cultivar. Esses programas são desenvolvidos levando em consideração o cronograma ideal. Ao agregar as taxas diárias em intervalos específicos, torna-se viável distribuir

estrategicamente os nutrientes, garantindo que as plantas tenham acesso adequado durante os períodos de maior exigência. Assim, evita-se tanto a escassez quanto o excesso de nutrientes ao longo do ciclo de cultivo.

Ao examinar as necessidades nutricionais das plantas em relação aos dias após a semeadura (Figura 10) notou-se crescimento da taxa de acúmulo diário ao longo do ciclo de cultivo, atingindo um ponto máximo denominado taxa máxima de acúmulo diário (TMAD). Após esse ponto, houve uma diminuição na taxa até o final do ciclo para todas as partes individuais e para a planta como um todo, para todos os nutrientes.

Figura 10- Taxa de acúmulo diário de macronutrientes pela parte aérea total (a), caule (b), folhas (c) e parte reprodutiva (d) das plantas de rúcula em função dos dias após a semeadura



A taxa máxima de acúmulo diário para N, P, K ocorreram nas partes vegetativas da planta no período entre 74 e 94 dias após a semeadura, sendo na planta inteira, o correspondente a 228,64 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 94 DAS para nitrogênio, 31,91 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 94 DAS para o fósforo e 496,65 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 92 DAS para o potássio.

Quanto ao TMAD para o Ca, Mg e S transcorram nas partes vegetativas da planta no período similar, entre 85 e 95 dias após a semeadura, sendo na planta inteira a taxa máxima foi de 154,15 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 90 DAS para o cálcio, 40,24 mg planta⁻¹ dia⁻¹, aos 90 DAS para o magnésio e para o enxofre 62,59 mg planta⁻¹ dia⁻¹ aos 95 DAS.

Para a taxa máxima de acúmulo diário dos macronutrientes na parte reprodutiva, ocorreram em um período posterior ao vegetativo, entre 115 e 126 DAS, sendo para o nitrogênio 226,15 mg planta⁻¹ dia⁻¹ aos 117 DAS, fósforo 36,43 mg planta⁻¹ dia⁻¹ aos 115 DAS, potássio 231,00 mg planta⁻¹ dia⁻¹ aos 119 DAS, cálcio 37,82 mg planta⁻¹ dia⁻¹ aos 126 DAS, magnésio 22,93 mg planta⁻¹ dia⁻¹ aos 116 DAS e enxofre 30,38 mg planta⁻¹ dia⁻¹ aos 124 DAS.

Esses resultados indicam que pouco antes da formação dos botões florais, quando os órgãos reprodutivos começam a se desenvolver, há uma demanda máxima de macronutrientes para formar as partes vegetativas. Se estas partes vegetativas forem bem desenvolvidas, podem suprir as necessidades das plantas durante a fase reprodutiva, incluindo a formação e maturação das sementes. Após atingir esse pico de acúmulo diário, há uma redução significativa, coincidindo com a estabilização da massa seca das partes vegetativas. Por outro lado, após 87 dias após a semeadura (DAS), há um grande acúmulo de matéria seca nas partes reprodutivas, aumentando progressivamente até a maturação completa das sementes. Isso destaca a importância da disponibilidade de nutrientes até o final do ciclo de crescimento, que para a produção de sementes de brócolis foi observado em 171 DAS. Nesse estágio, é vantajoso ter um solo rico em matéria orgânica e pode ser vantajoso complementar com adubos orgânicos de liberação lenta de nutrientes, em comparação com adubos inorgânicos do sistema convencional. No sistema convencional, a demanda pode ser suprida via fertirrigação, colocando a quantidade necessária em cada período.

2.3.4 Qualidade das sementes

Para todas as características relacionadas à qualidade fisiológica das sementes, apresentou como médias de 77%, 89% e 12,15 para a primeira contagem, germinação total e índice de velocidade de germinação. Os valores de germinação total foram elevados e muito superiores ao mínimo exigido para a comercialização de sementes de brócolis pelo MAPA, que é 80% (Brasil, 2019). Portanto, a nutrição da planta foi adequada para a obtenção de sementes de excelente qualidade fisiológica.

2.4 CONCLUSÕES

A fase vegetativa da planta de brócolis destinada à produção de sementes apresenta um crescimento inicial lento, com aumento de velocidade após o início do surgimento dos botões florais aproximadamente aos 101 dias após a semeadura (DAS) e estabiliza-se após este período.

A fase reprodutiva da planta de brócolis para a produção de sementes teve início aos 87 DAS, com uma demanda diária crescente até o final da maturação e colheita das sementes aos 171 DAS.

Durante todo o ciclo, a planta de brócolis acumulou 12447,74; 1718,84; 21478,68; 6806,43; 1884,09; 2665,81 mg planta⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente.

A ordem de acúmulo nas sementes foi N > K > Ca > Mg > S > P.

As sementes corresponderam a 23%, 16%, 13%, 22%, 30% e 14% do total acumulado de N, P, K, Ca, Mg e S acumulado na planta de brócolis ao final do ciclo aos 171 DAS.

REFERÊNCIAS

Agrianual 2022: anuário da agricultura brasileira. São Paulo-SP: FNP, 2023. 305-309 p.

BRASIL. Instrução Normativa nº42, de 17 de setembro de 2019. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, nº 182, p. 6, 19 de set. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p.

BRAZ, L.T.; VARGAS, P.F.; CHARLO, H.C.O.; CASTOLDI, R. Acúmulo de macronutrientes durante o ciclo de couve brócolos 'Legacy'. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 47. **Resumos...** Porto Seguro (CD-ROM). 2007.

CARDOSO, A.I.I. Nutrição e adubação em campos de produção de sementes de hortaliças. In: NASCIMENTO, W.M. **Hortaliças**: tecnologia de produção de sementes. Brasília: Embrapa Hortaliças. 2011, p.109-134.

CARDOSO, A.I.I.; CLAUDIO, M.T.R.; NAKADA-FREITAS, P.G.; MAGRO, F.O.; TAVARES, A.E.B. Phosphate fertilization over the accumulation of macronutrients in cauliflower seed production. **Horticultura Brasileira**, v. 34, 2016, p. 196-201.

CASTOLDI, R.; CHARLO, H.C.O.; VARGAS, P.F.; BRAZ, L.T. Crescimento, acúmulo de nutrientes e produtividade da cultura da couve-flor. **Horticultura Brasileira**, v.27, 2009, p. 438-446.

CASTOLDI, R.; CHARLO, H.C.O.; VARGAS, P.F.; BRAZ, L.T. Acúmulo de macronutrientes durante o ciclo de couve brócolos 'Lord Summer'. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 47. **Resumos...** Porto Seguro (CD-ROM). 2007.

CASTRO, C.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; OLIVEIRA, F.A.; FIRMANO, R.F.; ZANCANARO, L.; KLEPKER, D.; FOLONI, J.S.S.; BRIGHENTI, A.M.; BENITES, V.M. **Magnésio**: Manejo para o equilíbrio nutricional da soja (Documentos, n.430). Londrina, PR: Embrapa. 2020. 54 p.

CECÍLIO FILHO, A.B.; CARMONA, V.M.V.; SCHIAVON JÚNIOR, A.A. Broccoli growth and nutrient accumulation. **Científica**, 45, 2017. p. 95-104.

Centro integrado de informações agrometeorológicas- CIIAGRO. **Portal agrometeorológico e hidrológico do estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.ciiagro.org.br/diario/cperiodo>>. Acesso em: 06 jul. 2023.

CONTRERAS, S.; FARÍAS, A.; NASCIMENTO, W.M. Produção de sementes de *Brassica oleracea*. In: NASCIMENTO, W.M. **Produção de sementes de hortaliças**. Brasília: Embrapa, v. 1. 2014, p. 45-73.

CORRÊA, C.V.; GOUVEIA, A.M.S.; TAVARES, A.E.B.; EVANGELISTA, R.M.; CARDOSO, A.I.I.; MENDONÇA, V.Z.; MARTINS, B.N.M.; LANNA, N.B.L. Sulphur (S)

topdressing and organic compost in the production, quality and nutrients accumulation in broccoli seeds at planting. **Australian Journal of Crop Science**, v.11, n. 5, 2017, p. 542-547.

DINIZ, E.R.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.S.; PETERNELLI, L.A.; BARRELLA, T.P.; FREITAS, G.B. Crescimento e produção de brócolis em sistema orgânico em função de doses de composto. **Ciência e Agrotecnologia**. v.32, n. 5. 2008. p. 1428-1434.

DUARTE, L.O.; CLEMENTE, J.M.; CAIXETA, I.A.B.; SENOSKI, M.P.; AQUINO, L.A. Dry matter and nutrient accumulation curve in cabbage crop. **Revista Caatinga**. Mossoró, v. 32, n. 3. 2019. p. 679-689.

FELLER, U.; ANDERS, I.; MAE, T. Rubiscolytics: fate of Rubisco after enzymatic function in a cell is terminated. **Journal of Experimental Botany**. v. 59. 2008. p. 1615-1624.

FURLANI, P.R; PURQUERIO, L.F.V. Avanços e desafios na nutrição de hortaliças. In: MELLO PRADO, R.; CECILIO FILHO, A.B.; CORREIA, M.A.R.; PUGA, A.P. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**. Jaboticabal: FCAV, 2010, p. 45-62.

GHALY, F.; ABD-HADY, M.; ABD-ELHAMIED, M. Effect of varieties, phosphorus and boron fertilization on sugar beet yield and its quality. **Journal of Soil Science and Agricultural Engineering**, v.10, n. 2, p.115–122, 2019.

GILLIHAM, M.; DAYOD, M.; HOCKING, B.J.; XU, B.; CONN, S.J. KAISER, B.N.; TYERMAN, S.D. Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow. **Journal of experimental botany**. v. 62, n. 7. 2011. p. 2233-2250.

HADI, M.R.; KARIMI, N. The role of calcium in plants' salt tolerance. **Journal of Plant Nutrition**. V. 35, 2012. p. 2037-2054.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE. **Censo Agropecuário de 2017: Resultados definitivos**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017/resultados-definitivos>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

KANO, C.; CARDOSO, A.I.I.; VILLAS BÔAS, R.L. Acúmulo de nutrientes pela alface à produção de sementes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.29, n.1, p.70-77, jan./mar. 2011.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. 1948. 479 p.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS,1989.

MAGRO, F.O.; CARDOSO, A.I.I.; FERNANDES, D.M. Acúmulo de nutrientes em sementes de brócolis em função de doses de composto orgânico. **Revista Cultivando o Saber**, v. 2, 2009, p. 49-57.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.1, 1962, p. 176-177.

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

MAROUELLI, W.A.; MELO, R.A.C; BRAGA, M.B. **Irrigação no cultivo de brássicas**. (Circular Técnica, 158). Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. 2017. 25 p.

MELO, R.A.C. **A cultura do brócolis**. Coleção Plantar, 74. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 153 p.

NAKADA-FREITAS, P.G.; SANTOS, J.T.; HIDALGO, G.F.; ANJOS, L.V.S.; SOUZA, E.P.; MARTINS, I.R.; CARDOSO, A.I.I.; BARDIVIESSO, E.M.; LANNA, N.B.L.; CATÃO, H.C.R.M.; HEINRICHS, R. Calcium in the production and quality of cauliflower seeds. **Research, Society and Development**, v. 10: e44710212763, 2021.

NASCIMENTO, W.M.; VIDAL, M.C.; RESENDE, F.V. Produção de sementes de hortaliças em sistema orgânico. In: NASCIMENTO, W.M. **Hortaliças: tecnologia de produção de sementes**. Brasília: Embrapa Hortaliças. 2011, p. 61-75.

PACÍFICO, V. Alimentos Orgânicos: Benefícios Para a Saúde, Meio Ambiente e Comércio. **Revista Nawa**, v. 1, n. 1. Rio Branco- AC. 2017, p. 1-5.

SCHIAVON JÚNIOR, A.A. **Produtividade e qualidade de brócolos em função da adubação e espaçamento entre plantas**. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Produção Vegetal)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2008. 67 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, L. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: ARTMED, 5. ed. 2013. 918p.

TRANI, P.E.; CECÍLIO FILHO, A.B.; CAMARGO, M.S.; MELLO, S.C.; FIGUEIREDO, G.J.B. Brócolis, Couve-Flor e Repolho. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS JÚNIOR, D.; BOARETTO, R.M.; RAIJ, B.van. **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Instituto Agronômico de Campinas. Campinas. 2022. p. 379-381.

VIDIGAL, S.M.; MOREIRA, M.A. **Nutrição e adubação de brócolis cabeça única**. (Circular técnica, 354). Belo Horizonte, MG: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. 2021. 8 p.

WHITE, P.J.; BROADLEY, M.R. Calcium in plants. **Annals of botany**, v. 92, n.4, 2003. p. 487-511.

YADAV, K.G.; KUSHWAHA C.; SINGH, P.K.; KUMAR, M.; YADAV, S.K. Effect of nutrient management on yield and nutrient uptake by Indian mustard (*Brassica juncea* L). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**. v.6, n.6, 2017. p. 556-559.

ZANINI, P.P.G. **Curvas de crescimento de brócolis híbrido de cabeça única**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015. 45 p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fase vegetativa do brócolis e da rúcula para produção de sementes em cultivo orgânico apresenta crescimento inicial lento, com aceleração até o surgimento dos botões florais e estabiliza-se após este período.

A planta de rúcula acumulou 3355,41; 408,11; 7404,13; 1394,31; 451,61; 1010,73 mg planta⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Enquanto durante todo o ciclo, a planta de brócolis acumulou 12447,74; 1718,84; 21478,68; 6806,43; 1884,09; 2665,81 mg planta⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente.

A ordem decrescente de acúmulo nas sementes na rúcula foi N > S > K > P > Mg > Ca. Enquanto para o brócolis a ordem de acúmulo nas sementes foi N > K > Ca > Mg > S > P.

As sementes acumularam o corresponderam a 36%, 38%, 4%, 3%, 16%, 33% do total de N, P, K, Ca, Mg e S acumulado na planta de rúcula ao final do ciclo. As sementes corresponderam a 23%, 16%, 13%, 22%, 30% e 14% do total acumulado de N, P, K, Ca, Mg e S acumulado na planta de brócolis ao final do ciclo aos 171 DAS.

REFERÊNCIAS

- BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E.L. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26. 2002. p. 373-380.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº. 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 24 de dez. 2003.
- DEMATTÊ FILHO, L.C. **Sistema agroalimentar da avicultura fundada em princípios da Agricultura Natural**: multifuncionalidade, desenvolvimento territorial e sustentabilidade. Novas edições acadêmicas. Piracicaba, 2014. 120 p.
- JASPER, J.; WAGSTAFF, C.; BELL, L. Growth temperature influences postharvest glucosinolate concentrations and hydrolysis product formation in first and second cuts of rocket salad. **Postharvest Biology and Technology**, v. 163: 111157, 2020.
- MAGRO, F.O.; CARDOSO, A.I.I.; FERNANDES, D.M. Acúmulo de nutrientes em sementes de brócolis em função de doses de composto orgânico. **Revista Cultivando o Saber**, v. 2, 2009, p. 49-57.
- MARQUELLI, W.A.; MELO, R.A.C.; BRAGA, M.B. **Irrigação no cultivo de brássicas**. (Circular Técnica, 158). Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. 2017. 25 p.
- MELO, R.A.C. **A cultura do brócolis**. Coleção Plantar, 74. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 153 p.
- MENDES, A.M.S.; FARIA, C.M.B.; SILVA, D.J.; RESENDE, G.M.; OLIVEIRA NETO, M.B.; SILVA, M.S.L. **Nutrição Mineral e adubação da cultura da cebola no submédio do Vale do São Francisco**. (Circular Técnica, 86). Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. 2008. 10 p.
- OLIVEIRA, R.A. **Planejamento da conversão do café convencional para o orgânico**: um estudo de caso. 2012. Tese (Doutorado em Ciências)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2012. 215 p.
- PENTEADO, S.R. **Agricultura orgânica**: série produtor rural. ESALQ. 2001. 41 p.
- RODRIGUES, R.A.S. **Olericultura**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A. 2019. 224 p.
- SANTOS, T.R. **Agroecologia, certificação orgânica e agricultura familiar no contexto brasileiro**. 2020. Dissertação (Mestrado em Sociedade, Ambiente e Território)- Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2020. 91 p.

VILLAS BÔAS R.L. **Doses de nitrogênio para pimentão aplicadas de forma convencional e através da fertirrigação.** Botucatu. UNESP. 123 p. (Tese livre docência). 2001.