



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



VITOR GASTALDI

**INFLUÊNCIA DO FERRO NA PRODUÇÃO DE MASSA, ÁREA FOLIAR E ÍNDICE
DE CLOROFILA TOTAL NA *BABY LEAF* RÚCULA**

Araras - 2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



**INFLUÊNCIA DO FERRO NA PRODUÇÃO DE MASSA, ÁREA FOLIAR E ÍNDICE
DE CLOROFILA TOTAL NA *BABY LEAF* RÚCULA**

VITOR GASTALDI

Trabalho Final de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Agrônoma – CCA – UFSCar para a obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marta Regina Verruma
Bernardi

Araras
Maio - 2023

AGRADECIMENTOS

- Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, estar presente em todos os momentos me ajudando a superar os piores momentos, principalmente quando achei que não aguentaria mais.

- Aos meus familiares, principalmente, meus pais, Gerson Gastaldi e Eliza Caporasso, pelo apoio, amor, incentivo emocional e financeiro, se estou aqui, vocês são os responsáveis, amo vocês!

- A minha companheira que nunca me deixou desistir de tudo, me ajudou durante as crises, obrigado pela paciência, apoio e amor e pelo maior presente até o presente momento, a Madalena. Te amo Ana Luiza.

- Ao Prof. Fernando Sala e ao aluno do programa de mestrado, Guilherme José Ceccherini (UFSCar) por disponibilizarem parte do experimento de fortificação de ferro em rúculas, da qual pude elaborar este TFC.

- A minha orientadora, Profa. Marta Regina Verruma Bernardi, pelo apoio, paciência, compreensão e incentivo para desenvolver o trabalho.

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar o efeito do nutriente ferro em sistema hidropônico utilizando *baby leaf* de rúcula (variedade Astro) em duas estações, verão e inverno, nas características: área foliar, massa fresca da parte aérea e da raiz, massa seca da parte aérea e da raiz e índice de clorofila total. O delineamento experimental do estudo foi em blocos casualizados, com fatorial de quatro doses de ferro (T1=1,8; T2= 3,6; T3 = 5,4; T4 = 7,2 g.1000L⁻¹). Os resultados apresentados na estação verão foram adequados, principalmente na concentração do T3, que apresentou maiores valores para massa fresca da parte aérea, da raiz e área foliar e de massa seca. Para estação inverno, os resultados foram positivos, uma vez que massa fresca da parte aérea e da raiz, massa seca da parte aérea e o índice de clorofila das folhas grandes foram maiores e para massa seca da raiz, principalmente utilizando a concentração de T4. Em comparação as estações, verificou-se que o efeito do ferro foi mais adequada no verão, uma vez que em todos os parâmetros de massa foram superiores. A suplementação de ferro em ambas as estações podem trazer benefícios para a planta, produtor e possivelmente para o consumidor.

Palavras-chave: cor; massa fresca; massa seca; biofortificação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Variedade Donatella	12
Figura 2. Variedade Antonela	13
Figura 3. Variedade Gigante	13
Figura 4. Variedade Culivada	14
Figura 5, Variedade Roka	14
Figura 6. Variedade Astro	15
Figura 7. Cultivo experimental de rúcula cv. Astro realizado na área experimental da UFSCar - Araras	21
Figura 8. Linhas referentes ao aumento de concentração por resultado obtido para massa fresca da parte aérea em (g) da rúcula <i>baby leaf</i> - verão	24
Figura 9. Linhas referentes ao aumento de concentração por resultado obtido na massa fresca da raiz, rúcula <i>baby leaf</i> - verão	25
Figura 10. Linhas estimadas, para cada tratamento e seu valor de área foliar após colheita da rúcula <i>baby leaf</i> - verão	27
Figura 11. Curva do índice de clorofila nas folhas pequenas da rúcula <i>baby leaf</i> - verão	28
Figura 12. Linhas referentes ao aumento de concentração por resultado obtido para massa fresca da parte aérea da rúcula <i>baby leaf</i> - inverno	30
Figura 13. Linhas referentes ao aumento de concentração por resultado obtido na massa fresca da raiz, rúcula <i>baby leaf</i> - inverno	31
Figura 14. Linhas referentes ao aumento de concentração por resultado obtido na massa seca da raiz da rúcula <i>baby leaf</i> - inverno	32
Figura 15. Curvas estimadas para os índices de clorofila por tratamento das rúculas produzidas no inverno	33
Figura 16. Comparação entre os principais parâmetros e as estações verão e inverno da rúcula <i>baby leaf</i> .	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição centesimal da rúcula	17
Tabela 2. Temperaturas, considerando média, máxima, mínima e umidade relativa do ar média por mês de cultivo	20
Tabela 3. Resultados da análise de variância para índice de clorofila das folhas pequenas e grandes, área foliar, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa fresca da raiz e massa seca da raiz da rúcula <i>baby leaf</i> - verão	24
Tabela 4. Resultados da análise de variância para índice de clorofila das folhas pequenas e grandes, área foliar, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa fresca da raiz e massa seca da raiz da rúcula <i>baby leaf</i> - inverno	29
Tabela 5. Resultados da análise de variância para índice de clorofila das folhas pequenas e grandes, área foliar, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa fresca da raiz e massa seca da raiz, comparando diferentes estações do ano de rúcula <i>baby leaf</i>	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1. Aspectos botânicos e agronômicas da rúcula	10
3.2. <i>Baby leaf</i>	10
3.3. Produção e consumo de rúcula	11
3.4. Variedades de rúcula	12
3.5. Tipos de sistema produção da rúcula	15
3.6. Características nutricionais e sensoriais da rúcula	16
3.7. Biotificação de hortaliças	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1. Condições do experimento	20
4.2. Análises	21
4.2.1. Massa fresca e seca da raiz e parte aérea	21
4.2.2. Área foliar	21
4.2.3. Índice de clorofila	22
4.3. Análise estatística	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1. Rúcula de verão	23
5.2. Rúcula de inverno	29
5.3. Comparação rúcula produzida no verão e inverno	34
6. CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a hortaliça folhosa mais consumida é a alface, no entanto, a rúcula (*Eruca sativa*) vem adquirindo espaço no mercado, principalmente por se destacar nas dietas modernas, o gosto amargo é resultante de vários glucosinolatos e outros compostos que contêm enxofre (PIŚLEWSKA-BEDNAREK *et al.*, 2018).

De acordo com Aleman *et al.* (2014), mesmo nas estações chuvosas, a suplementação hídrica em hortaliças é uma necessidade, já que estas culturas são muito suscetíveis ao estresse hídrico, principalmente devido à grande variação nos níveis de água no solo.

Assim sendo, os cultivos hidropônicos são recursos hídricos que utilizam tecnologias economicamente acessíveis, substituindo o solo, no qual fornece todos os elementos minerais essenciais da planta e água para não haver estresse hídrico (RESH, 2012).

Segundo Furlani (1998), para as hortaliças hidropônicas serem prosperas, a solução nutritiva deve corresponder com a cultura e ser manejada adequadamente, já que há influência direta na produção e na qualidade, estes fatores são concentração de oxigênio, a condutividade elétrica (CE), pH e temperatura.

Um mercado em constante expansão no Brasil e já estabelecido pela Europa, é o mercado de hortaliças em miniaturas. Esses alimentos apresentam tamanho menor, além de acrescentar facilidade de preparo de consumo, aumentando o valor agregado, principalmente pela capacidade de transformar um prato comum em um prato com aspecto mais moderno, saboroso e atrativo (PURQUERIO; MELLO, 2011; SABIO; VENTURA; CAMPOLI, 2013).

Estas hortaliças podem ser classificadas em mini e *baby*, ou seja, as consideradas mini são oriundas de melhoramento genético ou de processamento mínimo que mantêm seus formatos, já a *baby* é apenas a hortaliça colhida precocemente, no qual não ocorre expansão completa das folhas jovens (SABIO; VENTURA; CAMPOLI, 2013).

Um dos fatores que afetam a produção de hortaliças é o clima, já que as chuvas demasiadas do verão podem causar danos as hortaliças e favorecer uma gama de patógenos, principalmente fungos. Entretanto, o clima frio e seco do inverno acaba prolongando o ciclo e favorecendo patógenos que não gostam de umidade (PURQUERIO *et al.*, 2010).

O mineral ferro está presente em diversos processos fundamentais das plantas, desde fotossíntese, síntese de DNA e de hormônios, assim sendo torna-se um micronutriente essencial (SAHRAWAT, 2004). O excesso de ferro, pode causar, também, desbalanços nutricionais, induzindo a deficiência de alguns minerais como fósforo, cálcio, zinco, potássio, magnésio (AUDEBERT; FOFANA, 2009).

Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), a falta do elemento ferro provoca clorose nas folhas, evidenciando sua importância na síntese de clorofila, assim sendo, a relação entre eficiência fotossintética das plantas, resultante no crescimento delas, está diretamente relacionada as clorofilas, no qual, estas são responsáveis pela conversão da radiação luminosa em energia, sob forma de ATP e NADPH.

Apesar da sua importância na saúde humana, os principais alimentos consumidos nos países em desenvolvimento apresentam baixos teores de alguns micronutrientes, tornando seu consumo insuficiente para atender aos requerimentos mínimos diários (CARVALHO; VASCONCELOS, 2013). Com isso, alguns métodos de suplementação estão sendo utilizados, destacando-se, dentre eles, a biofortificação agrônômica, cujo propósito é enriquecer os alimentos por meio da adubação (CAKMAK; MARSCHNER, 1988) via solo, fertirrigação e/ou foliar, no caso desse estudo utilizamos o meio hidropônico-NFT para avaliar o efeito de aumento de concentração de ferro *em baby-leaf* de rúcula.

2 OBJETIVOS

O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da biofortificação de ferro em sistema hidropônico-NFT utilizando *baby leaf* da variedade de rúcula Astro nas estações do verão e inverno, através das características agronômicas: área foliar, massa fresca da parte aérea e da raiz, massa seca da parte aérea e da raiz e índice de clorofila total.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos botânicos e agronômicas da rúcula

A rúcula é cultivada normalmente nas regiões do país com temperaturas mais amenas, porém, alguns estudos mostram que esta hortaliça tem apresentado boa adaptação ao cultivo de verão, cujas temperaturas são mais elevadas, sendo os picos de produtividade de massa fresca influenciados pela temperatura (COSTA *et al.*, 2012). É uma herbácea pertencente à família das Brassicaceae e apresenta porte baixo, com altura média de 10 a 15 cm, folhas alongadas e de limbo profundamente recortado de cor verde e as nervuras são verdes claras (FILGUEIRA, 2013).

De acordo com Purquerio *et al.* (2007), a produtividade da rúcula foi inversamente proporcional aos espaçamentos entre as plantas, sem do que a maior produtividade foi observada no espaçamento de 0,05m, tanto no campo ($2,9 \text{ kg.m}^{-2}$) quanto no ambiente protegido ($3,3 \text{ kg.m}^{-2}$). É importante ressaltar que a produção de hortaliças em condições de cultivo intensivo requer um suprimento adequado de nutrientes desde o estágio de plântula até a colheita, pois o desequilíbrio nutricional, seja por carência ou excesso de nutrientes, pode ser um fator estressante para a planta. Nesse contexto, destaca-se o nitrogênio, que pode causar modificações morfológicas significativas.

3.2. *Baby leaf*

Segundo Purquerio e Tivelli (2010) a planta *baby* é um produto obtido por meio da colheita precoce das espécies de tamanho tradicional. O seu cultivo envolve semelhanças em relação ao plantio de olerícolas de tamanho normal, porém há algumas particularidades, como o tempo de cultivo, manejo fitossanitário e espaçamento.

É comum encontramos as espécies de alface, rúcula, agrião, já que podem ser comercializadas de forma individualizada ou na forma de mescla de cores, espécies, formatos e até texturas (PURQUERIO; MELLO, 2011).

No Brasil, ainda não existe uma classificação oficial em relação ao comprimento máximo que pode ser utilizado para ser classificada como *baby leaf*, porém, segundo Purquerio *et al.* (2010), a sugestão é de que apresentem no máximo 15 cm no comprimento da folha.

Segundo Costa e Soares (2016), o valor agregado destes produtos considerados baby, podem apresentar o dobro do preço dos produtos convencionais, assim sendo, aciona um sinal de alerta para atrair o interesse dos produtores brasileiros, além de diversificar a produção.

3.3. Produção e consumo de rúcula

Segundo Jardina *et al.* (2017), a rúcula (*Eruca sativa Miller*) é uma hortaliça folhosa, originária da região mediterrânea e a oeste da Ásia. Apresenta desenvolvimento rápido e ciclo curto, no Brasil estima-se que a área cultivada no Brasil seja de 6000 ha/ano, sendo que 85% da produção nacional concentram-se no sudeste do Brasil, já que nos últimos anos o consumo apresentou um acentuado crescimento.

Segundo Corrêa *et al.* (2012) o grande aumento no consumo de hortaliças, a necessidade de produção de rúcula no país cresceu, sendo cerca de 40.000 toneladas, mostrando a relevância econômica dessa hortaliça.

Segundo Purquerio e Tivelli (2010) a rúcula é comercializada em maços ou dúzias de plantas e sua preferência por cores e tamanhos de folhas, varia de regiões e forma de consumo. No Brasil, é consumida preferencialmente na forma de salada crua e em pizzas, quando o cliente visa o consumo in natura e em pizzas, as folhas grandes são mais chamativas, para restaurantes *self service*, as folhas pequenas são preferíveis para caberem nos recipientes.

3.4. Variedades de rúcula

Segundo Sala *et al.* (2004) as cultivares encontradas disponíveis no mercado são inúmeras, com variações de formato de folhas, podendo ter bordas lisas, essa variação é caracterizada pelas cultivares ‘folha larga’ e ‘astro’, elas podem se apresentar também a partir de bordas recortadas, essas são conhecidas como cultivadas (‘Antonela’ e ‘Cultivada’), esse grupo é o mais conhecido e consumido.

A rúcula Donatella é a tipo folha larga, apresenta um sabor exímio e uniformidade no ponto de colheita, uma das principais características é a alta precocidade, recomenda-se utilizar para cultivo hidropônico ou *baby leaf*. Apresenta ciclo de verão de 40 dias, ciclo de inverno de 60 dias (ISLA SEMENTES, s.d.) (Figura 1).

Figura 1. Variedade Donatella.



Fonte: Isla Sementes (s.d.).

A rúcula Antonela é a tipo cultivada, apresenta folhas curtas de coloração verde-escuro, apresenta uniformidade no ponto de colheita e também pode ser utilizada para produção de *baby leaf*, durante o verão apresenta um ciclo de 40 dias, e durante o inverno um ciclo de 60 dias (ISLA SEMENTES, s.d.) (Figura 2).

Figura 2. Variedade Antonela.



Fonte: Isla Sementes (s.d.).

A rúcula gigante folha larga é a uma planta vigorosa com facilidade de rebrote, as folhas são eretas e largas, é indicada para cultivo o ano todo, apresentando ciclo de 45 dias no verão e 65 dias no inverno (ISLA SEMENTES, 2018) (Figura 3).

Figura 3. Variedade Gigante.



Fonte: Isla Sementes (s.d.).

A rúcula cultivada é uma variedade tradicional de rúcula, uniforme e com facilidade no rebrote, as folhas são compridas, recortadas e verde-escuras, também é indicada plantar o ano todo, com um ciclo no verão de 40 dias e 60 dias no inverno (ISLA SEMENTES, 2018) (Figura 4).

Figura 4. Variedade cultivada.



Fonte: Isla Sementes (s.d.).

A rúcula Roka apresenta ótimo sistema radicular, tenras e com uma coloração de verde-escuro, as folhas são pouco lobuladas, é uma variedade bem adaptada para o cultivo hidropônico e pode ser cultivada durante o ano todo, apresenta um ciclo de 30 dias no verão e 45 dias no inverno (AGRISTAR, 2019) (Figura 5).

Figura 5. Variedade Roka.



Fonte: Agristar (2019).

A rúcula Astro possui folhas largas com menor quantidade de áreas recortadas, alta produtividade, apresenta resistência ao pendoamento precoce, ótimo visual dos maços, apresenta um ciclo de 30 dias no verão e 40 dias no inverno (SAKATA, 2018) (Figura 6).

Figura 6. Variedade Astro.



Fonte: Sakata (2018).

3.5 Tipos de sistema produção da rúcula

A produção pode ser feita convencional ou orgânica no solo e o cultivo hidropônico. Cada um apresenta algumas características próprias, com suas vantagens e desvantagens, no qual fica a critério do produtor decidir, qual método escolher, por análises de custos e da rentabilidade (RODRIGUES, 2018).

Segundo Abreu Júnior (1998) o cultivo convencional o objetivo do manejo é apenas a planta, no qual é utilizada a monocultura, o uso intensivo de adubos

químicos sintéticos e dos agrotóxicos, causam a degradação do solo, destruindo a micro vida, salinização e acidificação do solo, destruição da biodiversidade além dos riscos para quem consome quando não se respeita a data de carência do produto aplicado.

O cultivo hidropônico vem ganhando espaço no mercado por possuir diversas vantagens, principalmente por ser um método de produção intensivo que não agride o meio ambiente, já que é um sistema completamente fechado, no qual há a reutilização de uma solução nutritiva (ZAMBRANO, 2014).

O sistema radicular em contato direto com a água, nutriente e oxigênio acarreta a maximização do crescimento da planta, atingindo o máximo potencial da cultivar, evitando doenças de solo e problemas por falta de recursos hídricos (HERNÁNDEZ, 2017).

De acordo com Egídio e Levy (2013), destacaram a redução do ciclo, a maior produção, melhor utilização de água e nutrientes pelas plantas, alcançando assim a maior eficiência da nutrição mineral da espécie.

3.6 Características nutricionais e sensoriais da rúcula

Segundo Bell, Lignou e Wagstaff (2020) as características sensoriais podem ser afetadas por variações sazonais, os odores verdes, apimentados e terrosos foram observados elevados em janeiro, enquanto os odores pedunculados e doces mais elevados de julho a setembro. Além disso, as características de sabor, amargo, apimentado e terroso das folhas não apresentaram variações conforme as sazonalidades, por fim, a textura, foi observada a sensação de macio e úmido nas folhas testadas em janeiro, enquanto seca e crocante ficaram nos meses de março a outubro.

A rúcula contém em vitaminas A e C, além de sais minerais como potássio com 326 mg/100g e massa fresca, ferro 1,46 mg/100g de massa fresca, cálcio

160mg/100g de massa fresca (GENUNCIO *et al.*, 2011; TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS, 2021).

A TACO (TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS, 2011), fornece a composição dos principais alimentos consumidos no Brasil, no qual a rúcula está presente e tem como composição nutricional descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Composição centesimal da rúcula.

Rúcula (100g)	Teores
Umidade (%)	94,8
Energia (kcal)	13,55
Proteínas (g)	1,8
Lipídeos (g)	0,1
Carboidratos (g)	2,2
Fibra alimentar (g)	1,7
Cinzas (g)	1,1
Cálcio (g)	117
Magnésio (g)	18
Manganês (mg)	0,24
Fósforo (mg)	25
Ferro (mg)	0,9
Sódio (mg)	9
Potássio (mg)	233
Cobre (mg)	0,04
Zinco (mg)	0,4
RE (µg)	533
RAE (µg)	266
Tiamina (µg)	0,04
Niacina (mg)	0,35
Vitamina C (mg)	46,3
Riboflavina (mg)	Traços
Piridoxina (mg)	Traços

Fonte: Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (2011).

Segundo Rodrigues (2012), a rúcula contém vitamina C, cálcio, ferro, magnésio e potássio que auxiliam no risco de doenças vasculares, reduzem o colesterol e contribuem para os sistemas digestório, nervoso, imunológico e sexual.

Segundo Vasconcelos, Freitas e Brunini (2011) a acidez titulável para rúcula está em torno de 0,370 g de ácido málico por 100 g, já os sólidos solúveis totais (°Brix) foi de 4,920 e o pH 5,680, por fim a aceitação apresentou valores como 6,9 para cor, 6,9 para o aroma, 7,0 para textura e 7,2 para impressão global.

3.7 Biofortificação de hortaliças

Os alimentos de origem vegetal são fontes de nutrientes para os seres humanos e animais, porém, os solos apresentam um acentuado desbalanço mineral acarretando teores reduzidos de nutrientes considerados essenciais a dieta humana (NASCIMENTO, 2018).

Segundo Hawrylak-Nowak (2013), a maioria da população mundial pode apresentar algum tipo de deficiência nutricional, alguns elementos ocorrem com mais frequência do que outros, entre eles estão ferro, com uma estimativa de 60%, zinco e iodo com 30%, selênio 15% da população mundial.

De acordo com White e Broadley (2009), a biofortificação é um processo que visa enriquecer as partes comestíveis das culturas agrícolas com micronutrientes, por meio da absorção de nutrientes da solução do solo e sua translocação para as partes comestíveis em formas biodisponíveis.

No contexto da biofortificação a hidroponia também oferece a possibilidade de produzir alimentos mais nutritivos e sustentáveis, com redução do uso de água, fertilizantes, já que na hidroponia a água é recirculada e a irrigação pode ser interrompida conforme a demanda, o que significa que a mesma água pode ser usada repetidamente para irrigar as plantas, além de permitir um controle mais preciso sobre o fornecimento de nutrientes (CARDOSO *et al.*, 2011).

Assim sendo, a técnica de fortificação dos alimentos tem se mostrado uma eficiente alternativa no combate das deficiências nutricionais, no qual, o aumento de vitaminas e minerais pode ser feita por melhoramento genético ou através da adubação mineral (NUTI, 2016) O processo de fortificação ocorre geralmente em culturas vegetais e cereais de alto consumo, para ocorrer maior acesso por parte da população (NASCIMENTO, 2018).

Considerada de alta eficiência, baixo custo e por ser uma técnica sustentável, a biofortificação, é amplamente empregada nos países que não apresentam recursos financeiros e de saúde aptos, assim sendo estes países podem utilizar esta técnica para reduzir índices de deficiência nutricional dos países (REIS *et al.*, 2013; ÁVILA *et al.*, 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Condições do experimento

O experimento foi conduzido no mês de junho/julho (inverno) e em novembro/dezembro (verão) em casa de vegetação (ambiente protegido) em sistema hidropônico com a solução nutritiva de Furlani (1998), localizado na área experimental do Centro de Ciência Agrária da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, em Araras-SP.

O delineamento experimental foi feito em blocos casualizados, em esquema fatorial com 4 doses de ferro (1,8; 3,6; 5,4 e 7,2 g.1000L⁻¹) cultivares de rúcula, Astro, com quatro repetições (Figura 7).

As mudas de rúcula foram produzidas em viveiro comercial (IBS Mudas em Piracicaba-SP) em bandejas de polipropileno com 128 células, as mudas foram transplantadas para as bancadas com perfis de polietileno de 50 mm de diâmetro, bancadas com 9% de declividade com espaçamento de 0,15 x 0,20 m (planta e perfil), como evidenciado na Figura 7. As análises foram realizadas 15 dias após o transplante. As temperaturas no período de junho/julho de 2021 (cultivo de inverno) e novembro/dezembro de 2021 (cultivo de verão) (Tabela 2).

Tabela 2. Temperaturas, considerando média, máxima, mínima e umidade relativa do ar média por mês de cultivo.

Mês	Média °C	Máxima °C	Mínima °C	UR%
Junho	18,3	29,2	4,6	87,3
Julho	17	30	3	72
Novembro	23,1	33,8	12,8	82,2
Dezembro	23,1	33,8	14	88,2

Fonte: Dados Climatológicos coletados pela Estação Meteorológica Automática – E.M.A. – Centro de Ciências Agrárias – Araras/SP.

Figura 7. Cultivo experimental de Rúcula cv. Astro realizado na área experimental da UFSCar-⁴ Araras.



Fonte: Guilherme José Ceccherini (aluno mestrado - UFSCar).

4.2 Análises

4.2.1 Massa fresca e seca da raiz e parte aérea (g)

Após a colheita, foi feita a separação da parte aérea e da raiz, no qual, foram pesadas separadamente. A parte aérea considerada foram as folhas e o caule das rúculas. As pesagens foram feitas em balança de precisão 0,01 g, de modelo S2202H. Após pesadas, foram colocadas em sacos de papéis, separadas entre raiz e aérea, posteriormente utilizadas para massa seca.

Os sacos de papéis foram levados para a estufa de cultivo, objetivando-se realizar pré-secagem em estufa sob radiação solar, devido à porcentagem de água presente. Após 4 dias, os sacos foram levados para a estufa de circulação de ar forçada, a 65 °C até obter massa constante.

4.2.2 Área foliar

Foi utilizado o equipamento modelo de integrador de área foliar Li-cor 3000, Licor Inc., Lincon, Nebraska, EUA (Li-Cor Inc., 1987), no qual foram utilizadas 4 plantas separando suas folhas acima de 1 cm de cada tratamento.

4.2.3 Índice de clorofila total

Os índices de clorofila foram avaliados utilizando o aparelho SPAD-502 Plus, os dados dos índices foram coletados em duas folhas, para obter a média de índice de clorofila das folhas pequenas (1-2 cm) e das grandes (4-6 cm).

4.3 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), determinados o teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Rúcula - verão

Os resultados para os atributos estudados na rúcula no verão estão apresentados na Tabela 3. O ferro é um micronutriente essencial para as plantas crescerem e desenvolverem de forma saudável, porém, segundo Sahrawat (2004), em determinadas condições, o acúmulo excessivo de ferro pode ser tóxico ao metabolismo vegetal. Por isso, foram submetidas às concentrações de 1,8; 3,6; 5,4 e 7,2 g.1000L⁻¹. Este micronutriente é um importante constituinte ou ativador de enzimas, possui também função estrutural e participa de importantes processos, entre os quais estão a fotossíntese, respiração, fixação biológica de nitrogênio, assimilação de nitrogênio e enxofre, síntese de lignina, suberina e metabolismo de auxina (MALAVOLTA, 2006).

Os resultados mostraram que o melhor tratamento para o teor de massa fresca da parte aérea foi o T3 (5,4 g.1000L⁻¹) (Figura 8), esta melhoria ocorre devido à ação do ferro no processo de fotossíntese, com o aumento da concentração de ferro, ocorreu maior produção de clorofila, no qual este pigmento desempenha um papel fundamental na absorção da luz durante a fotossíntese, sendo estimulada, aumentando a taxa de fotossíntese, consequentemente, a produção de massa fresca. Entretanto, é importante destacar que o acúmulo de ferro nas folhas também pode ser benéfico para o consumo humano, pois a concentração provavelmente foi transferida para as folhas, enriquecendo o alimento e contribuindo para a ingestão adequada de ferro na dieta das pessoas.

Os resultados encontrados acima estão em concordância com o estudo realizado por Dai *et al.* (2019), que também destacou a relação positiva entre biofortificação de ferro e a melhoria do teor de massa fresca em vegetais, portanto, os resultados obtidos neste estudo reforçam a importância da biofortificação para o produtor agregar valor ao seu produto e ao consumidor que irá consumir um

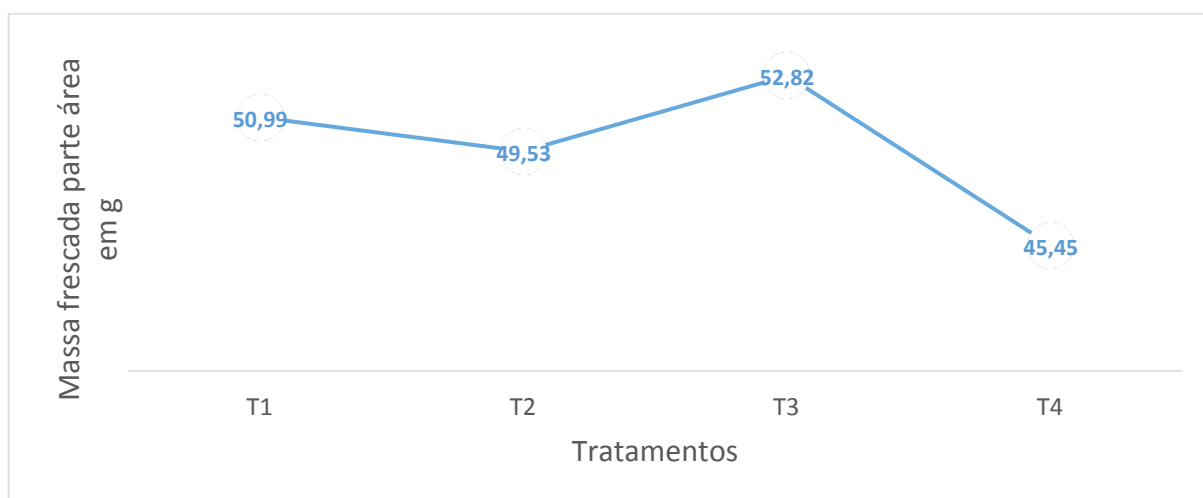
alimento de melhor qualidade nutricional. Outro tratamento que obteve resultados importantes foi o T4 ($7,2\text{g}\cdot 1000\text{L}^{-1}$), apresentou o pior resultado, não sendo benéfico agronomicamente para a planta. Isto pode ter ocorrido pois segundo Adamski *et al.* (2011), o aumento excessivo pode afetar a fisiologia da planta, portanto está concentração pode ser considerada tóxica para a variedade Astro, podendo ressaltar que depende alguns fatores como variedade, temperatura e tipo de manejo.

Tabela 3. Resultados da análise de variância para índice de clorofila das folhas pequenas e grandes, área foliar, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa fresca da raiz e massa seca da raiz da rúcula *baby leaf* - verão.

Rúcula <i>baby leaf</i> - verão							
Tratamentos	Índice de clorofila (pequena)	Índice de clorofila (grande)	Área foliar	Massa fresca da parte aérea	Massa seca parte aérea	Massa fresca da raiz	Massa seca da raiz
T1	33,96 a	33,16 a	574,41 ab	50,99 ab	8,68 a	9,36 b	2,62 a
T2	30,30 ab	36,70 a	647,72 ab	49,53 ab	8,84 a	10,02 ab	2,75 a
T3	26,86 b	42,23 a	719,47 a	52,82 a	8,89 a	11,68 a	2,76 a
T4	29,33 ab	40,06 a	551,87 b	45,45 b	8,38 a	9,56 b	2,40 a
CV%	8,95	14,84	11,22	6,46	7,23	9,39	8,89

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.
T1: $1,8\text{ g}\cdot 1000\text{L}^{-1}$; T2: $3,6\text{ g}\cdot 1000\text{L}^{-1}$; T3: $5,4\text{ g}\cdot 1000\text{L}^{-1}$; T4: $7,2\text{ g}\cdot 1000\text{L}^{-1}$.

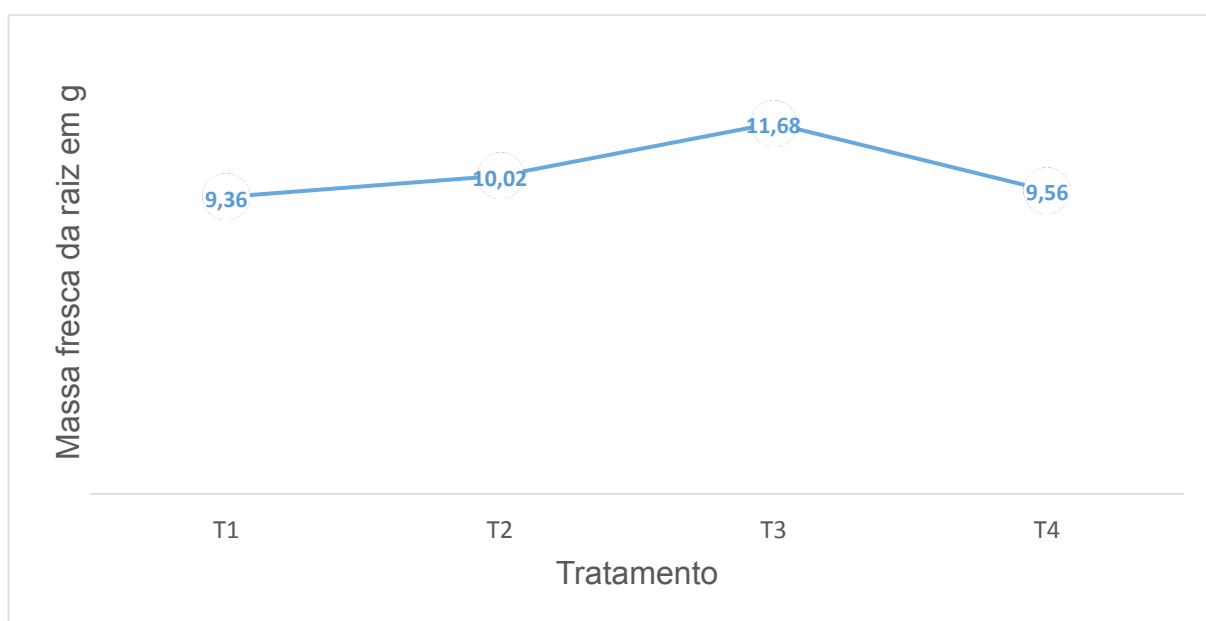
Figura 8. Linhas referentes ao aumento de concentração por resultado obtido para massa fresca da parte aérea em (g) da rúcula baby - verão.



Tratamentos: T1: $1,8\text{ g}\cdot 1000\text{L}^{-1}$; T2: $3,6\text{ g}\cdot 1000\text{L}^{-1}$; T3: $5,4\text{ g}\cdot 1000\text{L}^{-1}$; T4: $7,2\text{ g}\cdot 1000\text{L}^{-1}$.

De acordo com os resultados obtidos (Figura 9), houve diferenças significativas na massa fresca da raiz entre os tratamentos testados. Os tratamentos T3 ($5,4 \text{ g.1000L}^{-1}$) e T2 ($3,6 \text{ g.1000L}^{-1}$) apresentaram os melhores resultados, demonstrando que a biofortificação pode ser benéfica para o desenvolvimento radicular. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que o ferro está diretamente relacionado com enzimas e hormônios responsáveis pelo crescimento e regulação do desenvolvimento radicular (LIANG *et al.*, 2018). Por outro lado, o tratamento T4 ($7,2 \text{ g.1000L}^{-1}$), apresentou a pior massa fresca, indicando que uma concentração excessiva de ferro pode ser prejudicial para o desenvolvimento radicular, de fato, a diminuição pode ter ocorrido devido à exposição a níveis tóxicos de ferro e à retenção deste metal no sistema radicular (SIQUEIRA-SILVA *et al.*, 2012), estes resultados estão alinhados com Stein *et al.* (2008), no qual a retenção do ferro no sistema radicular pode ser considerada um mecanismo de defesa da planta em resposta ao estresse causado por níveis tóxicos de ferro.

Figura 9. Linhas referentes ao aumento de concentração por resultado obtido na massa fresca da raiz rúcula *baby leaf* - verão.



Tratamentos: T1: $1,8 \text{ g.1000L}^{-1}$; T2: $3,6 \text{ g.1000L}^{-1}$; T3: $5,4 \text{ g.1000L}^{-1}$; T4: $7,2 \text{ g.1000L}^{-1}$.

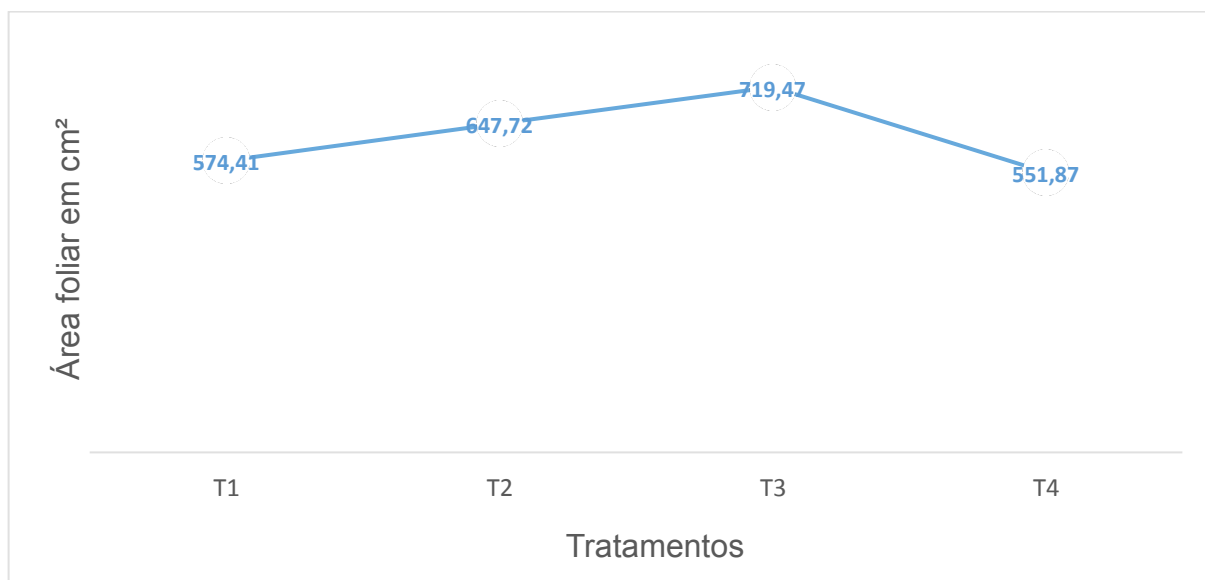
Não houve diferenças significativas no aumento de concentração de ferro na massa seca da parte aérea e raiz, apesar de não podermos afirmar que diminuiu a absorção de ferro, estudos comprovam que a quantidade adequada de outros nutrientes pode afetar a absorção dos demais.

No entanto, é importante ressaltar que a biofortificação de ferro é benéfica para o acúmulo de ferro nas folhas, como demonstrado por Yuan *et al.* (2017), que encontraram um aumento significativo no teor de ferro nas folhas sem afetar a produção de massa seca. Assim, embora não tenha havido um efeito significativo na massa seca, a biofortificação de ferro pode ainda estar contribuindo para melhorar a qualidade nutricional da planta como um todo.

De acordo com a Figura 10 a área foliar e massa fresca são semelhantes entre os diferentes tratamentos, indicando que o tratamento T3 (5,4 g.1000L⁻¹) continua sendo o mais eficaz para aumentar o acúmulo de fitomassa fresca. Isso ocorre porque a área foliar é um fator importante na produção de carboidratos por meio da fotossíntese, o que por sua vez leva a um maior acúmulo de biomassa fresca. Esses resultados estão em linha com os achados por Taiz e Zeiger (2013), que destacaram a importância da área foliar na produtividade das plantas.

Figueiredo *et al.* (2010) observaram que o aumento da biomassa fresca pode levar a diminuição na área foliar, pois há um equilíbrio entre produção de biomassa e a capacidade de absorção de luz pela planta. Considerando a biofortificação de ferro, os resultados indicam que o tratamento pode levar a um aumento na produtividade, uma que apresentou maior área foliar e uma maior massa fresca da parte aérea. Esse aumento na produtividade pode ser explicado por vários fatores, como o aumento do número de folhas na planta, altura da planta, comprimento da folha ou maior capacidade de absorção de água e nutrientes pela planta, podendo ser uma estratégia promissora para aumentar a produtividade das plantas e melhorar a qualidade nutricional (AJWA *et al.*, 2008).

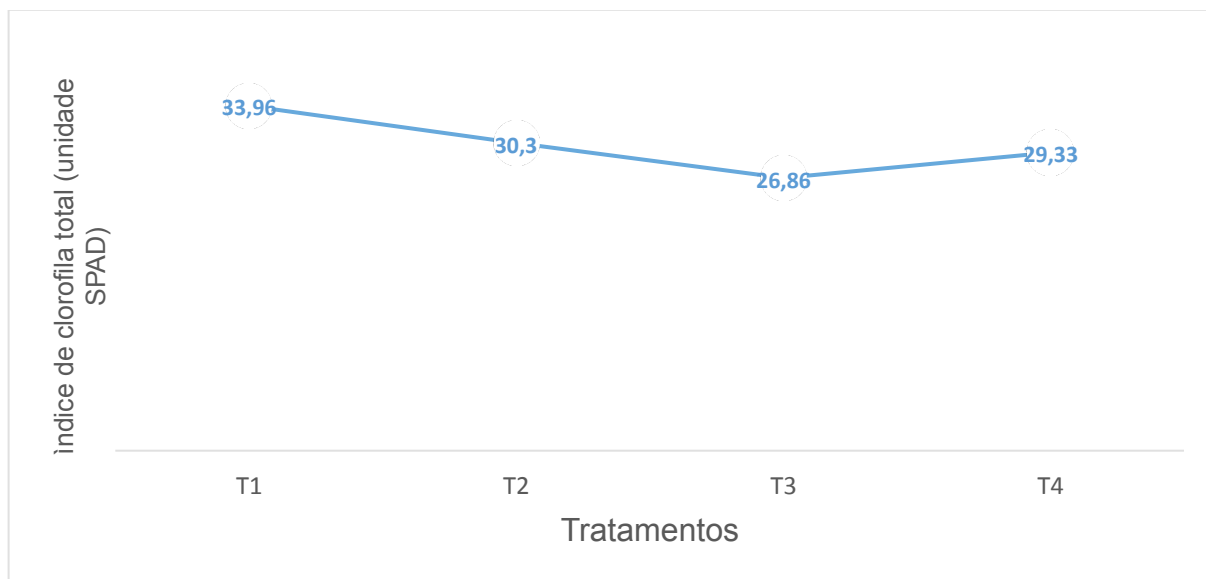
Figura 10. Linhas estimadas, para cada tratamento e seu valor de área foliar após colheita da rúcula baby leaf - verão.



Tratamentos: T1: 1,8 g.1000L⁻¹; T2: 3,6 g.1000L⁻¹, T3: 5,4 g.1000L⁻¹, T4: 7,2 g.1000L⁻¹.

No entanto, quando se trata dos índices de clorofila nas folhas grandes não houve diferença significativa entre os tratamentos. Isso pode ser atribuído à semelhança dos raios iônicos do zinco e do ferro, o que sugere que o aumento da concentração de um pode ter efeito regulatório sobre o outro. Já para o índice de clorofila nas folhas pequenas (Figura 11), o melhor tratamento foi o Tratamento 1 (1,8 g.1000L⁻¹), este resultado pode ter ocorrido pelo fato da baixa mobilidade de ferro. Portanto, em termos de aumento dos índices, a biofortificação não foi benéfica. Este mesmo resultado foi observado por Misra e Ramani (1993) em *Mentha arvensis*, que foi cultivada em solução nutritiva com diferentes doses de zinco. Além disso, é importante mencionar o estudo de Jucoski *et al.* (2016), que observaram que os sintomas típicos de toxicidade de ferro só começaram a ocorrer após o 15º dia de tratamento.

Figura 11. Curva do índice de clorofila nas folhas pequenas da rúcula *baby leaf* - verão.



Tratamentos: T1: 1,8 g.1000L⁻¹; T2: 3,6 g.1000L⁻¹; T3: 5,4 g.1000L⁻¹; T4: 7,2 g.1000L⁻¹.

A biofortificação com ferro durante o verão, mostrou-se benéfica para a rúcula, tanto do ponto de vista do produtor quanto do consumidor. Ao aumentar a dose de ferro, observou-se um aumento na produtividade em termos de quilo por metro quadrado, o que beneficia o produtor, além de apresentar um produto com mais folhas ou com folhas maiores, agregando valor ao seu produto. Isso é importante, especialmente em culturas de alto valor agregado, como a rúcula, onde pequenas melhorias na qualidade podem gerar grandes diferenças no preço final. Para o consumidor final, a biofortificação com ferro pode ser benéfica porque a absorção de ferro pode aumentar ao consumir as folhas de rúcula biofortificadas, além, de maior qualidade nutricional, contribuindo para a saúde e bem-estar do consumidor.

5.2 Rúcula – inverno

Para os resultados para os atributos estudados na rúcula no inverno (Tabela 4), a massa fresca da parte aérea teve como melhor tratamento o T3 (5,4 g.1000L⁻¹) com 40,37 g, seguido do tratamento T2 (3,6 g.1000L⁻¹) e T1 (1,8 g.1000L⁻¹), beneficiando o produtor e o consumidor final, já que provavelmente, ocorreu maior acúmulo de ferro na parte aérea das folhas, agregando valor ao produtor, ao consumidor, a maior ingestão do ferro. Este parâmetro também teve resultados parecidos com o de Gioia (2019), no qual, os valores intermediários apresentaram valores superiores à concentração máxima de ferro no *microgreens* de rúcula, como fica evidenciado na Figura 12, podemos explicar que o melhor desempenho e aumento de massa fresca foi diretamente influenciado pela biofortificação, pois quanto maior a quantidade de ferro disponível para a planta, maior é a produção de clorofila e consequentemente eleva a taxa de fotossíntese, aumentando assim a massa fresca da parte aérea (DAI *et al.*, 2019).

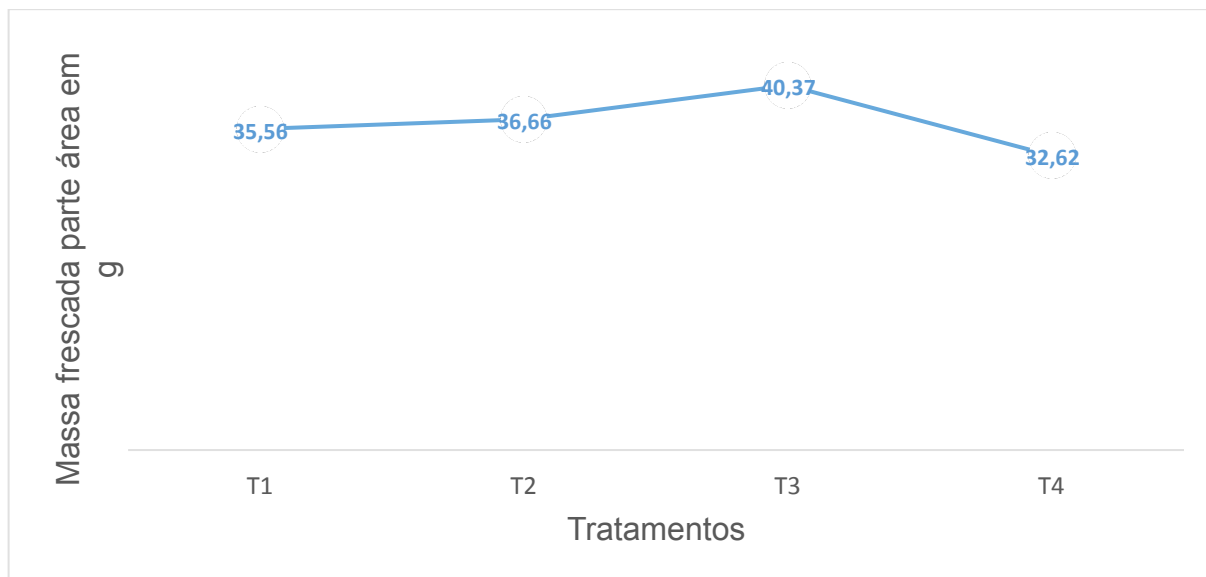
Tabela 4. Resultados da análise de variância para índice de clorofila das folhas pequenas e grandes, área foliar, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa fresca da raiz e massa seca da raiz da rúcula baby leaf - inverno.

Rúcula <i>baby leaf</i> - Inverno							
Tratamentos	Índice de clorofila (pequena)	Índice de clorofila (grande)	Área foliar	Massa fresca da parte aérea	Massa seca parte aérea	Massa fresca da raiz	Massa seca da raiz
T1	34,43 a	33,26 b	555,22 a	35,56 ab	3,61 b	7,08 ab	0,72 a
T2	31,41 ab	33,83 b	645,22 a	36,66 ab	4,52 a	6,08 b	0,70 a
T3	30,76 b	43,53 a	696,26 a	40,37 a	4,11 a	7,79 a	0,78 a
T4	28,93 b	41,83 a	550,37 a	32,62 b	3,53b	6,82 ab	0,73 a
CV%	4,95	7,7	11,41	6,9	5,58	11,71	9,56

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tratamentos: T1: 1,8 g.1000L⁻¹; T2: 3,6 g.1000L⁻¹, T3: 5,4 g.1000L⁻¹, T4: 7,2 g.1000L⁻¹.

Figura 12. Linhas referentes ao aumento de concentração por resultado obtido para massa fresca da parte aérea da rúcula *baby leaf* - inverno.

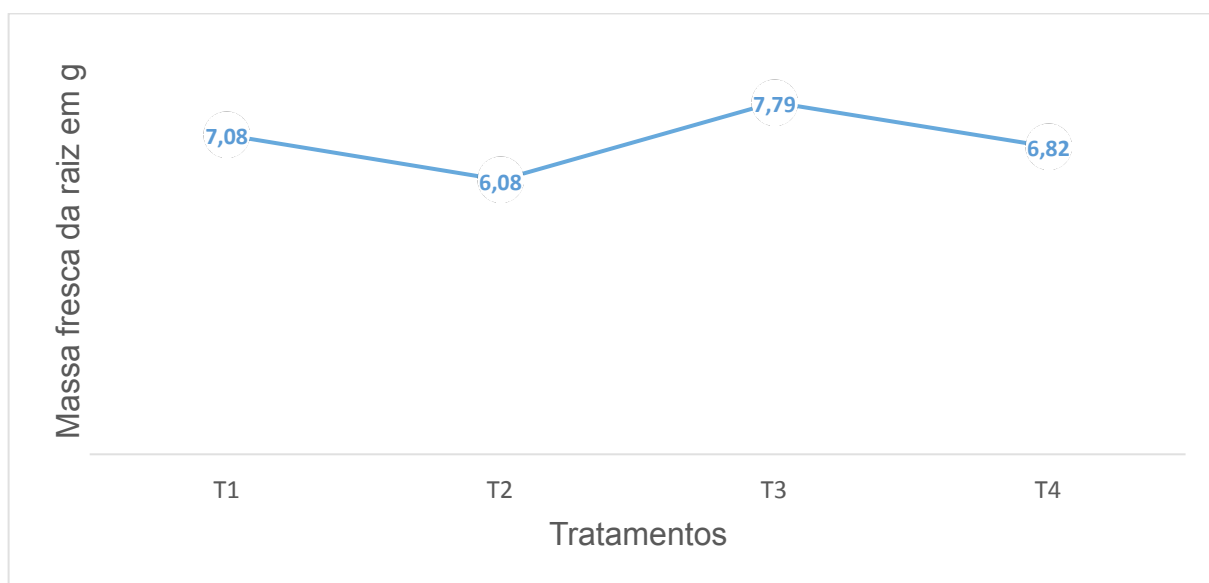


Tratamentos: T1: 1,8 g.1000L⁻¹; T2: 3,6 g.1000L⁻¹, T3: 5,4 g.1000L⁻¹, T4: 7,2 g.1000L⁻¹.

Na Figura 13, verificou-se que a massa fresca da raiz obteve, entre todos os tratamentos, o melhor resultado de 7,79 g utilizando a concentração de 5,4 g.1000L⁻¹ (T3), esta análise demonstra o benefício da biofortificação com ferro, especialmente na concentração ideal, esse benefício ocorre, pois, o micronutriente ferro, está diretamente relacionado a hormônios de crescimento, na regulação do desenvolvimento radicular e nas enzimas (LIANG *et al.*, 2018). Com o aumento do volume da raiz, a absorção de nutrientes é favorecida, resultando em maior massa fresca da parte aérea da planta. De acordo com AJWA *et al.* (2008) a dose recomendada de ferro na solução nutritiva para o cultivo de rúcula hidropônica é de 2-4 g por 1000L. Entretanto, neste trabalho, foi encontrado o valor de 5,4 g como sendo o ideal para a cultura. Apesar disso, é possível que a ausência de diferença significativa entre os tratamentos 1 (1,8 g) e tratamento 4 (7,2 g) se deva ao fato de o T1 não ter atingido o valor ideal de ferro, enquanto o T4 pode ter atingido um nível tóxico para o desenvolvimento radicular, restando este mineral para no sistema radicular (SIQUEIRA-SILVA *et al.*, 2012). Neste sentido, os resultados do tratamento 4 estão em consonância com os achados de Stein *et al.* (2008), que sugere que a

retenção do ferro no sistema radicular pode ser um mecanismo de defesa da planta para níveis tóxicos.

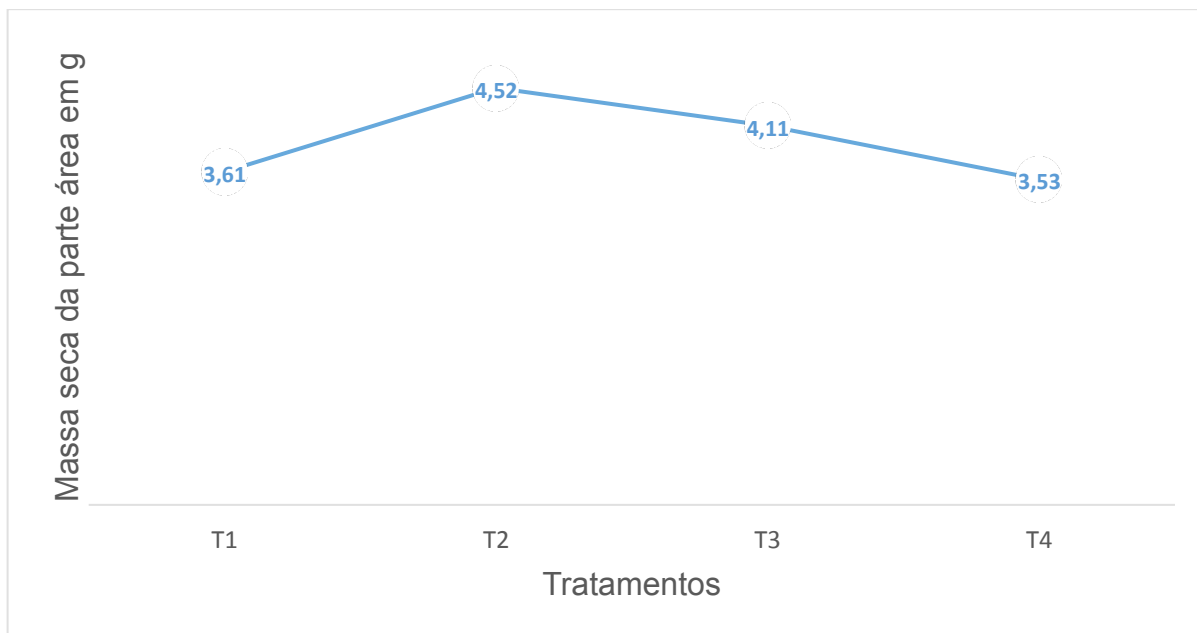
Figura 13. Linhas referentes ao aumento de concentração por resultado obtido na massa fresca da raiz da rúcula baby leaf - inverno.



Tratamentos: T1: 1,8 g.1000L⁻¹; T2: 3,6 g.1000L⁻¹, T3: 5,4 g.1000L⁻¹, T4: 7,2 g.1000L⁻¹.

A avaliação da massa seca da parte aérea (Figura 14) mostrou que os tratamentos T2 (3,6 g.1000L⁻¹) e T3 (5,4 g.1000L⁻¹) resultaram nas maiores quantidades de biomassa seca, com valores de 4,52 g e 4,11 g, respectivamente. Esses resultados indicam que ocorreu maior concentração de ferro, minerais, lipídios e proteínas nas folhas, tornando-se um alimento nutritivo. Portanto a biofortificação foi alcançada com excelência, corroborando com o estudo de Gioia (2019), que relatou menores massas secas nas concentrações mais baixas de ferro. Em relação a massa seca das raízes, não foram observadas diferenças significativas. No entanto, é importante salientar que as concentrações utilizadas tenham afetado principalmente a parte aérea da planta, em se tratando de rúcula, a parte comestível.

Figura 14. Linhas referentes ao aumento de concentração por resultado obtido na massa seca da raiz da rúcula baby leaf - inverno.

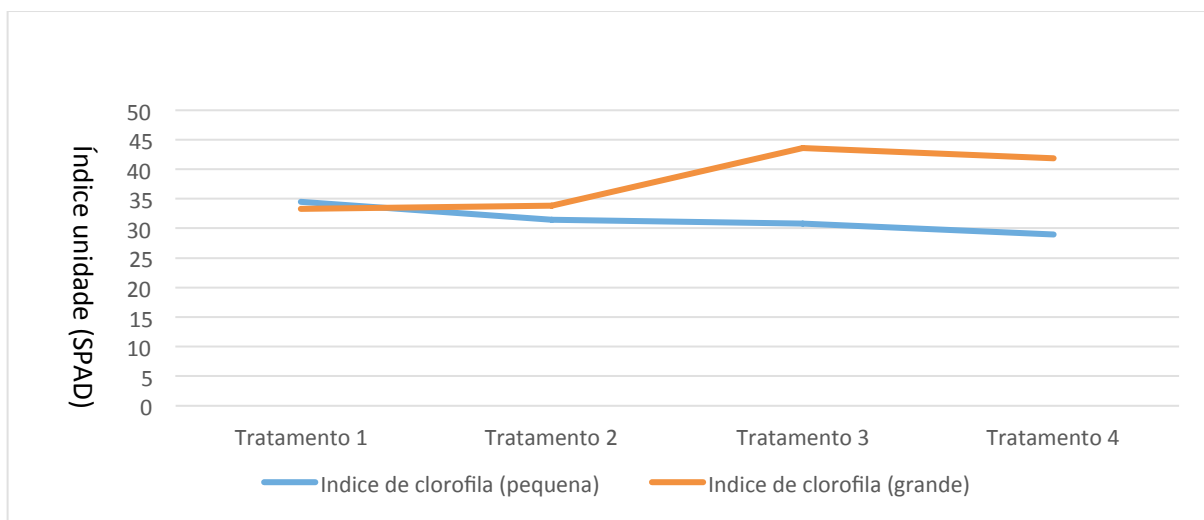


Tratamentos: T1: 1,8 g.1000L⁻¹; T2: 3,6 g.1000L⁻¹, T3: 5,4 g.1000L⁻¹, T4: 7,2 g.1000L⁻¹.

Embora não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas na área foliar, entre os tratamentos, os tratamentos T3 (5,4 g.1000L⁻¹) e T2 (3,6 g.1000L⁻¹) apresentaram os melhores resultados. É importante ressaltar que o baixo nível de luminosidade, a temperatura e o pH da solução podem ter influenciado na ausência de diferenças significativas.

A diferença observada no comportamento dos índices de clorofila (Figura 15) entra as folhas pequenas e grandes pode estar relacionada à capacidade de absorção de nutrientes de cada uma dessas folas. De acordo com estudos, folhas maiores geralmente apresentam maior área foliar e consequentemente, maior capacidade de absorção de nutrientes do que as folhas menores (MARSCHNER, 2012). Isso pode explicar por que a maior concentração de ferro resultou em um índice de clorofila mais elevado nas folhas maiores.

Figura 15. Curvas estimadas para os índices de clorofila por tratamento das rúculas no inverno.



Tratamentos: T1: 1,8 g.1000L⁻¹; T2: 3,6 g.1000L⁻¹, T3: 5,4 g.1000L⁻¹, T4: 7,2 g.1000L⁻¹.

A biofortificação da rúcula com ferro durante o inverno revelou-se benéfica tanto para o produtor quanto para o consumidor. Os resultados indicaram um aumento significativo na massa fresca e seca da parte aérea da planta, conforme o aumento das doses de ferro especialmente no tratamento T3 (5,4 g.1000L⁻¹). Isso é de suma importância, uma vez que uma maior produtividade pode ser alcançada pelo produtor e uma maior disponibilidade de ferro, proteínas e minerais pode ser obtida pelo consumidor.

5.3 Comparação dos resultados das rúculas produzidas no verão e inverno

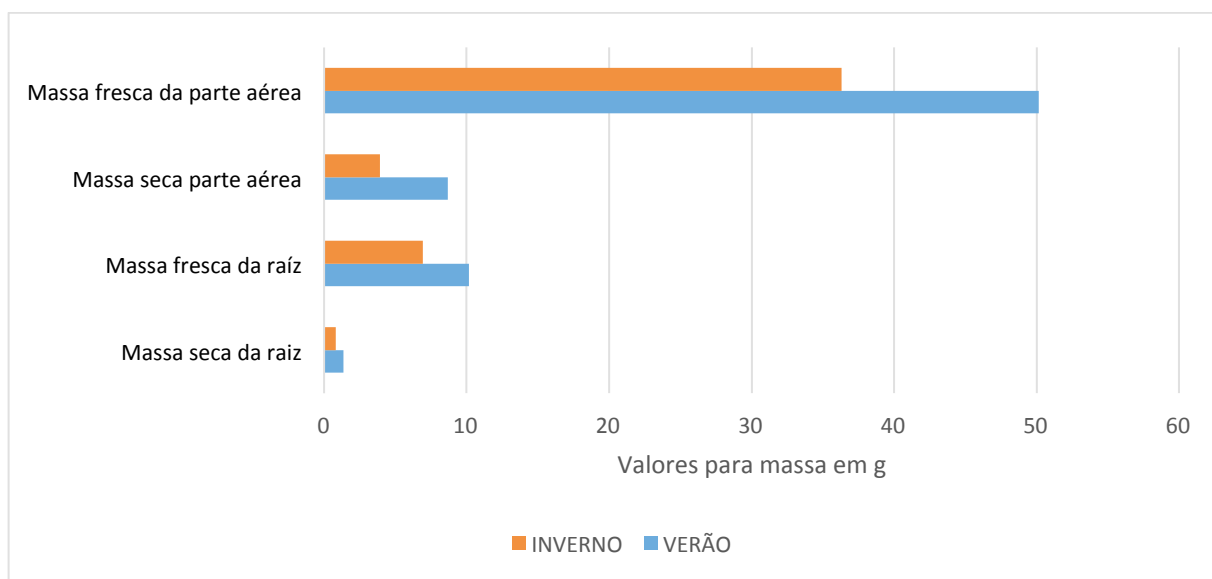
Com os resultados obtidos, demonstrados na Tabela 5 e exemplificados na Figura 16, apresentará os resultados obtidos, como massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da raiz.

Tabela 5. Resultados da análise de variância para índice de clorofila das folhas pequenas e grandes, área foliar, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa fresca da raiz e massa seca da raiz, comparando diferentes estações do ano de rúcula *baby leaf*.

Rúcula <i>baby leaf</i> verão x inverno							
Cultivo	Índice de clorofila (pequena)	Índice de clorofila (grande)	Área foliar	Massa fresca da parte aérea	Massa seca parte aérea	Massa fresca da raiz	Massa seca da raiz
Verão	30,11 a	38,04 a	623,36 a	50,13 a	8,69 a	10,15 a	1,36 a
Inverno	31,38 a	38,11 a	611,71 a	36,30 b	3,94 b	6,94 b	0,81 b
CV%	8,57	12,33	11,93	6,53	5,82	10,49	9,45

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

Figura 16. Comparação entre os principais parâmetros e as estações verão e inverno da rúcula *baby leaf*.



Os resultados obtidos para a massa fresca da parte aérea demonstram que a biofortificação foi mais eficiente no verão, apresentando um valor de 50,13 g, enquanto no inverno o valor foi de apenas 36,30 g. Esse resultado pode ser explicado pela combinação de fatores climáticos, como temperatura mais elevadas e maior número de horas de luz solar, que favoreceram a absorção e utilização do ferro pela planta. No entanto, mesmo no inverno, a técnica de biofortificação ainda foi viável, uma vez que ocorreu um incremento de ferro na planta, ainda que em valores inferiores. Esses resultados corroboram com estudos anteriores, como o de Gonçalves-Trevisoli *et al.* (2008), que também observaram uma maior massa fresca no verão devido às elevadas temperaturas. Ressalta-se, no entanto, que a eficiência da biofortificação pode variar de acordo com a variedade e espécie de planta, bem como as condições climáticas, o que deve ser considerado em estudos futuros.

A análise da massa seca da parte aérea revelou um valor de 8,69 g para o verão, o que representa um aumento de aproximadamente 2,2 vezes em relação ao inverno. Esse resultado evidencia a presença de maior quantidade de proteínas, minerais e vitaminas, incluindo o ferro proveniente da biofortificação. Tais resultados corroboram com Abade (2021), que também observou uma maior massa seca da parte aérea em decorrência da maior intensidade de luz, favorecendo a atividade fotossintética e, conseqüentemente, a produção de fotoassimilados.

Os resultados obtidos para os parâmetros das raízes fresca e seca apresentaram diferença significativa entre as estações, com melhor desempenho no verão. Isso pode ser atribuído à maior disponibilidade de ferro proporcionada pela biofortificação, bem como à maior intensidade de radiação nessa estação, o que pode ter aumentado a taxa de fotossíntese e, conseqüentemente, afetado diretamente a massa fresca e seca da raiz. Essa maior absorção de nutrientes pode contribuir para reduzir os riscos de problemas nutricionais relacionados à deficiência de ferro. Esses resultados diferem de estudos anteriores, como o de Silva *et al.* (2022), que testaram diferentes rendimentos de fitomassa da rúcula em diferentes ambientes, e o de Souza *et al.* (2011), que avaliaram o cultivo de plantas de alfavaca sob malhas de sombreamento.

A análise da área foliar da rúcula biofortificada não apresentou diferenças estatística entre as amostras colhidas no verão e no inverno. Essa falta de diferença

pode ter sido influenciada pelo curto período de cultivo e pela colheita em estágio de *baby leaf*. Estudos de Freitas *et al.* (2009) mostram que a rúcula tem um melhor desenvolvimento em temperaturas acima de 22,8 °C, o que pode explicar o aumento da área foliar no verão em plantas adultas submetidas à biofortificação.

Não houve diferenças significativas nos índices de clorofila, tanto a pequena quanto a grande. De acordo com Filgueira (2013), a temperatura e a luz são fatores limitantes para o cultivo em algumas épocas e locais do ano, visto que existem cultivares mais adaptadas para cada faixa de temperatura. O processo de fotossíntese é limitado por temperaturas do ar muito baixas ou acima de 30 °C, o que pode ter afetado ambos os períodos avaliados. Embora a disponibilidade de ferro na biofortificação possa aumentar a produção, outros fatores como a temperatura e a intensidade luminosa também devem ser considerados, como descrito por diversos estudos na área.

Com base nos resultados obtidos, verificou-se que a biofortificação foi mais adequada no verão, uma vez que os principais parâmetros observados, como a massa fresca e seca da parte aérea, foram superiores. Segundo Costa e Gomes (2022), a folha de alface crespa obteve um aumento de 16 vezes no valor referente à Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TABELA..., 2011) e Nascimento (2018) obteve resultados positivos utilizando a biofortificação com o micronutriente selênio em rúcula hidropônica. Isso significa que o consumidor pode ingerir menos massa fresca e ingerir uma quantidade maior de ferro, diminuindo assim a deficiência de ferro na população, como observado nos estudos de Saha *et al.* (2017), que observaram os teores de zinco no arroz cozido, contribuindo para a recomendação de ingestão diária.

No entanto, pode haver discussões sobre o aumento de custo, já que o micronutriente ferro apresenta um custo elevado. Apesar disso, a maior produtividade em quilos por m² e o maior valor agregado para o produtor podem compensar esse aumento. Além disso, estudos comprovam que o consumidor utiliza a cor como um aspecto na escolha do produto, portanto, quanto maior o índice de clorofila, como foi encontrado neste estudo utilizando o tratamento T3 (5,4 g.1000L⁻¹) em ambas as estações, a coloração se torna mais agradável para a escolha,

corroborando com isso, segundo Henz e Mattos (2008), as hortaliças mais verdes e brilhantes são recomendadas para o consumo pelos profissionais devido ao maior valor nutricional.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados da biofortificação da rúcula no verão e inverno, pode-se concluir que a concentração ideal para essa prática é de $5,4 \text{ g.1000L}^{-1}$ (Tratamento 3). Esse tratamento apresentou melhoria significativas na maioria dos parâmetros.

Quando comparado as estações de cultivo, verificou-se diferença favorável ao verão, isto provavelmente, deve ter ocorrido devido as baixas temperaturas no inverno, todos os parâmetros de massa foram favoráveis ao verão.

Assim sendo, a biofortificação de ferro na rúcula traz benefícios para toda a cadeia produtiva. O produtor pode obter características agronômicas e instrumentais melhores, tais como cor e características nutricionais, o que aumenta o valor agregado do produto, mesmo com aumento de custo. Por sua vez o consumidor pode desfrutar de um alimento mais nutritivo com menor quantidade de massa fresca de rúcula, o que representa uma melhoria na qualidade de vida. A biofortificação de ferro na rúcula é uma estratégia promissora para capitalizar o agricultor, melhorar a produção e a saúde humana.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADE, M. T. R. **Crescimento e desempenho agronômico de cultivares de rúcula sob pleno sol e sombreamento**. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021.

ABREU JÚNIOR, H. **Práticas alternativas de controle de pragas e doenças na agricultura**: coletânea de receitas. Campinas: EMOPI, 1998. 112 p.

ADAMSKI, J. M.; PETERS, J. A.; DANIELOSKI, R.; BACARIN, M. A. Excess ironinduced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato. **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v. 168, n. 17, p. 2056-2062, 2011.

AGRISTAR. **Semente de rúcula roka**. Santo Antônio de Posse, 2019. Disponível em: <https://agristar.com.br/topseed-premium/rucula/roka/3638//>. Acesso em: 4 jan. 2020.

AJWA, H. A.; SHANER, D. L.; HASSAN, A. E.; ROOKER, J. R. Effect of iron chelate sources on iron concentration, growth, and yield of hydroponically grown arugula. **HortTechnology**, Alexandria, v. 18, n. 3, p. 445-449, 2008.

ALEMAN, C.; SAAB, N.; MOREIRA, A.; MARQUES, P. Cultivo de alface irrigada sob diferentes coberturas de solo. *In*: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2., 2017, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Inovagri, 2014. p.2732- 2736.

AUDEBERT, A.; FOFANA, M. Rice yield gap due to iron toxicity in West Africa. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Weinheim, v. 195, p. 66-76, 2009.

ÁVILA, F. W.; YANG, Y.; FAQUIN, V.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L. R. G.; THANNHAUSER, T. W.; LI, L. Impact of selenium supply on se-methylselenocysteine and glucosinolate accumulation in seleniumbiofortified Brassica sprouts. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 165, p. 578-586, 2014.

BELL, L.; LIGNOU, S.; WAGSTAFF, C. High glucosinolate content in rocket leaves (*Diplotaxis tenuifolia* and *Eruca sativa*) after multiple harvests is associated with increased bitterness, pungency, and reduced consumer liking. **Foods**, Basel, v. 9, n. 12, p. 1799, 2020.

CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Increase in membrane permeability and exudation in roots of zinc deficient plants. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 132, n. 3, p. 356-361, 1988.

CARDOSO, A. I. I.; LIMA, G. P. P.; SANTOS, A. P. P.; FONTES, R. L. F. Biofortificação de rúcula hidropônica com selênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 29, n. 4, p. 520-524, 2011.

CARVALHO, S. M.; VASCONCELOS, M. W. Producing more with less: strategies and novel technologies for plant-based food biofortification. **Food Research International**, Oxford, v. 53, n. 1, p. 961-971, 2013.

CORRÊA, R. C. G.; OLIVEIRA, M. C. N. de; SANTOS, C. M. dos; PRADO, R. M.; BARBOSA, J. G. Cultivo hidropônico de rúcula. **Revista Brasileira de Agrociência Seropédica**, v.18, n. 1-4, p. 51-55, 2012.

COSTA, A. G.; CHAGAS, J. H.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V. Crescimento vegetativo e produção de óleo essencial de hortelã-pimenta cultivada sob malhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 47, n. 4, p. 534-540, 2012.

COSTA, L. C. A.; GOMES, R. L. **Especiação química de ferro em alface (Lactuca sativa L.) biofortificada: cultivo por hidroponia**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Inhumas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/1097/1/TCC%20Pronto%20coordena%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2021.

COSTA, N.S.; SOARES, L. A. B. A produção de hortaliças baby como alternativa para agricultura familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [S.l.], v.11, n. 3, p. 159-167, 2016.

DAI, Y.; ZHANG, X.; WANG, S.; JIN, Z.; HE, X.; ZHANG, H.; WANG, J.; TANG, J. Biofortification of Brassica campestris L. with iron nanoparticles synthesized by Arthrobacter sp. strain L47. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Nova Iorque, v. 183, p. 109490, 2019.

EGÍDIO, N. B.; LEVY, B. P. As técnicas de hidroponia. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, [S.l.], v. 8, p. 107-137, 2013.

FIGUEIREDO, R. T.; GUISCHEM, J. M.; CHAVES, A. M. S.; AGUIAR JUNIOR, R. A.; SILVA, A. G. P.; PAIVA, J. B. P.; SANTOS, F. N. Relação entre a área foliar, número de folhas e biomassa seca e fresca da planta de rúcula. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 28, p. 913-918, 2010.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa-MG: UFV, 2013. 421 p.

FREITAS, K. K. C.de; BEZERRA NETO, F.; GRANJEIRO, L. da. C.; LIMA, J. S. S.de; MOURA, K. H. S. Desempenho agrônômico de rúcula sob diferentes espaçamentos e épocas de plantio. **Revista Ciência Agrônômica**, [S.l.], v. 40, n. 3, p. 449-454, 2009.

FURLANI, P. R. **Instruções para cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1998. 30 p.

GENUNCIO, G. C.; SILVA, R. A. C.; SÁ, N. M.; MARY, W.; ZONTA, E. Produtividade de rúcula hidropônica cultivada em diferentes épocas e vazões de solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, Brasília- DF, v. 29, n. 4, p. 605-608, 2011.

GIOIA, F. D. Zinc and iron agronomic biofortification of brassicaceae microgreens. **Agronomy**, [S.l.], v. 9, n. 677, p. 1-20, 2019.

GONÇALVES-TREVISOLI, E. D. V.; MENDONÇA, H. F. C.; DILDEY, O. D. F.; DARTORA, J.; RISSATO, B. B.; COLTRO-RONCATO, S.; KLOSOWSKI, E. S.; HENZ, G. P.; MATTOS, L. M. **Comunicado Técnico**: Manuseio pós colheita de rúcula. Brasília- DF: Embrapa Hortaliças, 2008.7p.

HAWRYLAK-NOWAK, B. Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. **Plant Growth Regulation**, Amsterdam, v. 70, n. 2, p. 149-157, 2013.

HENZ, G. P.; MATTOS, L. M. **Manuseio pós-colheita de rúcula**. Brasília-DF: Embrapa Hortaliças, 2008. 7 p.

HERNÁNDEZ, L. F. **Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) y lechuga cressa (*Lactuca sativa*)**. 2017. Tese (Mestre em Engenharia de Automação Industrial) - Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2017.

ISLA SEMENTES. **Hidroponia**: todos. Porto Alegre. Disponível em: <https://www.isla.com.br/produtos/categorias/Hidroponia/1/93>. Acesso em: 5 jan. 2020.

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**, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 78-82, 2017.

JUCOSKI, G. O.; CAMBRAIA, J.; RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, J. A. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 4, p. 720-728, 2016.

LIANG, Y.; CHEN.; LIU, Q.; ZHANG, W.; DING, W. Exogenous application of iron enhances the formation of lateral roots and adventitious roots and induces the expression of iron-acquisition genes in *malus hupehensis*. **Journal of plant nutrition and soil science**, [S.l.], v. 181, p. 857-865, 2018.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, P. Mineral nutrient absorption and transport in plants: The implications of plasma membrane location for mineral nutrition. **Plant Physiology**, [S.l.], v. 164, n. 2, p. 223-236, 2012.

MISRA, A.; RAMANI, S. Iron deficiency response in relation to iron uptake in two cultivars and a local strain of *Mentha arvensis*. *Biologia Plantarum*, Prague, v. 34, p. 445-449, 1993.

NASCIMENTO, C. S. **Biofortificação agrônômica da rúcula com selênio em sistema hidropônico**. 2018. 30f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/153604/nascimento_cs_me_jabo.pdf;jsessionid=785F5D98CD7263DC67A164F453DD43E2?sequence=3. Acesso em: 17 jan. 2022.

NUTI, M.R. **Biofortificação no Brasil: desenvolvendo produtos agrícolas mais nutritivos**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/204155/biofortificacao-no-brasil---desenvolvendo-produtos-agricolas-mais-nutritivos---fase-ii. Acesso em: 27 jan.2022.

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, p. 538-551, 2018.

PURQUERIO, L. F. V.; BAQUEIRO, L. H. R.; SANCHES, J.; TIVELLI, S. W.; CIA, P. Produção de *baby leaf* de alface Elisa em diferentes volumes de células. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 28, n. 2, 2010.

PURQUERIO, L. F. V.; DEMANT, L. A. R.; GOTO, R.; VILLAS BOAS, R. L. Efeito da adubação nitrogenada de cobertura e do espaçamento sobre a produção de rúcula. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 25, n. 3, p. 464-470, 2007.

PURQUERIO, L. F. V.; MELLO, P. C. T. Hortaliças pequenas e saborosas. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 29, n. 1, p. 1-1, 2011.

PURQUERIO, L. F. V.; TIVELLI, S. W. O mercado de rúcula. **Revista Campo e Negócios Hortifruti**, [S.l.] v.5, n. 55, p.84-85, 2010.

REIS, A. R.; MORAES, M.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L. R. G. Agronomic biofortification of upland rice with selenium to improve human health. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, [S.l.], v. 27S1, p. 42-42, 2013.

RESH, H. M. **Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower**. 7th. ed. Califórnia: Woodbridge, 2012. 567 p.

RODRIGUES, L. M. **Producción hidropônica de rúcula (eruca sativa)**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Nacional de Misiones, Argentina, 2018.

RODRIGUES, P. **Hortalças em revista: cores e sabores, a importância nutricional das hortalças**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p.16

SABIO, P. R.; VENTURA M. B.; CAMPOLI, S. S. Mini e “baby” frutas e hortalças. **Hortifruti Brasil**, São Paulo, v. 11, n. 120, p. 8, 2013.

SAHA, S.; CHAKRABORTYB, M.; PADHANB, D.; SAHAC, B.; MURMUB, S.; BATASYALB, K.; SETHD, A.; HAZRAB, G. C.; MANDALB, B.; BELLE, R. W. Agronomic biofortification of zinc in rice: influence of cultivars and zinc application methods on grain yield and zinc bioavailability. **Field Crops Research**, [S.l.], v. 210, p. 52-60, 2017.

SAHRAWAT, K. L. Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. **Journal Plant Nutrition**, Nova Iorque, v. 27, p. 1471-1504, 2004

SAKATA. **Astro: precocidade e vigor desde o início**. Bragança Paulista, 2018. Disponível em: <https://www.sakata.com.br/hortalicas/macarias/rucula/astro>. Acesso em: 4 de jan. de 2020.

SALA, F. C.; ROSSI, F.; FABRI, E. G.; RONDINO, E.; MINAMI, K.; COSTA, C. P. Caracterização varietal de rúcula. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 44., 2004, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: Associação Brasileira de Olericultura, 2004. Suplemento. 1 CD-ROM.

SILVA, L.; SOUZA, G.; SANTOS, A.; BRAULIO, C.; BRITO, G.; OLIVEIRA, A.; MACHADO, J.; SOUZA, E. Rendimento de fitomassa da rúcula em diferentes ambientes de luz e substratos orgânicos. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 11, n. 8, 2022.

SIQUEIRA-SILVA, A. I.; DA SILVA, L. C.; AZEVEDO, A. A.; OLIVA, M. A. Iron plaque formation and morphoanatomy of roots from species of resting subjected to excess iron. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S.l.], v. 78, p. 265-275, 2012.

SOUZA, G. S. de; SILVA, J. dos S; OLIVEIRA, C. U. de; LIMA, C. J. do. Crescimento e produção de pigmentos fotossintéticos em alfavaca cultivada sob malhas coloridas e adubação fosfatada. **Enciclopédia Biosfera**, [S.l.], v. 7, n. 13, p. 296-306, 2011.

STEIN, R. R. J.; DUARTE, G. L.; SPOHR, M. G.; LOPES, S. I. G.; FETT, J. P. Distinct physiological responses subjected to iron toxicity under field conditions. **Annals of Applied Biology**, [S.l.], v. 154, p. 269-277, 2008.

TABELA Brasileira de Composição de Alimentos (TACO). 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA – UNICAMP, 2011. 161 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TABELA de Composição Química dos Alimentos. São Paulo: UNIFESP, 2021. Disponível em: <https://tabnut.dis.epm.br/alimento/11959/rucula-crua>>. Acesso em: 21 fev 2022.

VASCONCELOS, R. L.; FREITAS, M. P. N; BRUNINI, M. A. Características físico-químicas da rúcula cv. Cultivada produzida no sistema convencional e no *baby leaf*. **Nucleus**, Iturevava, v. 8, n. 2, 2011.

WHITE, P. J.; BROADLEY, R. M. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets: iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, Cambridge, v. 182, n. 1, p. 49-84, fev. 2009. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x>. Acesso em: 26 mar. 2023.

YUAN, S.; LIU, L.; CHEN, M.; YANG, X.; ZHANG, Z.; WANG, H. Biofortification of Brassica napus L. and Brassica rapa L. with iron enhanced rock poder and its effects on selected antioxidante properties. **Journal of Agricultura and Food Chemistry**, Washington, v. 65, n. 37, p. 8160-8167, 2017.

ZAMBRANO, M. A. C. **Estudio comparativo de tres genotipos de lechuga (Lactuca sativaL.) cultivadas en tres sistemas de producción hidropónica**. 2014. Tesis (Grado en Ingenieria Agronómica) - Facultad de Ciencias Agrarias, Universidade de Guayaquil, Guayaquil, 2014.