



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PRODUÇÃO VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS**

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE RÚCULA (*Eruca sativa* Miller.) COM
FERRO EM CULTIVO HIDROPÔNICO**

Eng. Agr. GUILHERME JOSÉ CECCHERINI

**Araras
2022**

Guilherme José, Ceccherini

Biofortificação agronômica de rúcula (*Eruca sativa* Miller.) com ferro em cultivo hidropônico / Ceccherini Guilherme José -- 2022.
68f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras
Orientador (a): Fernando César Sala
Banca Examinadora: Marta Regina Verruma Bernardi, Simone da Costa Mello
Bibliografia

1. Biofortificação. 2. Ferro. 3. Hidroponia. I. Guilherme José, Ceccherini. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083

Este documento somente será válido:

- a) com a assinatura única e exclusiva do aluno (assinaturas de terceiros não serão aceitas)
- b) a partir das defesas realizadas em 01/11/2014
- c) se gerado a partir do ProPGWeb



2ª Via - Secretaria

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias

Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Guilherme José Ceccherini, realizada em 27/05/2022.

Guilherme J. Ceccherini

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Fernando César Sala (UFSCar)

Profa. Dra. Marta Regina Verruma Bernardi (UFSCar)

Profa. Dra. Simone da Costa Mello (ESALQ/USP)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PRODUÇÃO VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE RÚCULA (*Eruca sativa* Miller.) COM FERRO EM CULTIVO HIDROPÔNICO

Eng. Agr. GUILHERME JOSÉ CECCHERINI

ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO CÉSAR SALA
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. LUIS FELIPE VILLANI PURQUERIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE EM PRODUÇÃO VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS

Araras
2022

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando César Sala, mais que um orientador, um amigo e parceiro, obrigado pelo incentivo, pelas oportunidades e pela contribuição na minha formação profissional ao longo desses anos de parceria.

Ao Dr. Luis Felipe Villani Purquerio, pelas valiosas contribuições e ensinamentos sobre estatística.

Aos colegas Sr. Eduardo, Tiago, Douglas e Vitor, pelo auxílio de companheirismo durante a condução do experimento, onde sem eles não seria possível.

A professora Dr^a Marta Verruma, pelo apoio e auxílio do desenvolvimento e escrita da parte instrumental e sensorial.

Agradeço ao meu novo amigo e produtor hidropônico Koichi, por me ajudar a enxergar “fora da caixinha” os resultados, através de suas analogias.

Aos meus pais e irmão, pelo apoio e compreensão diante essa etapa da minha vida.

A Deus, pelo Seu amor por mim, que é maior do que eu possa imaginar.

SUMÁRIO

Página

ÍNDICE DE TABELAS.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	li
RESUMO.....	lii
ABSTRACT.....	lv
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. OBJETIVOS.....	02
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	03
3.1. Cultura da rúcula.....	03
3.2. Sistema de cultivo hidropônico.....	04
3.3. Biofortificação agronômica com ferro.....	05
3.4. Mineral ferro.....	06
3.5. Quelato de ferro EDDHA.....	07
4. MATERIAIS E MÉTODOS	
4.1. Local do experimento.....	08
4.2. Delineamento experimental.....	08
4.3 Procedimento experimental.....	09
4.4 Análises.....	11
4.5. Análise estatística.....	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5.1. Cultivo de Inverno.....	13
5.1.1 Análises agronômicas.....	13
5.1.2 Análise instrumental.....	22
5.2. Cultivo de verão.....	23
5.2.1. Análises agronômicas.....	23
5.2.2. Análise instrumental.....	30
6. CONCLUSÕES.....	32

7. LITERATURA CITADA.....	33
APÊNDICE.....	44

ÍNDICE DE TABELAS

Página

Tabela 1. Quantidade de sais para o preparo de 1000 L de solução nutritiva para o cultivo de rúcula, para concentração da EC em 2,0 (Siemens/m). 2021.....	11
Tabela 2. Concentrações de ferro na solução nutritiva de cultivo para cada tratamento 2021.....	12
Tabela 3. Análise de variância para diâmetro de maço, altura de planta, comprimento da folha até o pecíolo (CFP) de rúculas das cultivares Astro e Roka submetidas a doses de ferro, aos 25 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.....	16
Tabela 4. Análise de variância para a largura da folha (LF), número de folhas (NF), produtividade (Prod. Kg m ²) e comprimento de raiz (CR cm) de rúcula das cultivares Astro e Roka submetidas a diferentes doses de ferro, aos 25 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.....	17
Tabela 5. Análise de variância para as massas fresca e seca da parte aérea e massa fresca e seca da raiz (g) de rúculas das cultivares Astro e Roka submetidas as doses de ferro, aos 25 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.....	18
Tabela 6 . Análise de variância para as doses de ferro na parte aérea (FePA) e radicular (FeR) de rúculas das cultivares Astro e Roka submetidas as doses de ferro, aos 25 DA em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.....	19
Tabela 7. Médias de largura de folha (LF), massa fresca da raiz (MFR) e ferro na parte aérea (FePA) de rúcula Astro e Roka durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes doses de ferro. UFSCar, Araras (SP). Cultivo de inverno 2021.....	20
Tabela 8. Quantidade de Fe em uma porção de 50 g de massa fresca (MF) de folhas das cultivares de rúcula Astro e Roka na época de inverno, e a	

contribuição desta porção em porcentagem para a recomendação de ingestão diária de Fe. Cultivo de inverno 2021.....26

Tabela 9. Quantidade de Fe em uma porção de 50 g de massa fresca (MF) de folhas das cultivares de rúcula Astro e Roka na época de inverno, e a contribuição desta porção em porcentagem para a recomendação de ingestão diária de Fe. Cultivo de inverno 2021.....28

Tabela 10. Análise de variância para diâmetro de maço, altura de planta, comprimento da folha até o pecíolo e comprimento de folha até a margem da folha (cm) de rúculas das cultivares Astro e Roka submetidas a doses de ferro, aos 20 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de verão 2021.....2

9

Tabela 11. Análise de variância para a largura da folha (LF), número de folhas (NF), produtividade (Prod. Kg m⁻²) e comprimento de raiz (CR (cm) de rúcula das cultivares Astro e Roka submetidas a diferentes doses de ferro, aos 20 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de verão 2021.....3

0

Tabela 12. Análise de variância para as massas fresca e seca da parte aérea e massa fresca e seca da raiz (g) de rúculas das cultivares Astro e Roka submetidas as doses de ferro, aos 20 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de verão 2021.....31

Tabela 13. Análise de variância para as quantidade de ferro na parte aérea (FePA) e radicular (FeR) de rúculas das cultivares Astro e Roka submetidas as doses de ferro, aos 20 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de verão 2021.....3

1

Tabela. 14 Médias das características agrônômicas de diâmetro de maço (Diam.), massa seca da parte aérea (MSPA), número de folhas (NF), produtividade (Prod.), comprimento de raiz (CR) e ferro na parte aérea (FePA) da rúcula Astro e Roka cultivada em sistema hidropônico NFT em função de diferentes doses de ferro, aos 20 dias após transplântio. UFSCar, Araras (SP). Cultivo de verão

2021.....3

5

Tabela 15. Quantidade de Fe em uma porção de 50 g de massa fresca (MFPA) de folhas das cultivares de rúcula Astro e Roka na época de verão, e a contribuição desta porção em porcentagem para a recomendação de ingestão diária de Fe. Cultivo de verão 2021.....36

Tabela 16. Médias dos tratamentos (T1, T2, T3 e T4) para área foliar (A.F.), índice de clorofila total (I.C.T.), cor instrumental (L, a^* e b^*) das rúculas Astro e Roka produzidas em sistema hidropônico-NFT com diferentes doses de ferro. UFSCar, Araras. Cultivo de verão 2021.....38

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Comparativo das variedades Astro (A) (esquerda) e Roka (R) (direita) para os tratamentos T1, T2, T3 e T4.....16

Figura 2. Cultivar Astro (acima) para os tratamentos T1, T2, T3 e T4 e cultivar Roka (abaixo) para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, da esquerda para à direita, respectivamente.....18

Figura 3. Interação das características de massa fresca da parte aérea (A), número de folhas (B) das cultivares de rúcula Astro e Roka submetidas a diferentes doses de ferro aos 25 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.....21

Figura 4. Médias das características de diâmetro de maço (A), altura de maço (B), comprimento de folha até o pecíolo (C), massa seca da parte aérea (D), massa fresca da raiz (E) e comprimento da raiz (F) das cultivares de rúcula Astro e Roka submetidas a diferentes doses de ferro aos 25 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.....23

Figura 5. Médias da produtividade (Prod. (g/m²) (A) e ferro na raiz (FeR (mg/kg) (B) das cultivares de rúcula Astro e Roka submetidas a diferentes doses de ferro em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.....26

Figura 6. Altura de maço (A), largura de folha (B), número de folhas (C) das cultivares de rúcula Astro (—◆—) e Roka (- ■ -) submetidas a diferentes doses de ferro aos 20 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de verão 2021.....33

Figura 7. Média do comprimento de folha até o pecíolo (CFP) (A), massa fresca da raiz (MFR) (B), massa seca da raiz (MSR) (C) e ferro na raiz (FeR) (D) das cultivares de rúcula Astro e Roka submetidas a diferentes doses de ferro aos 20 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de verão 2021.....33

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE RÚCULA (*Eruca sativa* Miller.) COM FERRO EM CULTIVO HIDROPÔNICO

Autor: Eng. Agr. GUILHERME JOSÉ CECCHERINI

Orientador: Prof. Dr. FERNANDO CESAR SALA

Co-orientador: Prof. Dr. LUIS FELIPE VILLANI PURQUERIO

RESUMO

A rúcula é a segunda hortaliça folhosa mais cultivada no sistema hidropônico NFT (*Nutrient Film Technique*), pois garante maior produtividade, menor ciclo de cultivo e maior eficiência no uso da água e dos fertilizantes. Biofortificação é uma técnica que visa enriquecer as partes comestíveis de produtos agrícolas com micronutrientes nas partes utilizadas para consumo das plantas. A biofortificação, por exemplo, com ferro é uma forma de minimizar a anemia. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito das doses de ferro na biofortificação de duas variedades de rúcula em sistema hidropônico, no período do inverno e verão. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com fatorial de 4 doses de ferro quelatizado (EDDHA) (T1=1,8; T2=3,6; T3=5,4 e T4=7,2 g 1000L⁻¹) x 2 cultivares de rúcula (V1= Astro e V2= Roka), com quatro repetições. Foram realizadas as avaliações agronômicas de diâmetro da planta, número de folhas, altura da planta, comprimento da raiz, massa fresca da raiz e parte aérea, massa seca da raiz e parte aérea, produtividade e acúmulo de ferro na parte aérea e raízes, além das análises instrumentais de área foliar, índice de clorofila total e análise colorimétrica. Apenas a massa fresca de raiz apresentou ser igual perante a estatística realizada. O acúmulo de ferro nas raízes foi consideravelmente maior que no tecido foliar, superior em cerca de 10-20 vezes. Assim sendo, no período do inverno a Astro na dose 3,6 mg 1.000L⁻¹ e a Roka no período do verão do tratamento 7,2 mg 1.000L⁻¹, foram as que apresentaram maior translocação e acúmulo de Fe na parte comestível.

Palavras-chave: Enriquecimento; EDDHA; NFT; Hidroponia; Verão.

AGRONOMIC BIOFORTIFICATION OF ARUGULA (*Eruca sativa* Miller.) WITH IRON IN HYDROPONIC GROWTH

Author: Eng. Agr. GUILHERME JOSÉ CECCHERINI

Adviser: Prof. Dr. FERNANDO CESAR SALA

Co-adviser: Prof. Dr. LUIS FELIPE VILLANI PURQUERIO

ABSTRACT

Arugula is the second most cultivated leafy vegetable in the NFT (*Nutrient Film Technique*) hydroponic system, as it guarantees greater productivity, shorter cultivation cycle and greater efficiency in the use of water and fertilizers. Biofortification is a technique that aims to enrich the edible parts of agricultural products with micronutrients in the parts used for plant consumption. Biofortification, for example, with iron is a way to minimize anemia. The objective of this research was to evaluate the effect of iron doses on the biofortification of two arugula varieties in a hydroponic system, in the winter and summer period. The experimental design was in randomized blocks, with a factorial of 4 doses of chelated iron (EDDHA) (T1=1.8; T2=3.6; T3=5.4 and T4=7.2 g 1000L⁻¹) x 2 arugula cultivars (V1= Astro and V2= Roka), with four replications. Agronomic evaluations of plant diameter, number of leaves, plant height, root length, root and shoot fresh mass, root and shoot dry mass, productivity and iron accumulation in shoots and roots were carried out, in addition to instrumental analysis of leaf area, total chlorophyll index and colorimetric analysis. Only the fresh root mass was equal to the statistics performed. Iron accumulation in roots was considerably higher than in leaf tissue, about 10-20 times higher. Therefore, in the winter period, Astro at the dose of 3.6 mg 1,000L⁻¹ and Roka, in the summer period of the treatment, 7.2 mg 1,000L⁻¹, were the ones that showed the highest translocation and accumulation of Fe in the edible part.

Key-words: Enrichment; EDDHA; NFT; Hydroponics; Summer.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento do cultivo sem solo, em especial a hidroponia-NFT (*Nutrient Film Technique*), a rúcula tem sido considerada a segunda hortaliça folhosa mais cultivada neste sistema (Anuário Brasil Hidroponia, 2018), pois garante maior produtividade, qualidade, menor ciclo de cultivo e maior eficiência no uso da água e dos fertilizantes (PINHEIRO et al., 2021).

O sucesso hidropônico é dependente do manejo nutricional e da cultura, os quais são de altíssima importância, e aparecem ganhando cada vez mais espaço entre os produtores, principalmente daqueles próximos dos grandes centros urbanos, devido as suas vantagens para escoamento da produção (COMETTI et al., 2019; MAIA, 2019).

No mundo pós-Covid 19, a obesidade e a desnutrição permanecerão como um dos desafios a serem enfrentados pela humanidade (VENTURA et al., 2020). Sendo assim, aumentar o teor de ferro (Fe) nas plantas e suas partes comestíveis, resulta em maior qualidade da saúde humana, sendo esse um enorme desafio global. Estima-se que no mundo mais ou menos dois bilhões de pessoas possuem algum tipo de anemia e dentre essas pessoas cerca de 27% a 50% são afetadas pela deficiência de ferro (FISBERG et al., 2018).

A anemia pode ocasionar o retardamento das funções motoras e mentais em crianças, prejudicar a memória em adolescentes e provocar a fadiga em adultos, prejudicando a habilidade para realização de atividades físicas do dia a dia (CLARK, 2008). Numa dieta onívora, é necessária a ingestão de 5,5 a 11,1 mg de ferro, para que ocorra a absorção de 1 a 2 mg de ferro no organismo (SLYWITCH, 2012). Na rúcula (de cultivo convencional) a quantidade de ferro presente é de 1,46 mg a cada 100 g de massa fresca (GENUNCIO et al., 2011; UNIFESP, 2021), enquanto a carne possui 15 mg de ferro em 150 g de carne (PEDREIRA, 2006). Então, para se absorver a mesma quantidade de ferro, seria necessário consumir 1 Kg de massa fresca, o que não acontece, por isso vêm a necessidade de se biofortificar a cultura, visto que há uma crescente demanda por produtos vegetais, devido ao crescente mercado para consumidores veganos. E a rúcula pode vir a se tornar uma alternativa fonte de ferro na sua alimentação.

Diante essa perspectiva de futuro, pesquisadores estão focando esforços para desenvolver técnicas para aplicar fertilizantes (biofortificação agrônômica) e/ou

usar estratégias de melhoramento de plantas (biofortificação genética) para biofortificar as concentrações e/ou biodisponibilidade de nutrientes na porção comestível de plantas na colheita (CAKMAK et al., 2004; GRAHAM, 2007; PFEIFFER; McCLAFFERTY, 2007; CAKMAK, 2008; WHITE; BROADLEY, 2009; KUMAR et al., 2017).

A biofortificação agrônômica é uma técnica para enriquecer o conteúdo de micronutrientes de produtos agrícolas, absorvendo nutrientes da solução nutritiva e translocando-os para as partes comestíveis das plantas (WHITE; BROADLEY, 2009).

A biofortificação é uma solução para a melhoria da qualidade nutricional dos alimentos e tem sido estudada em várias espécies vegetais, principalmente em batata-doce (ADAMSKI, 2011), milho (OLIVEIRA, 2019) e tomate (GUIRRA et al., 2015). Por isso o foco do estudo será biofortificar a rúcula com ferro, visto que é a segunda hortaliça de folha mais plantada em hidroponia (MATOS *et al.*, 2016), apresenta ciclo curto o que pode ser uma boa opção para biofortificação, além de que em hidroponia a capacidade de absorção de nutrientes é completa, devido ao contato direto da raiz com a solução nutritiva. Outros micronutrientes já foram testados por REYES (2017), como o zinco, onde obtiveram incremento de 279% em relação ao controle, observando a efetividade de aplicações foliares de zinco como forma de biofortificar rúcula e com selênio por NASCIMENTO (2018), que notou o aumento no teor de selênio de até 856,50% através da solução nutritiva em rúcula.

Apesar de a rúcula ser uma hortaliça folhosa muito consumida, existem poucos trabalhos na literatura sobre biofortificação desta hortaliça com ferro em sistema hidropônico. Assim sendo, este trabalho sobre biofortificação com ferro vêm de encontro a preencher essa lacuna e assim desenvolver uma nova linha de pesquisa com o ferro em busca da biofortificação de culturas folhosas.

2 OBJETIVOS

Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa foi avaliar as características agrônômicas sob o efeito da biofortificação de rúcula com diferentes doses de ferro (1,8 g, 3,6 g, 5,4 g 7,2 g 1000 L⁻¹) em sistema hidropônico.

Objetivos específicos

- Avaliar a produção de biomassa de duas cultivares de rúcula no sistema hidropônico;
- Avaliar a concentração de Fe na parte aérea e raízes de rúcula;
- Analisar o efeito em duas épocas de cultivo;
- Comparar as variedades;
- Avaliar as características instrumentais.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Cultura da rúcula

Com o crescente aumento dos cultivos sem solo, em específico o sistema hidropônico em NFT (*Nutrient Film Technique*), a rúcula é a segunda hortaliça folhosa mais produzida neste sistema de cultivo (Anuário Brasil Hidroponia, 2018), pois permite obter maior produção, maior qualidade, precocidade de ciclo e maior eficiência no uso da água e fertilizantes (PINHEIRO et al., 2021). Apresenta forma de cultivo simples, rápido crescimento vegetativo e ciclo curto (COSTA et al., 2011). Segundo dados da ABCSEM (2020) a área de cultivo com rúcula no Brasil foi de 33.581 ha.

Até o primeiro trimestre de 2021, segundo a Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), o preço da rúcula hidropônica foi comercializado na faixa de R\$ 5,20 kg⁻¹, caracterizando esta cultura como de elevado valor de comercialização, comparado a outras folhosas.

A rúcula é uma hortaliça folhosa que pertence à família Brassicaceae, originária da região Mediterrânea e a oeste da Ásia (JARDINA et al., 2017), é uma folhosa anual, herbácea, de porte baixo, com altura média de 10 a 15 cm, folhas alongadas e de limbo profundamente recortado (GUIMARÃES et al., 2019). Tem ganhado cada vez mais espaço no mercado entre as hortaliças pela sua composição, com teores de potássio (326 mg 100 g⁻¹ de massa fresca), cálcio (160 mg/100g de massa fresca) e ferro (1,46 mg/100g de massa fresca) além de vitaminas A e C, de sabor picante e com odor agradável (GENUNCIO et al., 2011; UNIFESP, 2021).

O cultivo dessa hortaliça concentra-se principalmente entre médios e pequenos produtores (OLIVEIRA et al., 2012). Apesar da sua importância nutricional, a rúcula é uma planta sensível às condições de cultivo em campo, sendo sua produção mais baixa (ANDRIOLO, 2013).

No Brasil a espécie de rúcula mais difundida e cultivada é a *Eruca sativa*, representada, principalmente, pelas cultivares “Cultivada” e “Folha Larga” (MINANI & TESSARIOLI NETO, 1998), que diferem quanto às características nas folhas, podendo ser de bordas lisas até bastante recortadas (MORALES; JANICK, 2002; SALA et al., 2004).

De acordo com a classificação utilizada pelo CEAGESP, a rúcula é dividida em dois perfis, sendo eles, rúcula da terra (sistema convencional de cultivo) e rúcula hidropônica. Para a região Sudeste, no período que compreende os anos 2000 à 2017, a rúcula da terra sofreu forte interferência proporcionada pelo início do cultivo de rúcula hidropônica, sendo o ano de 2007 o ano caracterizado como ponto de abertura para a coleta de dados de rúcula cultivada em sistema hidropônico, revelando a concorrência entre os perfis dessa folhosa e tendência de incremento da oferta e demanda de rúcula hidropônica, uma vez que a rúcula da terra vem apresentando acentuado declínio de produção após entrada desse novo produto no mercado. Atualmente (2022) o valor de rúcula da terra é de R\$ 7,14 o Kg (CEASA-Campinas, 2022) enquanto que da hidroponia é de R\$ 56,20 (CEAGESP) em dúzia de maço.

3.2 Sistema de cultivo hidropônico

A hidroponia - NFT (*Nutrient Film Technique*) é um método de produção intensivo para vegetais e que consiste na circulação constante de uma fina camada de solução nutritiva que passa pelo sistema radicular das plantas, em um sistema completamente fechado, por um tubo de cultivo construído geralmente por PVC (WITTEWER; CASTILLA, 1995; BARRÍA, 2005; INCA, 2013; ZAMBRANO, 2014; LEIVA-ESPINOZA, 2019). O filme de solução nutritiva presente nesse meio de cultivo deve ser de 1-4 mm de altura, para que alcance a oxigenação adequada da água, da mesma maneira, deve-se ter uma inclinação de 1-3% e o comprimento dos perfis hidropônicos não deve exceder 18 metros (RIVERA, 2015). Servido este como uma alternativa sustentável para o abastecimento de hortaliças dentro da crescente demanda por alimentos.

No Brasil, o NFT tem se mostrado o mais difundido entre os produtores, e tendo como preferência o cultivo de hortaliças folhosas, isso porque com o sistema radicular em contato direto com a água, nutriente e oxigênio, o crescimento da planta é maximizado e assim atingindo o máximo potencial genético da cultivar, além de evitar doenças de solo e problemas por falta de recursos hídricos (FURLANI, 1997; INCA 2013; ZAMBRANO, 2014; HERNÁNDEZ, 2017).

Na nutrição mineral, a hidroponia vem tendo uma importância fundamental nas pesquisas que a dizem respeito, e vem sendo amplamente difundida o seu emprego para fins comerciais, em virtudes das mais diversas vantagens que esta técnica fornece a produção, quando se trata de meio de cultivo (BEZERRA NETO; BARRETO, 2012).

Além de destacarem com a maior produção, redução do ciclo, racionamento e melhor utilização da água e nutrientes pelas plantas, o que compreende assim na maior eficiência da nutrição mineral da espécie, Egídio e Levy (2013) também ressaltam que o fato do cultivo hidropônico estar associado ao cultivo protegido, isso permite que ocorra menor perda de água por evaporação e torna nula as perdas por lixiviação.

Contudo, um dos principais fatores que se deve tomar cuidado na hidroponia é com a solução nutritiva, uma vez que esta influencia a biomassa e qualidade final do produto. A solução nutritiva deve ser composta pelo menos com os elementos essenciais para o crescimento vegetal, ou seja, elementos que são componentes na estrutura ou metabolismo do vegetal, cuja ausência pode ocasionar a interrupção do ciclo (TAIZ et al., 2017), além de cuidados com a temperatura, nível e acidez (pH) da solução nutritiva (HENDRA; ANDOKO, 2014). Os mesmos autores ainda transmitem que não há uma solução nutritiva ideal para todas as culturas, dado os diversos fatores bióticos (espécie, estado fenológico) e abióticos (época do ano, luminosidade, pH) que influenciam também.

3.3 Biofortificação agrônômica com ferro

Estimativas apontam que no mundo, mais ou menos dois bilhões de pessoas apresentam algum tipo de anemia (cerca de 27% a 50% das pessoas são afetadas pela deficiência de ferro) (FISBERG et al., 2018). Segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU), nos próximos 29 anos, a população mundial deve chegar a 9,6 bilhões, ocorrendo um crescimento expressivo nos países em

desenvolvimento, dentre eles o Brasil, que terá com estimativa de aumento em 12% da população até 2050 (ONU, 2017), aumentando assim a demanda por alimentos.

Perante esse futuro, pesquisadores estão canalizando esforços para formular métodos de aplicar fertilizantes e/ou usar estratégias de melhoramento de plantas para aumentar as concentrações e/ou biodisponibilidade de elementos minerais na parte comestível de plantas (CAKMAK et al., 2004; GRAHAM, 2007; PFEIFFER; McCLAFFERTY, 2007; CAKMAK, 2008; WHITE & BROADLEY, 2009; KUMAR et al., 2017). Essas técnicas são denominadas de Biofortificação Agronômica (baseada em fertilizantes) e Genética (baseada em melhoramento genético), respectivamente.

Biofortificação consiste em enriquecer de micronutrientes as partes comestíveis de culturas agrícolas, absorvendo nutrientes da solução do solo e translocando-os para as partes comestíveis em suas formas biodisponíveis, com o foco principal da biofortificação agrônômico, método dessa dissertação, e que é a aplicação de minerais fertilizantes e eventual enriquecimento da cultura (WHITE; BROADLEY, 2009).

A deficiência de Fe é a principal causa de anemia no mundo. A anemia provoca retardamento das funções motoras e mentais em crianças, além de afetar a memória e outras funções mentais de adolescentes e provocar a fadiga em adultos, prejudicando a habilidade para realização de atividades físicas. Além disso, a deficiência de Fe durante a gravidez pode aumentar o risco de nascimento de bebês prematuros, sendo estes mais propensos a problemas de saúde ou a morte no primeiro ano de vida (CLARK, 2008). A deficiência deste importante nutriente é, na maioria das vezes, associada às baixas concentrações deste elemento em alimentos vegetais (KABATA-PENDIAS et al., 2007). Isso pode ser facilmente resolvido através da diversificação da dieta, suplementos de micronutrientes e medicamentos. No entanto, tais tratamentos podem não estar disponíveis para todos devido a limitações como capacidades geográficas e financeiras.

Por isso o foco do estudo será o de biofortificar a rúcula com ferro, visto que, a rúcula é a hortaliça folhosa que mais cresce seu cultivo em hidroponia e é uma fonte rica de ferro, quando comparada a outras folhosas. Além disso, é a segunda hortaliça folhosa mais cultivada em hidroponia e a falta de estudos com biofortificação de rúcula com ferro irá contribuir com resultados promissores e inovadores. A biofortificação agrônômica pode ser realizada com aplicações de fertilizantes no solo, em solução nutritiva (hidroponia) ou foliar. Porém, cultivo em

solo se torna mais difícil, pela concentração ser baixa e em área tão grande, além de altas doses de fertilizante. Contudo, em hidroponia demonstra uma técnica muito viável, pela praticidade da aplicação. Por ser um sistema de produção sem solo e em ambiente fechado permite obter produtos de qualidade superior ao cultivo a campo.

Alguns trabalhos já foram realizados em diferentes culturas na tentativa de biofortificação com ferro, como por exemplo, em milho (*Zea mays*) o estudo de Oliveira (2019) verificou que a média apresentada para teor de ferro no grão ($23,10 \text{ mg kg}^{-1}$) ficou muito abaixo dos valor-alvo (70 mg kg^{-1}) estabelecidos pelo Harvest Plus (SENA, 2010), enquanto que, em tomate (*Solanum lycopersicum* L.), Guirra et al. (2015), notaram que o incremento de dosagens de ferro nas sementes, reduziu a germinação e não proporcionando um desenvolvimento adequado de plântulas. Em *microgreens* de brássicas, Gioia et al. (2019), tiveram aumento de 64% na concentração de ferro em *microgreens* de rúcula, com feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), Petry et al. (2015), conseguiram fornecer 30% a 50% da necessidade diária de ferro em 100 g de feijão e em alface (*Lactuca sativa*), Moraes (2020), conseguiu fornecer até 20% e 43% em 50 g de alface para as cultivares Vanda e Saladela, respectivamente .

3.4 Mineral ferro

O ferro é um constituinte de minerais primários, como silicatos e ferromagnesianos, que através dos processos de meteorização libertam ferro para a solução do solo (CHEN; BARAK, 1982).

Devido à baixa mobilidade de Fe no floema, os sintomas de deficiência iniciam-se nas folhas mais jovens com uma clorose internervuras que, com o agravar da deficiência, progride generalizando-se por toda folha, registrando-se decréscimos acentuados nos teores foliares de clorofila (LARBI et al., 2006; PESTANA et al., 2003; ROMBOLÀ et al., 2003).

O ferro participa em diversos processos enzimáticos durante o desenvolvimento das plantas, como na fotossíntese, na respiração, na fixação do N_2 atmosférico, na biossíntese da clorofila e de diversos fitohormônios (JEONG; CONNOLLY, 2009; KOBAYASHI; NISHIZAWA, 2012).

Uma vez solubilizado, o ferro existe principalmente na forma férrica (Fe^{3+}) que deve ser reduzido à forma ferrosa (Fe^{2+}) antes de poder ser transportado para

dentro da raiz. Depois de chegar ao sistema radicular, o Fe deve ser transportado para os tecidos da parte aérea. Nesta fase é necessário existir um mecanismo que regule o transporte deste elemento na quantidade necessária ao correto funcionamento do metabolismo celular. Os principais passos necessários neste processo são o transporte, a complexação e o armazenamento do Fe (GAMA, 2017).

Depois que o nutriente entra na epiderme da planta, através das raízes por absorção ativa (MOORE, 1972), é transportado por transportadores até o xilema. Através do diferencial de potencial gerado pela transpiração, o ferro é carregado na seiva bruta e translocado até a parte aérea da planta. Dentro do xilema o ferro pode sofrer quelação por alguns ácidos orgânicos, principalmente o citrato (CATALDO et al., 1988). Já sua mobilidade para o floema é pouco conhecida, mas sabe-se que o ferro contido na seiva é proveniente das folhas e é ligado por um transportador, a nicotianamina (STEPHAN; SCHOLZ, 1993).

Dentro da planta, o ferro é considerado pouco móvel, pois é afetado por vários fatores, como a presença de Mn causa antagonismo com ferro, assim como o elevado teor de P entre outros. Sua remobilização é intermediária em angiosperma, em função da inclusão do ferro em componentes estruturais nas grandes moléculas orgânicas e cloroplastos (MARSCHNER, 2012).

3.5 Quelato de ferro EDDHA

O termo quelato, do grego *chele*, foi inicialmente aplicado, em 1920, por MORGAN e DREW, comparando a estrutura a uma pinça ou quelas da lagosta e de outros crustáceos (MORGAN; DREW, 1920). A pesquisa sobre a interação entre plantas e quelatos, tem como o objetivo de reduzir a deficiência de nutrientes nas plantas, como o Fe, Mn, Cu e Zn (WENGER; TANDY; NOWACK, 2005).

Segundo Leeson e Summers (2001), fertilizantes quelatados são definidos como uma mistura de elementos minerais que são ligados a algum tipo de carreador, que pode ser um aminoácido ou um polissacarídeo com a capacidade de se ligar ao metal por ligações covalentes, através de grupamentos aminos ou oxigênio, formando assim uma estrutura cíclica. Por definição, os sinônimos, ligantes ou agente quelatizante ou agente complexante é um íon ou molécula, com pelo menos um par de elétrons não usados em ligações químicas, ou seja, não compartilhado.

Existem os ligantes monodentados, no qual uma molécula do ligante se liga apenas a um ponto do íon metálico, esses ligantes são considerados fracos. Por outro lado, os polidentados se ligam a vários pontos de coordenação do íon metálico, sendo as ligações mais fortes, como por exemplo EDTA, EDDHA, IDHA, entre outros (MATSUZAKI, 2013).

Vários estudos têm apontado que a capacidade dos fertilizantes quelatados em fornecer nutrientes às plantas depende da capacidade dos compostos em mantê-los solúveis na solução, e da capacidade das plantas em assimilarem os nutrientes (GARCÍA-MINA; CANTERA; ZAMARREÑO, 2003). Sendo o ferro o elemento mais comum utilizado em fertilizantes na forma de quelatos (ABADIA, 1995), principalmente devido a sua instabilidade no meio, pois a solubilidade do ferro muda 1.000 vezes com cada unidade de variação do pH (LINDSAY, 1979).

Em meios alcalinos, a aplicação de sulfato de ferro e ferro-EDTA não são eficientes na correção da deficiência e apresentam baixa solubilidade (MARTENS; WESTERMANN, 1991; NATT, 1992). Nesses casos o EDDHA é considerado como a melhor solução para resolver a deficiência de ferro nas plantas quando é aplicado diretamente no solo ou por fertirrigação, sendo um dos mais utilizados na agricultura (CHANEY BELL, 1987, MARTENS; WESTERMANN, 1991, HERNÁNDEZ-APAOLAZA; LUCENA, 2011).

Os quelatos não são absorvidos pelas plantas, na região da rizosfera o Fe^{3+} (férico) quelato sofre redução pela enzima Fe-redutase, dessa maneira o elemento Fe^{2+} (ferroso) é absorvido e o agente quelatizante é “eliminado” ficando livre no meio e podendo complexar mais ferro (MATSUZAKI, 2013).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Local do experimento

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação (ambiente protegido) em sistema hidropônico localizado na área experimental do Departamento de Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal (DBPVA), setor de Horticultura, no Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, em Araras-SP, que está localizada nas coordenadas 22°18' de latitude sul e 47°23' de longitude oeste, a uma altitude de aproximadamente 700 metros (YOSHIDA; STOLF, 2016).

4.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial com 4 doses de ferro (1,8-Testemunha; 3,6; 5,4 e 7,2 g 1000 L⁻¹) x duas cultivares de rúcula (Astro e Roka), com quatro repetições. Os tratamentos foram com doses de ferro na forma de ferro quelatizado (EDDHA). Sendo consideradas como plantas úteis, as conduzidas no meio das parcelas, excluindo as plantas das extremidades (bordadura).

Foram realizados dois experimentos, no período de inverno (Junho/Julho de 2021) e verão (Novembro/Dezembro de 2021).

4.3. Procedimento experimental

As mudas de rúcula foram produzidas em viveiro comercial (IBS Mudas em Piracicaba – SP) em bandejas de polipropileno com 128 células. Posteriormente, transplantadas para os perfis do cultivo hidropônico, instalados dentro de ambiente protegido. O transplante para o período de inverno foi realizado dia 10 de Junho de 2021. Já para o período de verão foi realizado dia 18 de Novembro de 2021. Ambos os experimentos receberam os mesmos procedimentos experimentais, alterando apenas o período de cultivo das plantas.

As mudas foram produzidas de forma que cada célula recebeu em média 12 sementes, visando a formação da muda para formação do maço.

As cultivares de rúculas utilizadas foram a Astro, caracterizada por possuir folhas largas com menor quantidade de áreas recortadas, ciclo precoce (35 dias), plantas vigorosas com alta produtividade e qualidade visual de maços e moderado nível de resistência ao pendoamento precoce (SAKATA, 2021) e Roka que apresenta planta mais baixa, ciclo entre e 30-42 dias, folhas de coloração verde-escura e tenras, indicadas ao processamento mínimo e tendo ainda um bom sistema radicular se adaptando muito bem ao cultivo hidropônico (AGRISTAR, 2021).

A casa de vegetação (ambiente protegido) em que foram conduzidos os experimentos possui pé direito de 3,5 m, 15 m de comprimento e 7 m de largura, coberta com plástico difusor e laterais fechadas com malha de sombreamento ChromatiNet® Leno vermelha 20%. O arranjo estrutural correspondeu a duas motobombas Dancor® modelo Pratika CP-4R, 0,5 cv, e quatro reservatórios, sendo

dois com capacidade para 1000 L e dois com capacidade para 500 L. O timer de irrigação foi ligado automaticamente para injetar água em intervalos de 15 minutos no período das 6-10h e apenas 3x ao longo da noite.

Os experimentos foram realizados em sistema hidropônico-NFT com perfis de cultivo de 50 mm de diâmetro em sistema HPM (hidroponia de perfil móvel), sendo cada bancada com 9% de declividade composta por 6 perfis (para cada tratamento), espaçamento de 0,15 x 0,20 m (planta e perfil), onde cada perfil foi composto por 44 orifícios, totalizando 264 plantas, com 4 repetições para cada cultivar. .

A solução nutritiva utilizada para o cultivo seguiu a recomendação de Furlani et al. (1998) apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de sais para o preparo de 1000 L de solução nutritiva para o cultivo de rúcula, para concentração da EC em 2,0 (Siemens/m). 2021.

Sal ou fertilizante	g 1000L ⁻¹
Nitrato de cálcio	750
Nitrato de potássio	500
Fosfato monoamônio (MAP)	150
Sulfato de magnésio	400
ConMmicros Light	20
Ferrilene-(FeEDDHA-6% Fe)	*D1- 1,8

*dose proposta por Furlani et al. (1998).

Utilizou-se o fertilizante ConMicros *Light*[®], em que é uma mistura de quelatos de micronutrientes solúveis em água. Indicado para suprir a demanda das plantas conduzidas em solo, hidroponia ou em substratos (CONPLANT, 2021). Sua composição é: Cu EDTA (4,09%), Zn EDTA (1,60%), Mn EDTA (4,09%), B (4,10%), Mo (0,916%) e Ni (0,814%). Baseando-se na ausência de Fe que há no fertilizante ConMicros *Light*[®], e quantidade de Fe que há no quelato de ferro FERRILENE (DAYMSA, 2022) com 6% de ferro, se obteve as concentrações de ferro para cada tratamento (Tabela 2).

Tabela 2. Concentrações de ferro na solução nutritiva de cultivo para cada tratamento. 2021.

Tratamentos	ConMicros <i>Light</i> [®]	Ferrilene-(FeEDDHA)	Ferro
		g 1000L ⁻¹	g 1000 L ⁻¹
T1	20	30	1,8
T2	20	60	3,6
T3	20	90	5,4
T4	20	120	7,2

Diariamente foram verificadas a Condutividade Elétrica (EC) e pH dos reservatórios (Apêndices A e B -inverno e F e G – verão) de cada tratamento, assim como o monitoramento da temperatura do ambiente protegido (Apêndice C – inverno e H – verão). Para a reposição dos nutrientes foi utilizada uma solução estoque concentrada em 100 vezes, ou seja, a solução nutritiva foi concentrada em 100 vezes para cada tratamento com suas respectivas dosagens. Quando a EC estava abaixo de (2,0 Siemens/m) fazia-se a reposição com a solução concentrada até estabilizar na EC de 2,0 Siemens/m.

As soluções nutritivas iniciais de cada tratamento foram coletadas para análise de macro e micronutrientes (Apêndice D e E- Inverno I e J- Verão) e ao final do experimento, foram coletadas novamente as soluções para análise de macro e micronutriente.

4.4. Análises

A colheita foi feita aos 25 dias após o transplântio (DAT) para o cultivo de inverno enquanto para o de verão foi aos 20 dias após o transplântio (DAT). Foram analisados quatro maços úteis de cada repetição, que foram colhidas manualmente e diretamente do perfil hidropônico. Após foram levadas para o Laboratório de Horticultura, onde foram realizadas as avaliações agronômicas e biométricas. Para as medições da área foliar (AF), índice de clorofila total (ICT) e colorimetria (L, a^* , b^*) foram utilizadas quatro maços úteis, e para a análise sensorial foram três maços úteis de cada repetição/tratamento.

4.4.1 Análises agronômicas

4.4.1.1. Diâmetro do maço

Para a medição do diâmetro (cm) do maço, foi separado parte aérea e raiz nos quatro maços avaliados, para facilitar a medição. Com o auxílio de uma fita métrica, a medição foi realizada colocando e apoiando-se a fita métrica em sentido horizontal sobre a planta, obteve-se o diâmetro da planta.

4.4.1.2. Número de folhas por planta

O número de folhas foi avaliado retirando-se as folhas das plantas de rúcula, contando-as. Foram consideradas as folhas a partir de 1 cm em uma planta de rúcula dentre as demais por maço.

4.4.1.3 Comprimento e largura da folha

Com o auxílio de uma régua, mediu-se o comprimento no sentido vertical e a largura no sentido horizontal da maior folha por planta, em quatro plantas por parcela.

4.4.1.4 Comprimento da folha até o pecíolo

Com o auxílio da régua, mediu-se o comprimento da folha até a base do pecíolo, em quatro plantas por parcela.

4.4.1.5. Altura do maço

A altura do maço foi determinada com auxílio de uma régua, medindo-se a planta do colo até as folhas mais altas, em quatro plantas por parcela.

4.4.1.6. Comprimento da raiz

Foram feitas medições das raízes das plantas de rúcula, com o auxílio de uma fita métrica, medindo até o final da raiz.

4.4.1.7. Massa fresca da raiz e parte aérea do maço

Após as medições, a parte aérea e raiz de cada maço foram pesadas separadamente, onde na parte aérea considerou-se folhas e caule das rúculas. As pesagens foram feitas em balança de precisão 0,01g, de modelo S2202H 2200g. Após pesadas, foram colocadas em sacos de papel, para raiz e parte aérea, para obtenção de massa seca.

4.4.1.8. Massa seca da raiz e parte aérea do maço

Após as pesagens para obtenção de massa fresca, os saquinhos de papel contendo as plantas e raízes foram levados para estufa de cultivo para realizar uma pré-secagem em temperatura ambiente. Após quatro dias, os sacos de papel de parte aérea e raízes foram levados para a estufa de circulação de ar forçada, onde finalizaram a secagem a 65 °C até obter massa constante. Após secas, foram pesadas.

4.4.1.9. Produtividade do maço

A produtividade foi calculada através do produto da massa de matéria fresca pelo número de plantas utilizadas em um metro quadrado (Kg.m^{-2}).

4.4.1.10. Quantidade de água na parte aérea

A quantidade de água na parte aérea foi obtida através da diferença entre a massa de matéria fresca e seca da parte aérea das plantas avaliadas (g por conjunto de plantas).

4.4.1.11. Teor de ferro na parte aérea e raízes

Após a massa seca de quatro plantas serem pesadas, os materiais foram enviados para análise em laboratório, onde foram triturados em moinho tipo Wiley para determinação do teor de Fe (raízes e parte aérea) por meio de digestão nítrico perclórico e leitura em espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP – OES)., no Laboratório de Análise de Solo e Planta, no centro de Horticultura do IAC – Campinas em quatro repetições.

4.4.1.12. Acúmulo de ferro

O acúmulo de Fe foi determinado pelo produto entre o teor dele no tecido vegetal e a quantidade de massa seca da parte correspondente (mg planta^{-1}). Com base nas quantidades acumuladas e na massa fresca (MFPA) das folhas estimou-se a contribuição da rúcula biofortificada na recomendação de 5,5 a 11,1 mg de ferro, para que ocorra a absorção de 1 a 2 mg de ferro no organismo (SLYWITCH, 2012). Para isso, se estabeleceu um consumo de 50 g de MFPA das folhas das cultivares e determinou-se a quantidade de Fe nesta porção.

4.4.2. Análises instrumentais

4.4.2.1. Área foliar

A área foliar das rúculas foi determinada no equipamento modelo de integrador de área foliar Li-cor 3000^A, Licor Inc., Lincon, Nebraska, EUA (Li-Cor Inc., 1987). Foi realizada a medida em quatro plantas de cada tratamento, utilizando-se todas as folhas íntegras. Foi feita no laboratório de Biotecnologia de Plantas-LBP, no Centro De Ciência Agrárias da UFSCar-Araras.

4.4.2.2. Índice de clorofila total

O índice de clorofila total (ICT) foi avaliado utilizando o aparelho SPAD-502 Plus. Foram coletados o índice de clorofila de duas plantas. Coletou-se dois pontos de leitura para cada folha, sendo duas folhas por planta. A folha escolhida para coleta do índice foi de preferência a folha mediana.

4.4.2.3. Análise colorimétrica

A cor instrumental foi avaliada em duas plantas de cada tratamento, sendo duas folhas por planta, utilizando o colorímetro Hunterlab, sendo registrados o valor L (Luminosidade), que varia do negro ($L = 0$) ao branco ($L = 100$); valor a^* , que varia da cor vermelha ($+a^*$) ao verde ($-a^*$); e o valor b^* que varia do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$) (MINOLTA, 2007).

4.5. Análise estatística

Os dados obtidos das análises agronômicas, instrumental e sensorial, foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Foi realizada a análise de regressão para as concentrações de ferro para todas as características, sendo considerado o melhor ajuste aquele que obteve o maior coeficiente de determinação (R^2), menor erro padrão (Epad) e análise de discrepância residual. Para as cultivares foi utilizado o teste de Tukey. Para as análises utilizou-se o Software Sisvar e para elaboração das tabelas e gráficos utilizou-se o pacote office, Excel 2016. A interpretação dos dados obtidos no teste de ordenação foi realizada de acordo com teste de Friedman ($p \leq 0,05$) (NEWELL; MacFARLANE, 1987).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Cultivo de inverno

5.1. Análises agronômicas

Dentre todas as características avaliadas, apenas a massa fresca de raiz apresentou ser igual perante aos tratamentos de dose de ferro e variedades.

Na característica de largura de folhas, os materiais genéticos escolhidos por terem características morfológicas diferentes entre si, foram diferentes diante a estatística realizada, apesar do aumento da dose de ferro.



Figura 1. Comparativo das variedades Astro (A) (esquerda) e Roka (R) (direita) para os tratamentos T1, T2, T3 e T4.

Tabela 3. Análise de variância para diâmetro de maço, altura de planta, comprimento da folha até o pecíolo (CFP) de rúculas das cultivares Astro e Roka submetidas a doses de ferro, aos 25 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.

Causas de variação	GL	Quadrado médio		
		Diâmetro	Altura	CFP
Cultivar (C)	1	0,07 ^{NS}	105,27*	130,08*
Dose de ferro(Fe)	3	12,01 *	8,75*	8,77*
Int. C x Fe	3	1,49 ^{NS}	1,79 ^{NS}	0,89 ^{NS}
Tratamentos	7	-	-	-
Resíduos	-	73,36	160,91	201,20
CV Parcela (%)	-	4,52	5,74	7,91
CV Sub-Parcela (%)	-	5,96	4,10	6,45

* Significativo a 5% de probabilidade; NS não significativo pelo teste F.

Para largura de folha (LF) das rúculas, houve diferença significativa apenas para o fator cultivar, enquanto para o número de folhas houve interação na dose de ferro e entre os dois fatores (cultivar x ferro). Para produtividade (Prod.) e comprimento de raiz (CR), houve significância apenas na dose de ferro, a 5% de probabilidade (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância para a largura da folha (LF), número de folhas (NF), produtividade (Prod. Kg m⁻²) e comprimento de raiz (CR cm) de rúcula das cultivares Astro e Roka submetidas a diferentes doses de ferro, aos 25 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		LF	NF	Prod.	CR
Cultivar (C)	1	3,45 *	2,82 ^{NS}	641600,92 ^{NS}	70,44 ^{NS}
Dose de ferro(Fe)	3	0,06 ^{NS}	0,59*	589184,99 *	89,78*
Int. C x Fe	3	0,14 ^{NS}	0,90*	576724,99 ^{NS}	11,44 ^{NS}
Tratamentos	7	-	-	-	-
Resíduos	-	6,16	13,09	7991045,45	770,67
CV Parcela (%)	-	5,82	6,86	12,36	7,73
CV Sub-Parcela (%)	-	7,78	7,55	15,81	14,20

* Significativo a 5% de probabilidade; NSs não significativo pelo teste F.

A Tabela 5 apresenta a análise de variância para a massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca raiz (MSR) para os fatores cultivares e dose de ferro (Figura 3). Não houve interação entre os fatores, exceto para a característica massa fresca da parte aérea. Para o fator cultivar (Astro e Roka) apenas a massa seca da parte aérea apresentou diferença significativa, a 5% de probabilidade. Quanto ao fator dose de ferro, apenas as variáveis massa fresca de raiz não apresentou diferença significativa, sendo o restante significativo (Tabela 6).



Figura 2. Cultivar Astro (acima) para os tratamentos T1, T2, T3 e T4 e cultivar Roka (abaixo) para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, da esquerda para à direita, respectivamente..

Tabela 5. Análise de variância para as massas fresca e seca da parte aérea e massa fresca e seca da raiz (g) de rúculas das cultivares Astro e Roka submetidas as doses de ferro, aos 25 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		MFPA	MFR	MSPA	MSR
Cultivar (C)	1	324,87 ^{NS}	21,87 ^{NS}	6,31*	0,05 ^{NS}
Dose de ferro(Fe)	3	298,31*	27,60 ^{NS}	3,86*	0,34*
Int. C x Fe	3	291,91 *	26,26 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,03 ^{NS}
Tratamentos	7	-	-	-	-
Resíduos	-	4045,64	738,55	21,23	2,34
CV Parcela (%)	-	12,36	31,76	11,40	15,16
CV Sub-Parcela (%)	-	15,81	34,78	9,73	14,56

* Significativo a 5% de probabilidade; NS não significativo pelo teste F.

Tabela 6 . Análise de variância para as doses de ferro na parte aérea (FePA) e radicular (FeR) de rúculas das cultivares Astro e Roka submetidas as doses de ferro, aos 25 DA em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.

Causas de variação	GL	Quadrados médios	
		FePA	FeR
Cultivar (C)	1	239,80 ^{NS}	1512495,28 ^{NS}
Dose de ferro(Fe)	3	6428,30 ^{NS}	1962179,28*
Int. C x Fe	3	6817,37 ^{NS}	253886,44 ^{NS}
Tratamentos	7	-	-
Resíduos	-	130960,97	15417170,71
CV Parcela (%)	-	19,79	14,83
CV Sub-Parcela (%)	-	26,54	13,01

* Significativo a 5% de probabilidade; NS não significativo pelo teste F.

Notou-se que não houve diferença na massa fresca da raiz, conforme houve o aumento da dose de ferro entre as cultivares, variando de 12,04 a 18,90 gramas. Laurett (2015), observou em rúcula que houve uma diminuição no crescimento de 71,37% para a massa fresca da raiz considerando a maior dose de ferro testada (225 $\mu\text{mol.L}^{-1}$) em hidroponia. Da mesma forma que Campos (2014) relatou que ocorreu uma diminuição no crescimento e emissão de raízes secundárias na produção de café Conilon cultivado sob altas doses de ferro. Enquanto Jucoski (2011), em pitaita, observou que à medida que aumentou a concentração do ferro, houve redução do alongamento radicular e do comprimento da raiz primária.

Pelos resultados obtidos, apesar de não ocorrer diferença estatística entre as cultivares e doses testadas, foi possível biofortificar a rúcula com ferro, no T2 da Astro, apresentou valor de absorção de ferro muito maior que os demais tratamentos dentro das cultivares. Contudo, na variedade Roka, não foi possível verificar um aumento na concentração de ferro absorvido, indicando que a biofortificação possa estar relacionada ao material genético e concentração de ferro na solução nutritiva.

Mas essa concentração de ferro nas folhas poderia ter sido maior, se o pH da solução se mantivesse mais baixo, porém a acidificação do pH poderia causar a queima das raízes e decréscimo da absorção de outros nutrientes mais importantes, causando assim deficiências nutricionais mais severas. Estudos devem ser feitos com diferentes tipos de quelatos de ferro e em diferentes formas de aplicação, na intenção de otimizar a absorção sem depreciar a qualidade do planta

Tabela 7. Médias de largura de folha (LF), massa fresca da raiz (MFR) e ferro na parte aérea (FePA) de rúcula Astro e Roka durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes doses de ferro. UFSCar, Araras (SP). Cultivo de inverno 2021.

Variedades/Tratamentos.	LF (cm)	MFR (g)	FePA (mg/kg)
Astro-T1	4,71 a	12,04 a	292,65 a
Astro- T2	4,52 a	12,32 a	321,02 a
Astro- T3	4,89 a	15,21 a	203,80 a
Astro- T4	4,53 a	13,36 a	241,90 a
Roka- T1	4,06 b	18,90 a	292,32 a
Roka- T2	4,20 b	10,77 a	234,17 a
Roka- T3	3,90 b	15,70 a	254,77 a
Roka- T4	3,88 b	14,17 a	256,20 a
C.V (%)	5,69	6,45	26,54

*Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey

A massa fresca da parte aérea (figura 3) teve como melhor tratamento o T2 com 72,61 g e o T4 com 80,94 g da variedade Astro e tratamento T3 com 71,10 g da variedade Roka. Nota-se que os valores intermediários (T2 e T3) de ferro foram os que apresentaram maiores massa frescas, isso é evidenciado também no trabalho de Gioia et al. (2019), onde ao testarem *microgreens* de rúcula em doses crescentes de ferro, demonstraram que o tratamento com 20 g.1.000 L⁻¹ de ferro teve a segunda maior massa fresca depois da testemunha com 0 de ferro. O mesmo foi observado no trabalho de Giordano et al. (2019), no qual a massa fresca foi menor conforme se aumentou a dose de ferro de 0,015 a 2,0 mM, nas cultivares Salanova ® verde e vermelha em hidroponia-NFT.

O número de folhas foi superior a sete nos tratamentos T4 da variedade Astro e T2, T3 e T4 na variedade Roka. Gerando um aumento de 10,44% a mais no tratamento T4 em comparação a testemunha da Astro e um aumento de 7,86 %, 12,33% e 4,57% a mais em comparação a testemunha da variedade RoKa (Tabela 7). Diferente dos resultados obtidos, no trabalho de Giordano et al. (2019), o número de folhas não apresentou diferença entre as doses de ferro para as alfaces verde e

vermelha. Para Laurett (2015), o número de folhas de rúcula reduziu conforme houve o aumento na concentração de ferro na solução nutritiva, ou seja, teve melhor resposta que Laurett, pois as doses testadas forem menores, além da variedade ser diferente (cv. Rococó), no período do outono, com colheita as 27 DAT.

Mas nota-se que apesar do tratamento 2 da Astro ter tido segunda maior massa fresca depois do tratamento 4 da mesma cultivar, o número de folhas foi o segundo menor.

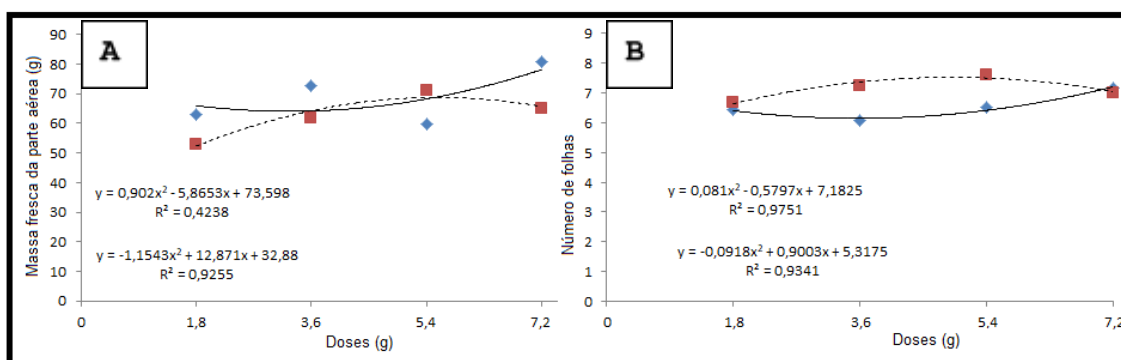


Figura 3. Interação das características de massa fresca da parte aérea (A), número de folhas (B) das cultivares de rúcula Astro e Roka submetidas a diferentes doses de ferro aos 25 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.

No diâmetro de maço (figura 4), todas apresentaram valores acima de 20 cm, exceto para o T2 nas duas variedades, que apresentaram valores inferiores aos demais. Sendo a diferença de 9,44% a menos na cultivar Astro e 7,49% a menos na cultivar Roka em comparação à T1 (testemunha).

Na característica altura de plantas, as médias dos tratamentos T4 foram as que tiveram maior altura em comparação aos outros tratamentos. Representando uma diferença de 5,52% a mais em comparação a testemunha. Como o ferro atua nas reações durante a fotossíntese (KERBAUY, 2008) e na formação da clorofila, estes fatores podem ser responsáveis pelo maior crescimento das plantas. Pois a eficiência fotossintética de plantas e, conseqüentemente, o crescimento e a adaptabilidade a diversos ambientes é em resposta ao conteúdo de clorofila. O conteúdo de clorofila nas folhas frequentemente é utilizado para estimar o potencial fotossintético das plantas, pela sua ligação direta com a absorção e transferência de

energia luminosa, uma planta com alta concentração de clorofila é capaz de atingir taxas fotossintéticas mais altas (RÊGO, 2004), gerando assim maior crescimento.

Da mesma forma as cultivares apresentaram valores médios de comprimento de folha que variaram de 16,74 a 19,17 cm.

O comprimento médio de raiz (Figura 4) foi maior para os tratamentos T1 (36,66 cm), T2 (31,29 cm) e T3 (36,66 cm), sendo o comprimento radicular menor inferior o do tratamento 4 (30,48 cm).

Foi observado nas plantas submetidas às maiores concentrações de Fe (T3 e T4), coloração escurecida comparada as raízes da planta testemunha. Resultados semelhantes foram observados por Howeler (1973) em plantas de arroz. O escurecimento das raízes segundo Silva (2009) é um indicativo da deposição de óxido de Fe.

A massa seca média da parte aérea teve apenas o tratamento T4 (4,36 g) como a maior, corroborando com os dados trabalho de Gioia et al. (2019) com os *microgreens* de rúcula (9,56 g) na dose de 40 mg.L⁻¹, e a menor massa ficou com os tratamentos T1 (2,94 g) e T2 (2,96 g).

A média da massa seca da raiz foi maior nos tratamentos T3 e T4 (1,66 e 1,53 g). Diferente do observado por Laurett (2015), ao avaliar plantas de rúcula na maior concentração de ferro houve redução da massa seca da raiz em até 68,33% quando comparada à testemunha. E diferente das observações de Campos (2014) e Adamski (2011), onde os autores relataram o mesmo efeito nas culturas do café conilon e batata-doce.

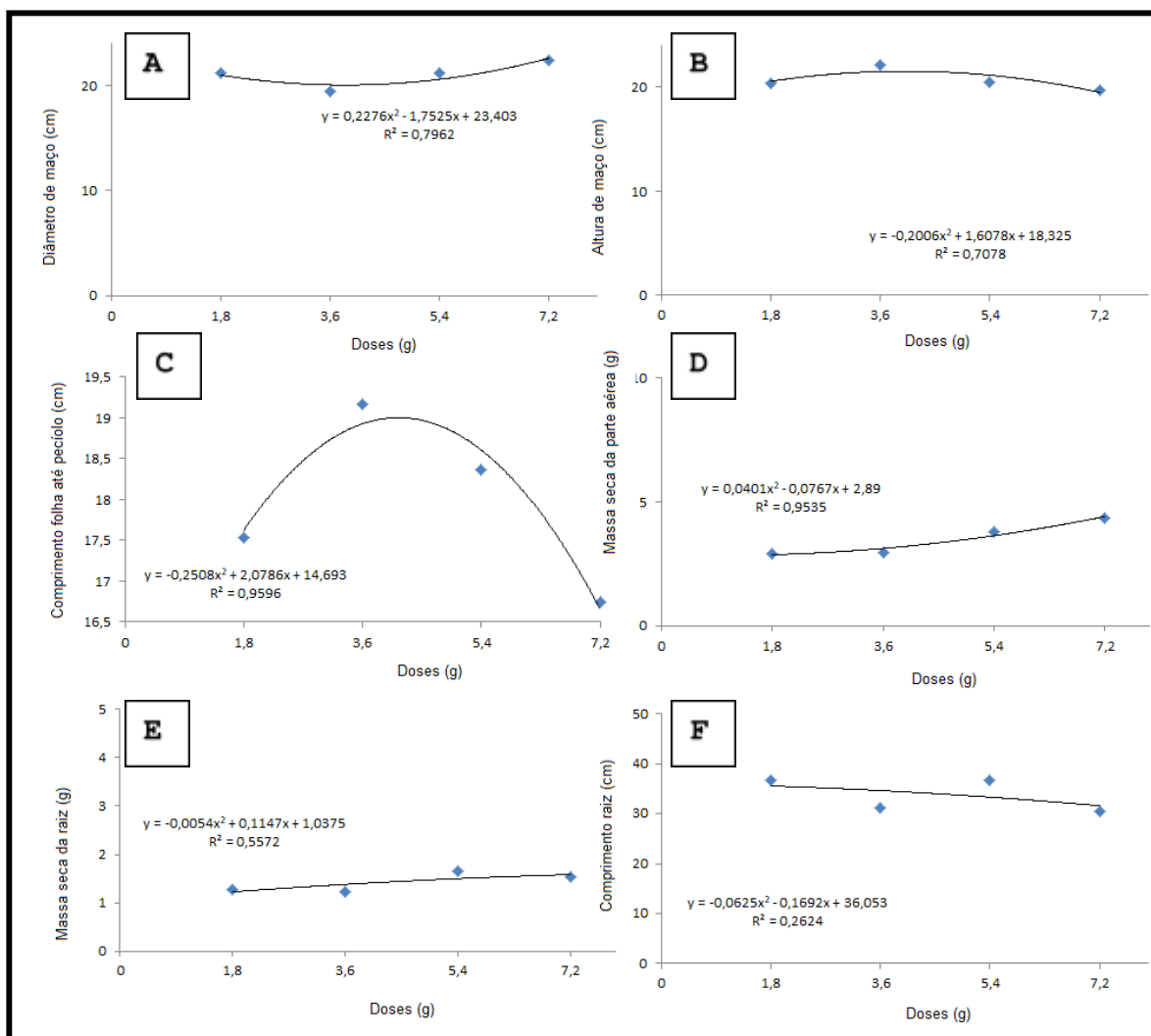


Figura 4. Médias das características de diâmetro de maço (A), altura de maço (B), comprimento de folha até o pecíolo (C), massa seca da parte aérea (D), massa fresca da raiz (E) e comprimento da raiz (F) das cultivares de rúcula Astro e Roka submetidas a diferentes doses de ferro aos 25 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.

O comprimento de raiz (Figura 3) foi maior para os tratamentos T1 (38,46 cm), T2 (34,09 cm) e T3 (36,58 cm) da variedade Astro e tratamento T1 (35,10 cm) e T3 (36,75 cm) da variedade Roka.

Foi observado nas plantas submetidas às maiores concentrações de Fe (T3 e T4), coloração escurecida comparada as raízes da planta testemunha. Resultados semelhantes foram observados por Howeler (1973) em plantas de arroz. O

escurecimento das raízes segundo Silva (2009) é um indicativo da deposição de óxido de Fe.

A massa fresca da parte aérea teve como melhor tratamento o T2 com 72,61 g e o T4 com 80,94 g da variedade Astro e tratamento T3 com 71,10 g da variedade Roka. Nota-se que os valores intermediários (T2 e T3) de ferro foram os que apresentaram maiores massa frescas, isso é evidenciado também no trabalho de Gioia et al. (2019), onde ao testarem *microgreens* de rúcula em doses crescentes de ferro, demonstraram que o tratamento com 20 g.1.000 L⁻¹ de ferro teve a segunda maior massa fresca depois da testemunha com 0 de ferro. O mesmo foi observado no trabalho de Giordano et al. (2019), no qual a massa fresca foi menor conforme se aumentou a dose de ferro de 0,015 a 2,0 mM, nas cultivares Salanova ® verde e vermelha em hidroponia-NFT.

A massa seca da parte aérea teve apenas o tratamento T4 (4,87 g) da variedade Astro como a maior, corroborando com os dados trabalho de Gioia et al. (2019) com os *microgreens* de rúcula (9,56 g) na dose de 40 mg.L⁻¹, e a menor massa ficou com os tratamentos T1 (2,68 g) e T2 (2,38 g) da variedade Roka.

Notou-se que houve uma redução na massa fresca da raiz, conforme houve o aumento da dose de ferro. Laurett (2015), observou em rúcula que houve uma diminuição no crescimento de 71,37% para a matéria fresca da raiz considerando a maior dose de ferro testada (225 µmol.L⁻¹) em hidroponia. Da mesma forma que Campos (2014) relatou que ocorreu uma diminuição no crescimento e emissão de raízes secundárias na produção de café Conilon cultivado sob altas doses de ferro. Enquanto Jucoski (2011), em pitaita, observou que à medida que aumentou a concentração do ferro, houve redução do alongamento radicular e do comprimento da raiz primária.

A massa seca da raiz foi maior nos tratamentos T3 e T4 da variedade Astro (1,61 e 1,57 g) e Roka (1,72 e 1,50 g, respectivamente) como os de maiores massas secas de raiz. Diferente do observado por Laurett (2015), ao avaliar plantas de rúcula na maior concentração de ferro houve redução da massa seca da raiz em até 68,33% quando comparada à testemunha. E diferente das observações de Campos (2014) e Adamski (2011), onde os autores relataram o mesmo efeito nas culturas do café conilon e batata-doce.

A produtividade (Figura 5), com o tratamento T4 (3,25 Kg.m⁻²) como o de maior produtividade. Segundo os estudos de Jeyasubramanian (2016), a análise de biomassa revelou um aumento dependente da dose e do tempo devido a absorção de óxido de ferro, além de demonstrou que houve um aumento no teor de ferro das plantas de espinafre de acordo com a dose. Por outro lado, apesar do aumento de Fe na solução nutritiva, gerar o aumento produtivo, na cultura do morango, segundo EISSA *et al.* (2009), ocasiona a redução da firmeza dos frutos (Figura 5).

Assim como no estudo de Laurett (2015), o aumento da concentração de ferro proporcionou maior acúmulo de ferro nas raízes (Figura 5). Os valores de ferro absorvidos entre ambas as cultivares e translocados para a parte aérea ficaram entre 203,80 e 321,02mg/Kg.

O teor de ferro acumulado nas raízes foi consideravelmente maior que no tecido foliar, em cerca de 10-20 vezes mais. Isso é devido o fato do ferro ser pouco móvel na planta, ficando acumulado no sistema radicular, e dessa maneira não sendo translocado para a parte aérea (LAURETT, 2015). Esse maior acúmulo de ferro no sistema radicular, se deve provavelmente a baixa mobilidade do ferro e devida sua precipitação nas folhas mais velhas como óxidos insolúveis, essa precipitação do ferro diminui a mobilização do ferro para dentro do floema e conseqüente redução do transporte a longa distância (TAIZ; ZEIGER, 2017). Isso porque, de acordo com Malavolta *et al.* (1989) a capacidade que a raiz possui para absorver íons é limitada. Pois quando a concentração interna de um íon aumenta, a taxa de absorção declina e vice-versa (FAQUIN, 2005). Stein *et al.* (2008), relataram que a translocação reduzida do ferro das raízes para a parte aérea, tem sido indicada como mecanismo de defesa ao estresse causado por toxidez de ferro.

Com isso, pelos resultados obtidos é possível biofortificar a rúcula com ferro, pois o T2 da Astro, apresentou valor de absorção de ferro muito maior que os demais tratamentos dentro da variedade. Contudo, na variedade Roka, não foi possível verificar um aumento na concentração de ferro absorvido, indicando que a biofortificação possa estar relacionada ao material genético e a concentração de ferro na solução nutritiva.

Mas essa concentração de ferro nas folhas poderia ter sido maior, se o pH da solução se mantivesse mais baixo, porém a acidificação do pH poderia causar a queima das raízes e decréscimo da absorção de outros nutrientes mais importantes, causando assim deficiências nutricionais mais severas. Estudos devem ser feitos

com diferentes tipos de quelatos de ferro e em diferentes formas de aplicação, na intenção de otimizar a absorção sem depreciar a qualidade do planta.

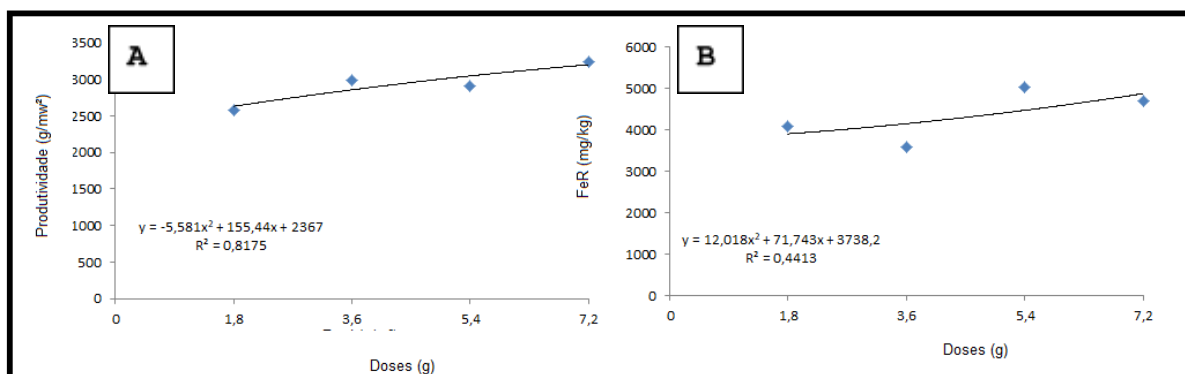


Figura 5. Médias da produtividade (Prod. (g/m²) (A) e ferro ma raiz (FeR (mg/kg) (B) das cultivares de rúcula Astro e Roka submetidas a diferentes doses de ferro em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de inverno 2021.

Considerando-se a estimativa da contribuição da rúcula biofortificado com Fe na recomendação de ingestão diária de 5,5 a 11,1 mg de Fe, observou-se que as quantidades de Fe na porção de 50 g obtidas no inverno foram maiores no tratamento T2 da Astro, na dose de 3,6 mg/1.000 L. Comparando o tratamento com a presença de Fe natural na rúcula (0,9 mg/100 g), constatou-se incremento de 88,38% mais na ingestão diária (Tabela 8). Contudo, o acúmulo de ferro nas folhas deve ser melhor estudado, pois é necessário verificar se é adequada a eficiência de biodisponibilidade do nutriente no organismo humano.

Tabela 8. Quantidade de Fe em uma porção de 50 g de massa fresca (MF) de folhas das cultivares de rúcula Astro e Roka na época de inverno, e a contribuição desta porção em porcentagem para a recomendação de ingestão diária de Fe. Cultivo de inverno 2021.

Doses de Fe (g/1.000L)	Fe em 50g de MFPA (mg)	% da recomendação diária de Fe**
Astro		
1,8	14,63	71,71
3,6	16,05	88,38
5,4	10,19	19,60
7,2	12,09	41,90

Doses de Fe (g/1.000L)	Fe em 50g de MFPA (mg)	% da recomendação diária de Fe**
Roka		
1,8	14,61	71,47
3,6	11,7	37,32
5,4	12,73	49,41
7,2	12,81	50,35

*Recomendação de ingestão de 5,5 a 11,1mg de Fe mg dia⁻¹ numa dieta onívora, para que ocorra a absorção de 1 a 2 mg de ferro no organismo. Na rúcula tradicional a quantidade de ferro presente é de 0,9 mg a cada 100g de massa fresca (TACO, 2011). **Média de 8,52mg de Fe dia⁻¹, equivalente a 46,86mg a 62,75mg de Fe.

5.2. Análises instrumentais

De acordo com os resultados para área foliar (Tabela 9), não houve diferença entre os tratamentos na mesma variedade, com exceção do T 1 da variedade Astro, com menor média. Contudo, à medida que se aumentou a concentração de ferro, a produção da massa fresca não diminui, exceto no tratamento T3 da variedade Astro e T4 da variedade Roka. Porém, no estudo de Laurett et al. (2015), a medida que se aumentou a concentração de ferro, houve diminuição da área foliar. No mesmo estudo, é descrito também que as rúculas com maior área foliar foram as que apresentaram maior massa fresca. Onde o mesmo não foi observado no estudo, pois o T3 da Astro apresentou maior área foliar e mesmo assim teve uma produção de massa fresca abaixo dos demais tratamentos dentro da variedade.

Porém, em comparação à média obtida por Novo et al. (2010) para folhas de tamanho comercial, nível inferior, os valores deste estudo se enquadram próximos as variedades com as maiores folhas, entre 500 e 650 cm², Orelha de Elefante e Vale das Garças.

O teor médio do índice de clorofila total (I.C.T.) nas folhas das rúculas foi maior na variedade Roka, T4, com maior teor de ferro (Tabela 6). A cor verde intensa proporcionada pela clorofila, pode torna-la mais atrativa para os consumidores. A variação entre os tratamentos (T1, T2, T3 e T4) e variedades (Astro e Roka) foi 37,46 a 52,11. O mesmo não foi observado por Laurett et al, (2015) ao analisarem o índice de clorofila total, não observaram diferença entre o aumento da concentração de ferro. Isso porque as doses testadas nessa pesquisa, foram inferiores a dose limite recomendada por Laurett et al. (2015), para que não ocorresse fitotoxicidade por

A.F.	595,27	697,46	799,67	750,55	498,85b	520,18	639,72	549,92	17,34
I.C.T.*	38,88b	41,48b	37,46b	40,15b	42,45b	41,35b	41,51b	52,11a	12,17
Cor L	45,06a	47,08a	43,87b	42,2b	43,11b	42,52b	43,775	42,25b	3,15
Cor a*	-12,5a	-14,38	-12,55	-11,11a	-11,66a	-11,76a	-11,65a	-10,60	8,97
Cor b*	22,61a	26,38a	22,83a	18,52b	19,01b	18,32b	19,98b	17,15b	12,18

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

L = Luminosidade (0= negro e 100= branco); a^* = coordenada vermelho/verde (+a indica vermelho e -a indica verde); b^* = coordenada amarelo/azul (+b indica amarelo e -b indica azul). *unidades SPAD.

5.2 Cultivo de Verão

5.1. Análises agronômicas

Dentre todas as variáveis analisadas para análise agronômica, a altura, largura de folha e número de folha apresentaram (Tabelas 11, 12 e 13) interação para os dois fatores (dose e variedade).

Porém, dependendo da característica avaliada, houve efeito isolado dos tratamentos. Para as variáveis comprimento de folha até o pecíolo, massa fresca da raiz, massa seca da raiz e ferro na raiz, apresentaram diferença significativa para a cultivar.

Tabela 10. Análise de variância para diâmetro de maço, altura de planta, comprimento da folha até o pecíolo e comprimento de folha até a margem da folha (cm) de rúculas das cultivares Astro e Roka submetidas a doses de ferro, aos 20 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de verão 2021.

Causas de variação	GL	Quadrados médios		
		Diam.	Alt.	CFP
Cultivar (C)	1	6,14*	95,39*	27,82*
Dose de ferro(Fe)	3	1,00 ^{NS}	0,65 ^{NS}	2,05 ^{NS}
Int. C x Fe	3	0,49 ^{NS}	3,37*	1,05 ^{NS}
Tratamentos	7	-	-	-

Resíduos	-	24,24	152,09	58,04
CV Parcela (%)	-	4,81	7,40	8,20
CV Sub-Parcela (%)	-	4,08	4,36	7,23

* Significativo a 5% de probabilidade; NS não significativo pelo teste F.

Para largura de folha (LF) das rúculas e número de folhas (NF) houve diferença para as três causas de variáveis, enquanto para a produtividade (Prod.) houve diferença significativa apenas para a variável cultivar. Já para o comprimento de raiz (CR), não houve significância apenas em nenhuma das variáveis, a 5% de probabilidade (Tabela 9).

Tabela 11. Análise de variância para a largura da folha (LF), número de folhas (NF), produtividade (Prod. Kg m⁻²) e comprimento de raiz (CR (cm) de rúcula das cultivares Astro e Roka submetidas a diferentes doses de ferro, aos 20 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de verão 2021.

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		LF	NF	Prod.	CR
Cultivar (C)	1	0,58*	286,50*	111665,92*	6,91 ^{NS}
Dose de ferro(Fe)	3	1,16*	239,76*	71983,72 ^{NS}	6,27 ^{NS}
Int. C x Fe	3	2,27*	239,02*	7710,43 ^{NS}	4,96 ^{NS}
Tratamentos	7	-	-	-	-
Resíduos	-	13,13	1757,91	943096,19	186,51
CV Parcela (%)	-	5,33	13,02	7,12	8,04
CV Sub-Parcela (%)	-	6,97	16,54	5,89	9,32

* Significativo a 5% de probabilidade; NSs não significativo pelo teste F.

A Tabela 13 apresenta a análise de variância para a massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca raiz (MSR) para os fatores cultivares e dose de ferro. Observou que não houve interação entre os fatores, para a variável massa seca da parte aérea. Enquanto que, a massa fresca da parte aérea, apresentou diferença significativa a 5% de probabilidade, para a variação cultivar e na dose de ferro, foram a massa fresca da raiz e massa seca da raiz.

Tabela 12. Análise de variância para as massas fresca e seca da parte aérea e massa fresca e seca da raiz (g) de rúculas das cultivares Astro e Roka submetidas as doses de ferro, aos 20 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de verão 2021.

Causas de variação	GL	Quadrados médios			
		MFPA	MFR	MSPA	MSR
Cultivar (C)	1	56,47*	2,04 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Dose de ferro(Fe)	3	36,41 ^{NS}	12,66*	0,40 ^{NS}	0,15*
Int. C x Fe	3	3,90 ^{NS}	2,77 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,03 ^{NS}
Tratamentos	7	-	-	-	-
Resíduos	-	477,50	109,70	8,24	1,42
CV Parcela (%)	-	7,12	15,13	4,57	6,68
CV Sub-Parcela (%)	-	5,90	16,66	6,99	7,33

* Significativo a 5% de probabilidade; NS não significativo pelo teste F.

A concentração de ferro na parte aérea (FePA), apresentou diferença na análise de variância para a variação cultivar e a concentração de ferro na raiz (FeR), teve diferença significativa par a variação dose de ferro, a 5% de probabilidade (Tabela 13).

Tabela 13. Análise de variância para as quantidade de ferro na parte aérea (FePA) e radicular (FeR) de rúculas das cultivares Astro e Roka submetidas as doses de ferro, aos 20 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de verão 2021.

Causas de variação	GL	Quadrados médios	
		FePA	FeR
Cultivar (C)	1	13775,92*	1274,99 ^{NS}
Dose de ferro(Fe)	3	8769,90 ^{NS}	2974504,53*
Int. C x Fe	3	3101,92 ^{NS}	1834826,33 ^{NS}
Tratamentos	7	-	-
Resíduos	-	122383,41	2788629,73
CV Parcela (%)	-	25,36	18,74
CV Sub-Parcela (%)	-	222,92	20,72

* Significativo a 5% de probabilidade; NS não significativo pelo teste F.

Na característica de altura de maço, observou-se que houve aumento no tamanho de maço em decorrência do aumento da dose de ferro testada (Figura 6), sendo que a cultivar Astro, apresentou maiores alturas em comparação a cultivar Roka, apresentando os valores máximos de 24,5 cm e 21,12 cm, diferença de 3,38 cm, (13,79% a mais entre as cultivares), respectivamente. O oposto foi visto por

Laurett (2015) para rúcula, onde a altura de planta, teve redução de 34,94% na maior concentração de Fe comparada a testemunha. Enquanto que referente às testemunhas (T1) das cultivares, a diferença foi de 7,55% e 5,58%. Porém, deve-se levar em conta que as características morfológicas dos materiais genéticos eram diferentes, mas em ambos foi possível aumentar sua altura de maço diante as testemunhas, portanto, como as rúculas hidropônicas são comercializadas em saco plástico cônico de polietileno, conferem maior preenchimento do saco no momento do ensacamento.

Já a característica de largura de folha, notou-se que diminuiu na cultivar Roka de 6,18 cm (T1) para 4,51 cm (T4), representando uma diminuição de 27,02%. Enquanto a cultivar Astro, os valores foram quase similares, com variação de 0,45 cm (equivalente a 9,35%) entre a menor e maior média obtida entre os tratamentos da Astro. Em rúcula, Laurett (2015), também notou que ocorreu redução de 59,12% na área foliar comparando a maior concentração de Fe com o controle. A redução da área foliar, na cultura da rúcula corrobora com os resultados de Adamski et al. (2011), os quais também observaram diminuição da área foliar com o aumento da concentração de Fe em plantas de batata-doce. O tamanho da área foliar é fundamental para a produção de fotoassimilados e posterior distribuição e acúmulo de fitomassa (TAIZ & ZEIGER, 2013).

A característica número de folha, mostrou que o T3 da Astro e o T2 da Roka, foram as que tiveram maior número de folhas, produzindo 4,76% e 10,95% a mais (Tabela 15.), resultado um pouco diferente do encontrado por Laurett (2015), onde observou que para alface e rúcula houve diminuição no número de folhas, com o aumento da concentração de Fe na solução nutritiva, sendo a redução na maior concentração de Fe, em 70,48% e 38,68% a menos folhas para alface e rúcula, respectivamente. Mas os valores observados por Queiroz et al. (2014) em alface hidropônica no verão, tiveram médias de 17,15 folhas por planta, sendo o maior número de folhas, sendo justificado pelo sistema de plantio, visto que em sistemas hidropônicos, os nutrientes estão disponíveis para as planta em quantidade suficiente durante o ciclo, podendo a planta expressar seu máximo desempenho vegetativo.

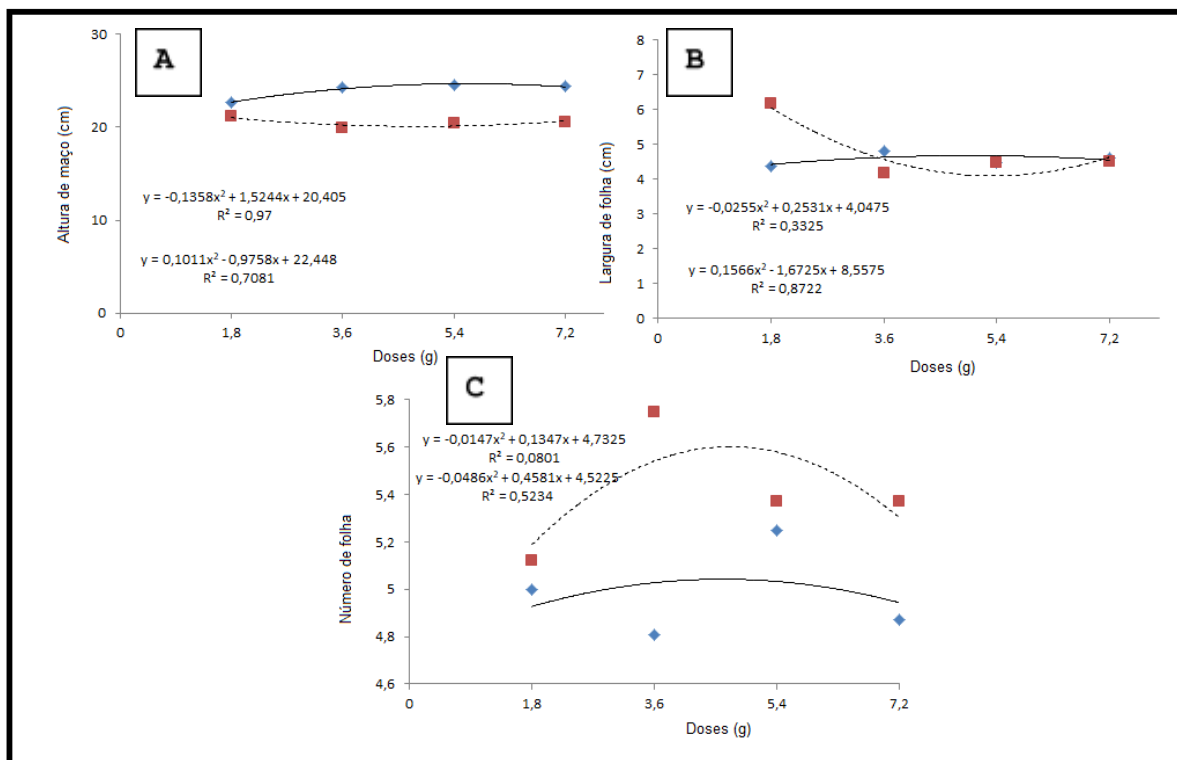


Figura 6. Altura de maço (A), largura de folha (B), número de folhas (C) das cultivares de rúcula Astro (—◆—) e Roka (-■-) submetidas a diferentes doses de ferro aos 20 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de verão 2021.

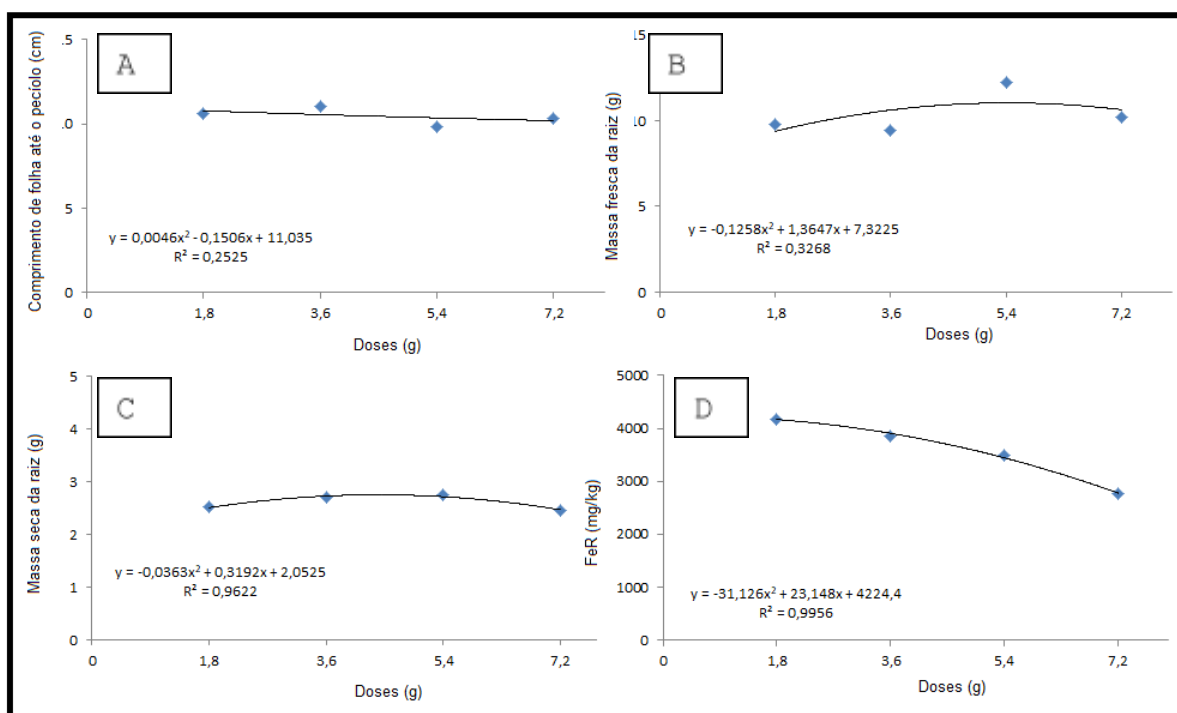


Figura 7. Média do comprimento de folha até o pecíolo (CFP) (A), massa fresca da raiz (MFR) (B), massa seca da raiz (MSR) (C) e ferro na raiz (FeR) (D) das cultivares

de rúcula Astro e Roka submetidas a diferentes doses de ferro aos 20 DAT em cultivo hidropônico-NFT. Cultivo de verão 2021.

O comprimento da folha até o pecíolo obteve valores similares que variaram entre 9,85 cm a 11,06 cm. Apresentando uma variação de 10,94% a mais (Figura 7). Analisando de forma conjunto, apesar da largura de folha ter diminuído o comprimento da folha até o pecíolo aumentou, assim como a altura do maço, indicando assim uma área foliar mais ereta e fina. Resultado diferente por obtido por Laurett (2015) para rúcula, onde ocorreu redução de 59,12% na área foliar comparando a maior concentração de Fe com o controle. Então, para comprovar essa observação, notou-se que houve aumento da massa fresca em ambas cultivares nas doses de ferro testadas em comparação a testemunha, indicando assim uma área foliar maior, pois ocasionou maior área de absorção de luz para produção de fotoassimilados, resultando em maior acúmulo de fitomassa na parte aérea (TAIZ & ZEIGER, 2013).

A massa fresca da raiz, mostrou uma maior massa para o T3 na cultivar Astro e Roka. A massa fresca da raiz corroborou com o maior massa fresca obtido na cultivar Astro, pois o maior volume radicular, conseqüentemente significou maior superfície para absorção de nutrientes, porém para a cultivar Roka não foi observado o mesmo. O oposto foi visto novamente por Laurett (2015), onde para rúcula, considerando a concentração de $96,7 \text{ mg L}^{-1}$, em comparação ao controle ($19,34 \text{ mg L}^{-1}$), foi observada redução de 66,24% para massa fresca da raiz. Por isso, apesar de o Fe ser um nutriente essencial para o crescimento da planta, o seu excesso prejudica o desenvolvimento do vegetal (DECHEN & NACHTIGALL, 2006).

Enquanto na massa seca da raiz, os valores corroboraram com a massa fresca, onde o T3 nas cultivares Astro e Roka, que anteriormente apresentaram as maiores médias de massa fresca de raiz, também foram as que apresentaram maior massa seca de raiz em 2,76 g. e 2,75 g, respectivamente. Indicando possivelmente que a dose do T3 possa ser melhor, pois ao observamos o T4, notamos que ocorreu queda na produção de massa seca da raiz, igual ao observado em alface e rúcula (LAURETT, 2015) e em batata-doce por Adamski et al. (2011), observaram que, à medida que foi aumentada a concentração de Fe, o alongamento radicular e o comprimento da raiz primária diminuíram, indicando assim uma possível melhor dose para rúcula.

Já a quantidade de ferro na raiz, observou que ocorreu uma queda no ou teor, indo de 3782,68 mg Kg⁻¹ para 3112,69 mg Kg⁻¹ (o mesmo que 21,52% a menos) conforme houve o aumento da dose na cultivar Roka, o mesmo ocorreu na cultivar Astro, onde os maiores teores radiculares de ferro ficou para a testemunha em 4579,1 mg Kg⁻¹ indo para 2411,03 mg Kg⁻¹ (47,34% a menos) no T4, praticamente o dobro da cultivar Roka. O ferro tem um importante papel como componente de enzimas envolvidas na transferência de elétrons (reações redox), como citocromos (TAIZ et al., 2017), o que provavelmente pode indicar maior uso da planta.

Tabela. 14. Médias das características agrônômicas de diâmetro de maçõ (Diam.), massa seca da parte aérea (MSPA), número de folhas (NF), produtividade (Prod.), comprimento de raiz (CR) e ferro na parte aérea (FePA) da rúcula Astro e Roka cultivada em sistema hidropônico NFT em função de diferentes doses de ferro, aos 20 dias após transplântio. UFSCar, Araras (SP). Cultivo de verão 2021.

Tratament o	Diâmetro (cm)	MSPA (g)	MFPA (g)	yht	CR (cm)	FePA
Astro- T1	17,62a	8,38 a	47,19 a	2097,61 a	27,53 a	204,42 b
Astro- T2	18,00a	8,84 a	49,53 a	2201,39 a	25,62 a	167,54 b
Astro- T3	17,72a	8,89 a	52,83 a	2347,94 a	25,84 a	200,32 b
Astro- T4	17,75a	8,68 a	50,99 a	2266,28 a	25,78 a	210,35 b
Roka- T1	16,09b	8,29 a	45,2 a	2008,86 a	27,37 a	206,20 b
Roka- T2	17,31a	8,35 a	46,34 a	2059,50 a	27,34 a	188,38 b
Roka- T3	17,37a	8,83 a	48,5 a	2155,83 a	28,59 a	251,67 b
Roka- T4	16,81a	8,80 a	49,87 a	2216,45 a	25,18 a	302,36 a
C.V (%)	4,08	6,99	5,9	5,89	9,32	22,92

*Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey

Dentre as médias obtidas pelo teste de Tukey, foi visto que no diâmetro de maçõ, apenas a testemunha da cultivar Roka foi diferente estatisticamente das demais, apresentando 16,09 cm. Enquanto a massa seca da parte aérea, comprimento de raiz e produtividade, não houve diferença estatística entre as doses e cultivares.

Já na massa fresca da parte aérea, verificou que o tratamento T3 na cultivar Astro, apresentou massa de 52,83 g por planta (10,67% a mais que a testemunha) e na cultivar Roka a maior massa foi apresentada no T4 com 49,87 g (9,36% a mais que a testemunha), sendo a testemunha inferior para ambas as cultivares. Porém, apesar da Roka ter sido inferior a Astro, deve-se levar em conta de que as características genéticas de tamanho de folhas são diferentes de uma cultivar para outra, mas o incremento no acúmulo de massa fresca foi até que similar para ambos. Para a cultivar Roka, isso é muito interessante, visto que ela vêm sendo muito utilizada para o mercado de hortaliças processadas. Sendo que os resultados diferiram da observação de Laurett (2015), onde o autor cita que os tratamentos que atingiram maior área foliar foram os que obtiveram também o maior acúmulo de massa fresca, na cultivar Rococó, o que foi contrário do observado no estudo.

Diante o resultado do acúmulo na parte aérea, apesar de não apresentar diferença estatística, numericamente o T4 da Astro apresentou maior acúmulo na parte aérea ($210,35 \text{ mg kg}^{-1}$), enquanto, apenas o T4 da Roka teve maior acúmulo de ferro na parte aérea ($302,36 \text{ mg kg}^{-1}$), sendo diferente as demais perante a estatística realizada (Tabela 15). O ferro é parte do grupo catalítico de muitas enzimas que participam em reações de redução na fotossíntese e respiração. Também faz parte de várias enzimas oxidases, como a catalase e a peroxidase. Parece ser importante na síntese de constituintes dos cloroplastos, especialmente das proteínas transportadoras de elétrons (PAULILLO et al., 2015).

Considerando-se a estimativa do acúmulo da rúcula biofortificado com Fe na recomendação de ingestão diária de 5,5 a 11,1 mg de Fe, observou-se que a concentração de Fe na porção de 50 g obtidas no verão foram maiores no T4 da Roka, na dose de $7,4 \text{ mg } 1.000\text{L}^{-1}$. Comparando o tratamento com a presença de Fe natural na rúcula ($1,46 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$), constatou-se incremento de 77,34% a mais na ingestão diária (Tabela 16)

Tabela 15. Quantidade de Fe em uma porção de 50 g de massa fresca (MFPA) de folhas das cultivares de rúcula Astro e Roka na época de verão, e a contribuição desta porção em porcentagem para a recomendação de ingestão diária de Fe. Cultivo de verão 2021.

Doses de Fe	Fe em 50g de MFPA	% da recomendação diária de Fe**
-------------	-------------------	----------------------------------

(g/1.000L)	(mg)	
Astro		
1,8	10,22	19,95
3,6	8,37	1,76
5,4	10,06	18,07
7,2	10,51	23,35
Doses de Fe (g/1.000L)	Fe em 50g de MFPA (mg)	% da recomendação diária de Fe**
Roka		
1,8	10,31	21
3,6	9,41	10,44
5,4	12,58	41,52
7,2	15,11	77,34

*Recomendação de ingestão de 5,5 a 11,1mg de Fe mg dia⁻¹ numa dieta onívora, para que ocorra a absorção de 1 a 2 mg de ferro no organismo. Na rúcula tradicional a quantidade de ferro presente é de 0,9 mg a cada 100g de massa fresca (TACO, 2011). **Média de 8,52mg de Fe dia⁻¹, equivalente a 46,86mg a 62,75mg de Fe.

5.2. Análises instrumentais

De acordo com os resultados para área foliar (A.F.) (Tabela 17), não houve diferença entre os tratamentos para a variedade Roka, confirmando os resultados obtidos na colheita de inverno. Para a variedade Astro, houve um aumento nos tratamentos 2 e 3, com diminuição para o Tratamento 4.

O índice de clorofila total (I.C.T.) nas folhas das rúculas foi maior na variedade Roka, que na Astro e sem diferença significativa entre os tratamentos da mesma cultivar. Laurett (2015) analisou o índice de clorofila total e não observou diferença entre o aumento da concentração de ferro.

Para as variáveis da cor Minolta (L, a^* e b^*) (Tabela 17) verificou-se que para a variedade Astro, a Luminosidade (L) que não houve diferença entre as variedades e entre os doses utilizadas nos tratamentos. Na colheita de inverno os tratamentos T1 e T2 da variedade Astro apresentaram valores superiores em relação aos T3 e T4. Verificou-se que as medidas do L de verão foram numericamente superiores, independente da variedade e tratamentos.

Para a coordenada a^* , que varia indica vermelho ao verde, o tratamento 1 da variedade Roka apresentou valor superior aos demais tratamentos aplicados na variedade (-12,01) e entre os tratamentos da variedade Astro, não houve diferença

significativa. Os valores obtidos foram numericamente semelhantes nas duas estações.

Para a coordenada b^* , que varia do amarelo ao azul, as variedades apresentaram diferenças e entre os tratamentos das variedade, não houve. Os dados obtidos entre nas duas estações foram numericamente próximos.

Tabela 16. Médias dos tratamentos (T1, T2, T3 e T4) para área foliar (A.F.), índice de clorofila total (I.C.T.), cor instrumental (L, a^* e b^*) das rúculas Astro e Roka produzidas em sistema hidropônico-NFT com diferentes doses de ferro. UFSCar, Araras. Cultivo de verão 2021.

	Astro				Roka				
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	C.V(%)
A.F.	569,34	647,72	719,49	551,87	558,78b	515,21	587,03	606,28	12,06
I.C.T.*	33,96b	31,56b	29,20b	29,33b	39,76 ^a	40,23 ^a	41,20 ^a	37,93a	12,05
Cor L	48,33a	47,90a	46,52a	47,12a	46,27a	46,26a	44,41a	45,80a	3,43
Cor a^*	-13,23	-12,40	-12,90	-12,71	-12,01a	-10,60b	-10,88b	-11,75	7,64
Cor b^*	25,45a	23,81a	24,30a	23,82a	21,28b	18,10b	18,17b	20,52b	11,22

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

L = Luminosidade (0= negro e 100= branco); a^* = coordenada vermelho/verde (+a indica vermelho e -a indica verde); b^* = coordenada amarelo/azul (+b indica amarelo e -b indica azul). *unidades SPAD.

6 CONCLUSÕES

Pelo indicativo da ingestão diário de ferro e a presença natural de Fe em rúcula, foi possível concluir que houve biofortificação em ambas as cultivares, sendo no período do inverno a cultivar Astro na dose $3,6 \text{ mg } 1.000\text{L}^{-1}$ e a cultivar Roka no período do verão do tratamento $7,2 \text{ mg } 1.000\text{L}^{-1}$, as que apresentaram maior translocação e acúmulo de Fe na parte comestível.

Com isso, foi possível tornar a rúcula biofortificada e assim estimar uma menor ingestão de massa fresca da planta para atingir a necessidade diária de ingestão de Fe.

De acordo com os resultados obtidos no estudo, conclui-se que, a época de cultivo pode influenciar na capacidade da planta em absorver ferro, pois com a precocidade do ciclo no verão, pode ser que os dias a menos na bancada conferiram menor exposição das raízes ao ferro, diferente do inverno que as plantas ficaram 5 dias a mais e pelo fato do metabolismo no verão ser mais acelerado, ter ocasionado a saturação diária de absorção do Fe pelas raízes mais rápido.

Outro ponto a ser observado, é de que a cor das plantas ficou mais intensa conforme houve o aumento crescente da dose de ferro, assim como a coloração das raízes adquiriu uma cor mais avermelhada, porém o maior acúmulo de ferro na raiz, não significa maior presença do íon para translocação para a parte aérea.

7 LITERATURA CITADA

- ABADIA, Javier. **Iron nutrition in soils and plant**. 2.ed. Dordrecht: Kluwer, 1995.
- ABH, Anuário Brasil Hidroponia. 2018. Revista Hidroponia. Editora Comunicação Equilíbrio Sustentável, Novo Hamburgo – RS, ed 1.
- ADAMSKI, Janete Mariza. **Respostas morfofisiológicas de *Ipomoea batatas* L. em função da concentração de ferro**. 2011. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.
- ANDRIOLO, Jerônimo Luiz. **Olericultura geral: princípios e técnicas**. 2. ed. UFSM: Santa Maria, 2013.
- BARRÍA, Luis. **Producción hidropónica de hortalizas en Magallanes**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade de Magallanes, Punta Arena, 2005.
- BEZERRA Neto E.B; BARRETO, Levy P. As Técnicas De Hidroponia. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 8 e 9, p.107-137, set. 2012.

CAKMAK, Ismail *et al.* Triticumdicoccoides: an important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. **Soil Science and Plant Nutrition**. Irã, v. 50, n.7, p. 1047-1054, 2004. Disponível em: [https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00380768.2004.10408573#:~:text=dicoccoides%20\(wild%20emmer\)%20is%20an,Fe%20in%20modern%20cultivated%20wheat](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00380768.2004.10408573#:~:text=dicoccoides%20(wild%20emmer)%20is%20an,Fe%20in%20modern%20cultivated%20wheat). Acesso em: 24 abr. 2022.

CAKMAK, Ismail. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification. **Plant and Soil**, Istanbul, v. 302, p. 1-17, dez. 2008.

CAMPOS, Luan .Morati. **Respostas de café conilon à concentração de ferro**. 2014. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal)- Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2014.

CATALDO, D.A. *et al.* Organic constituents and complexation of nickel (II), iron (III), cadmium (II) and plutonium (IV) in soybean xylem exudates. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 86, n.3, p. 734-739, mar. 1988. Disponível em: <https://academic.oup.com/plphys/article/86/3/734/6082932?login=true>. Acesso em: 25/09/2021

CEAGESP Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. Disponível em: <<http://www.ceagesp.gov.br/cotacoes/>> . Acesso em: 3 mar. 2021.

CHANEY, R. L.; BELL, P. F. Complexity of iron nutrition: lessons for plant-soil interaction research. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.10, n.9-16, p. 963-994, nov. 1987. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904168709363626>. Acesso em: 25/09/2021

CHEN, X. D.; MUJUMDAR, A. S. **Drying technologies in food processing**. United Kingdom: Oxford, 2009.

CHEN, Y.; BARAK, P. Iron nutrition of plants in calcareous soils. **Advance in Agronomy**, San Diego, v.35, n.1, p.217-240, dez. 1982. Disponível em : https://www.researchgate.net/profile/Phillip-Barak/publication/282221248_Iron_Nutrition_of_Plants_in_Calcareous_Soils/links/5a41b7afaca272d294562153/Iron-Nutrition-of-Plants-in-Calcareous-Soils.pdf. Acesso em: 25 set. 021.

CLARK, S. F. Iron deficiency anemia. Nutrition in Clinical Practice, **Silver Spring**, v. 23, n. 2, p. 128-141, Apr. 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18390780/>. Acesso em 25 set. 2021.

COMETTI N. N.; FURLANI, P. R.; GENUNCIO, G. C. Soluções nutritivas: composição, formulação, usos e atributos. In: Fernandes M. S., Souza, S., R. Asntos, L. A. (ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2° edição. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. p. 9-46.

COMETTI, N. N.; GALON, K.; BREMENKAMP, D. M. Comportamento de quarto cultivares de alface em cultivo hidropônico em ambiente tropical. **Revista Eixo**, Brasília-DF, v. 8, n. 1, 2019. Disponível em: <http://revistaeixo.ifb.edu.br/index.php/RevistaEixo/article/view/563>. Acesso em: 24 abr. 2022

Conselho Federal de Nutricionistas. Disponível em: https://www.cfn.org.br/wpcontent/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf, Acesso em: 06/07/2022

COSTA, Mendes. F. da C. *et. al.* Desempenho de cultivares de rúcula sob telas de sombreamento e campo aberto. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, n.1, p.93-102, mar. 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744100009.pdf>. Acesso em 25 set.2021.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. **Micronutrientes**. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

EISSA, Ennas N. *et al.* Effect of iron and manganese levels on productivity and quality of strawberry grown in water culture. **Egyptian Journal Of Horticulture**, Cairo, v. 36, n. 2, p. 359-371, jan. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/294087927_Effect_of_Iron_and_and_Manganese_Levels_on_Productivity_and_Quality_of_Strawberry_Grown_in_Water_Culture e Acesso em 25 set. 2021.

FAQUIN, Valdemar. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA, 2005.

FISBERG, Mauro *et al.* Consenso Sobre Anemia Ferropriva: Mais Que Uma Doença, Uma Urgência Médica. **Sociedade Brasileira De Pediatria**, n.2 p.1-13. jun. 2018. Disponível em: https://www.sbp.com.br/fileadmin/user_upload/23172c-Diretrizes-Consenso_sobre_A_nemia_Ferropriva.pdf. Acesso em: 24 abr. 2022.

FURLANI, P. R. Instruções para Cultivo de Hortaliças de Folhas pela técnica de hidroponia NFT. **Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, v.2, n.168, 30p. 1998.

GAMA, Florinda Maria Martins. **Movimento e sinalização do ferro em plantas com estratégia I**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade do Algarve, Portimão, 2017.

GARCÍA-MINA, Jose M. *et al.* Interaction of different iron chelates with na alkaline and calcareous soil: a complementary methodology to evaluate the performance of iron compounds in the correction of iron chlorosis. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 26, n. 10/11, p. 1943-1954, out. 2003. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201500054754>. Acesso em 25 set. 2021.

GENUNCIO, G.C. *et al.* Produtividade de rúcula hidropônica cultivada em diferentes épocas e vazões de solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, Brasília v. 29, n.2, p. 605-608, dez. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/VQPvYmPR58ZfhB8VWc3BSR/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em 25 set. 2021.

GIOIA, Francesco D. Zinc and Iron Agronomic biofortification of Brassicaceae Microgreens. **Agronomy**, Pensilvânia, v.9, n.677, p.1-20 out. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/11/677/htm>. Acesso em: 25 set. 2021.

GIORDANO, Maria *et al.* Iron Biofortification of Red and Green Pigmented Lettuce in Closed Soilless Cultivation Impacts Crop Performance and Modulates Mineral and Bioactive Composition. **Agronomy**, v. 9, n. 6, p. 290, 5 jun. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/6/290>. Acesso em: 25 set. 2021.

GONZALEZ, A.F.; AYUB, R.A.; M.Y. Conservação de rúcula minimamente processada produzida em campo aberto e cultivo protegido com agrotêxtil. **Horticultura Brasileira**, Ponta Grossa, v.24, n.3 p.360-360, ago. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/rZVjZTyPhdJXPkrv4cn9vNq/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 25 set. 2021

GRAHAM, Robin D. *et al.* Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**. v. 92, p. 1-74, mai. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222416592_Nutritious_Subsistence_Food_Systems. Acesso em: 25/ set. 2021.

GUIMARÃES, Nádia R. *et al.* Adubação nitrogenada na produção de rúcula. **Agronomic Journal**, Goianésia, v. 3, n. 2, p. 44-55, nov. 2019. Disponível em:

<http://anais.unievangelica.edu.br/index.php/ipeagronicjournal/article/view/5471>.

Acesso em: 25 set. 2021.

GUIRRA, Keyla S. *et al.* Germinação de sementes de tomateiro tratadas com fontes de ferro e zinco para biofortificação agrônômica. **Scientia Plena**, Juazeiro, v. 11, n. 10, p. 1- 7, nov. 2015. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/100201>. Acesso em: 25 set. 2021.

HENDRA, H. A.; ANDOKO, A. **Bertanam sayuran hidroponik ala paktani hydrofarm**. Jakarta: AgroMedia, 2014.

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

HERNÁNDEZ, Luis Felipe. **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 Crespa (*Lactuca sativa*)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Automação Industrial) - Universidade Nacional de Colômbia, Bogotá, 2017.

HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L.; LUCENA, J. J. Influence of the soil solution ratio, interaction time, and extractant on the evaluation of iron chelate sorption/desorption by soils. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 54, n. 6, p. 2493-2500, fev. 2011. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf104120e>. Acesso em: 25 set. 2021.

IEA. **Instituto de Economia Agrícola**. Disponível em: <<https://attaleadigital.com.br/iea-instituto-de-economia-agricola-pib-da-producao-de-hortalicas-no-estado-de-sao-paulo-2017/>> Acesso em: 21 fev. 2021.

INCA, Sául. **Automatización y control del sistema NFT para cultivos hidropónicos**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Eletrônica) - Universidade Ricardo Palma, Lima, 2013.

JARDINA, Lucimara L. *et al.* Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **Journal of Neotropical Agriculture**, Mato Grosso do Sul, v.4, n.1, p.78-82, mar. 2017. Disponível em : <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1399> Acesso em: 25 set. 2021

JEONG, J.; CONNOLLY, L. E. Iron uptake mechanisms in plants: functions of the FRO family of ferric reductases. **Plant Science** v.176, n. 6, p.709-714, jun. 2009. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945209000594?casa_token=6nefTOJK0YcAAAAA:pSOfEmRPW_thWMaXewM3ikZcbTlcUNZXwiHatgrvYe8SSWbsl1i4G5AVDJPpuhfuDqhPJw0IV-0 Acesso em: 25 abr. 2021.

JEYASUBRAMANIAN, K. Enhancement in growth rate and productivity of spinach grown in hydroponics with iron oxide nanoparticles. **Royal society of chemistry Advances**, v. 6, n. 19, p. 15451-15459, jan. 2016 Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/RA/C5RA23425E>. Acesso em: 25 set. 2021.

JUCOSKI, G. O. de. **Toxicidade de ferro e metabolismo antioxidativo em *Eugenia uniflora* L.** 2011 Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, B. A. **Trace elements from soil to human.** Springer: New York, 2007.

KERBAUY, G.B.A. **Fisiologia Vegetal.** 2^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

KOBAYASHI, T., NISHIZAWA, N.K. Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants. **Annual review of plant biology** v.63, p.131-152, jun. 2012. Disponível em: <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Kobayashi-Y-Nishizawa-2012.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2022.

KUMAR, Sushil *et al.* Mapping quantitative trait loci controlling high iron and zinc content in self and open pollinated grains of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.], **Frontier Plant Science**. Bikaner, v.7, n. 23, p.1636 nov. 2016. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01636/full>. Acesso em: 24 abr. 2022.

LARBI, Ajmi *et al.* Down co-regulation of light absorption, photochemistry, and carboxylation in Fe-deficient plants growing in different environments. **Photosynthesis Research** Zaragoza, v. 89, n. 2-3, p. 113-126, out. 2006. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11120-006-9089-1>. Acesso em: 25 set.2021.

LAURETT, Luciene *et al.* Desempenho da alface e da rúcula em diferentes concentrações de ferro na solução nutritiva. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal Of Agricultural And Environmental Sciences**, v. 60, n. 1, p.

45-52, 2017. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.2466>. Acesso em: 24 abr. 2022.

LEESON, S.; SUMMERS, J.D. **Nutrition of the chicken**. Ontario: University Books, 2001.

LEIVA ESPINOZA, Santos T. *et al.* Comportamiento productivo de 11 variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistema hidropónico NFT recirculante (Chachapoyas – Amazonas). **Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable**, Peru, v. 2, n. 1, p. 50-56, mar. 2019. Disponível em: https://www.lareferencia.info/vufind/Record/PE_79d74f21076fc041bdb31f599a834cfc Acesso em: 26 set. 2021

LINDSAY, Wilard. **Chemical equilibrium in soils**. New York: Wiley, 1979.

MAIA, João Pedro. **Comportamento agrônômico de cultivares de alface americana em sistema hidropônico**. 2019. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2019.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1989. p. 201.

MARSCHNER, Horst. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 ed. Londres: Academic Press, 2012.

MARTENS, D.C.; WESTERMANN, D.T. Fertilizer application for correcting micronutrient deficiencies. *In*: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 549-592.

MATOS, T.S.; NASCIMENTO, E.C.; GENUNCIO, G. C. 2016. Consumo de rúcula está em plena expansão. *Revista Campo & Negócios*. Acesso em: 20 out. 2021.

MATSUZAKI, Ricardo Toshiharu. **Quelatos de ferro afetam o crescimento e a produção de rúcula cultivada em sistema hidropônico**. 2013. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

MINOLTA CORP. **Precise Color Communication: color control from feeling to instrumentation**. Osaka: Minolta Corporation Ltda., 2007.

MOORE, D.P. Mechanisms of micronutrient uptake by plants. *In*: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. **Micronutrient in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.17.

MORGAN, G.; DREW, H. Research on residual affinity and coordination.II. Acetylacetones of selenium and tellurium. **Journal of the Chemical Society**, London, v. 117, p. 1456-1465, out. 1920. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1920/ct/ct9201701456/unauth> Acesso em: 25 abr. 2022.

NASCIMENTO, Carolina Seno. **Biofortificação agrônômica da rúcula com selênio em sistema hidropônico**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2018.

NATT, C. Effect of slow release iron fertilizers on chlorosis in grape. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 15, n. 10, p. 1891-1912 ,nov. 1992. Disponível em : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904169209364446>. Acesso em: 25 set. 2021.

NEWELL, G.J.; MacFARLANE, J.D. Expanded tables for multiple comparison procedures in the analysis of ranked data. **Journal of Food Science**, v.52, n.6 p.1721-1725, nov. 1987. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1987.tb05913.x>. Acesso em: 25 set. 2021.

NOVO, Maria C.S.S. *et al.* Caracterização morfológica e da coloração de folhas de couve do banco de germoplasma do Instituto Agrônômico de Campinas. **Infobibos**, Campinas, p. 1-10, mar. 2010. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2011_1/couve/index.htm#:~:text=A%20couve%20a%20presenta%20grande%20diversidade,com%20forma%20e%20cores%20distintas. Acesso em: 24 abr. 2022.

OLIVEIRA, Flavio Sarmiento de. **Biofortificação agrônômica do milho verde com ferro e zinco**. 2019. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019.

OLIVEIRA, Francisco A. *et al.* Desempenho de cultivares de rúcula submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v.8, n.3, p.67-73, jul.-set. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Wqc557GhNdfMH7gy9y455Qq/abstract/?lang=pt&format=html> . Acesso em: 25 set. 2022.

ONU. Organização das nações unidas. Disponível em:< <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/> > Acesso em: 22 mar. 2021.

PAULILO, M. T. S.; VIANA, A. M.; RANDI, A. M. **Fisiologia Vegetal**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

PEDREIRA, Aparecida C. de M. S. 10 Razões para se consumir carne vermelha. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 1-3, jan. 2006.

PESTANA, Maribela *et al.* Diagnosis and correction of iron chlorosis in fruit trees: a review. **Food, Agriculture & Environment** Faro, v. 1, n. 1, p. 46-51, jan. 2003.

Disponível em:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1038.535&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 24 abr. 2022.

PETRY, Nicolai. *et al.* Review: The Potential of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) as a Vehicle for Iron Biofortification. **Nutrients**, Suíça, v. 7, p.1144-1173, fev. 2015. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/James-P-Wirth/publication/273494521_Review_The_Potential_of_the_Common_Bean_Phaseolus_vulgaris_as_a_Vehicle_for_Iron_Biofortification/links/552508270cf2b123c5176b6d/Review-The-Potential-of-the-Common-Bean-Phaseolus-vulgaris-as-a-Vehicle-for-Iron-Biofortification.pdf Acesso em: 24 abr. 2022.

PFEIFFER, H. W; MCVLAFFERTY B. HarvestPlus: breeding crops for better nutrition, **Crop Science**. Washington, v.47, n. 3, p. 88–105, dez. 2007. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2007.09.0020IPBS> Acesso em: 25 set. 2021

PINHEIRO, Wagner D. *et al.* Densidade de plântulas e concentrações da solução nutritiva para rúcula hidropônica no período de primavera e verão. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 23163-23176, fev. 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/25947>. Acesso em: 24 abr. 2022.

RÊGO, G. M. **Avaliação dos Teores de Clorofila no Crescimento de Mudanças do Jequitibá-Rosa (*Cariniana legalis*)**. Colombo: Embrapa, 2004. 4p. (Comunicado técnico)

REYES, Sérgio Manuel Rugeles. **Aplicação foliar de zinco na biofortificação de rúcula**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2017.

RIVERA, Nano. **Evaluación de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes (NFT) en el**

Centro Experimental de Coca Cota, La Paz. 2015 Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) - Universidade Mayor de San Andrés, La Paz, 2015.

ROMBOLÀ, Adamo D. *et al.* Prevention of Iron-Deficiency Induced Chlorosis in Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) Through Soil Application of Synthetic Vivianite in a Calcareous Soil. **Journal of plant nutrition** Bologna, v. 26, n.10-11,p. 2031-2041, jan. 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Tarek-Ammari/publication/238402992_Prevention_of_Iron-Deficiency_Induced_Chlorosis_in_Kiwifruit_Actinidia_deliciosa_Through_Soil_Application_of_Synthetic_Vivianite_in_a_Calcareous_Soil/links/57736f7508aeef01a0b66852/Prevention-of-Iron-Deficiency-Induced-Chlorosis-in-Kiwifruit-Actinidia-deliciosa-Through-Soil-Application-of-Synthetic-Vivianite-in-a-Calcareous-Soil.pdf.

Acesso em: 24 abr. 2022.

SENA, Marcos Roberto. **Estabilidade de variedades de milho quanto aos teores de minerais nos grãos.** 2010. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SIGRIST, José Maria Monteiro. **Estudos fisiológicos e tecnológicos de couve-flor e rúcula minimamente processadas.** 2002. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SLYWITCH, Eric. **Guia alimentar de dietas vegetarianas para adultos.** São Paulo: SVB, 2012.

SOUZA, Guilherme A., *et al.* Evaluation of germplasm effect on Fe, Zn and Se content in wheat seedlings. **Plant Science**, v. 210, p. 206-213, set. 2013. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945213001234?casa_token=R7K3IBgfVJUAAAAA:tizIEZt0It5xG2zjnXO3hGfyakHxMT6eQd_nGKoTy8UF0D7gElG-PRWMFvurgcduTY8zr01n2OAA Acesso em: 25 set. 2021.

STEIN, Ricardo J. *et al.* Distinct physiological responses subjected to iron toxicity under field conditions.. **Annals of Applied Biology**, v. 154, n. 2, p. 269-277, fev. 2009. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1744-7348.2008.00293.x>. Acesso em: 24 abr. 2022.

STEPHAN, U. W.; SCHOLZ, G. Nicotianamine: mediator of transport of iron an heavy metals in the phloem? **Plant Physiology**, Lancaster, v. 88, n. 3p. 522-529, jul. 1993.

Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3054.1993.tb01367.x>. Acesso em: 25 set. 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MAX MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017.

UNIFESP. Universidade Federal de São Paulo. Disponível em: <
<https://tabnut.dis.epm.br/alimento/11959/rucula-crua> > Acesso em 21 fev. 2021.

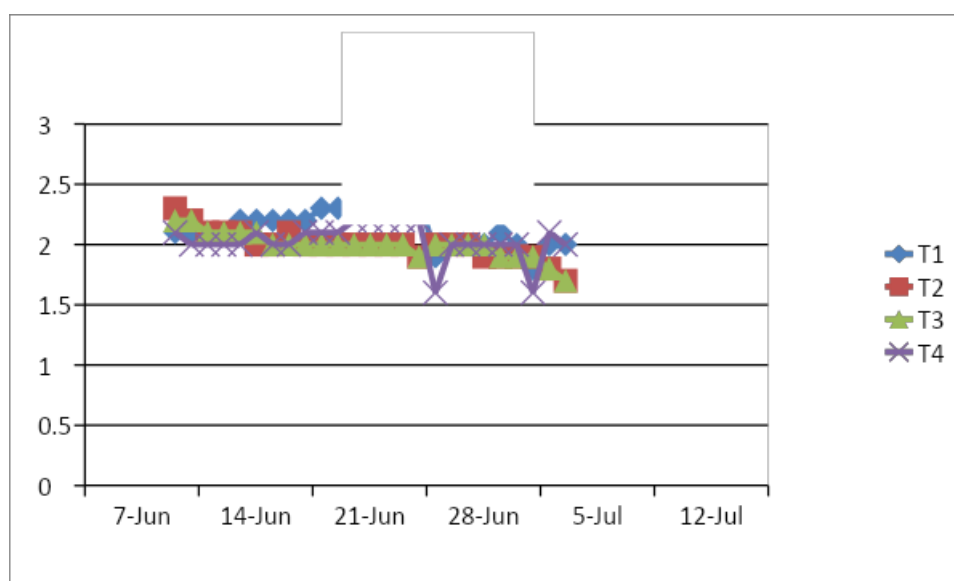
WENGER, K.; TANDY, S.; NOWACK, B. Effects of chelating agents on trace metal speciation and bioavailability. In: NOWACK,B.; VANBRIESEN, J.M. **Biogeochemistry of chelating agents**. Washington, v. 910, p. 204-224, jul. 2005. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-2005-0910.ch012> Acesso em: 25/09/2021

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: 25 set. 2021.

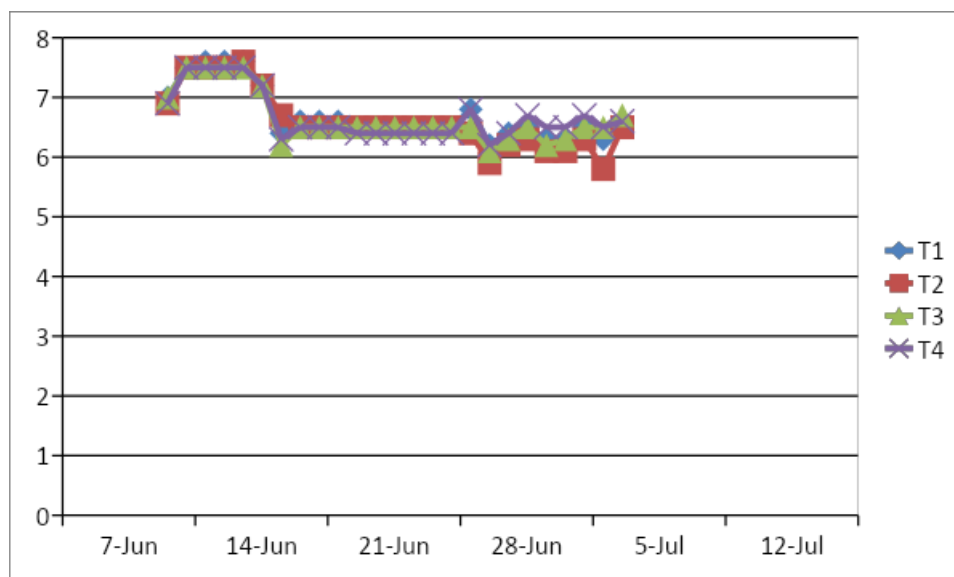
WITTEWER, S; CASTILLA, N. Protected cultivation of horticultural crops worldwide. **HortTechnology**, Colorado, v. 5 n. 1, p. 6-23, jan./mar.1995. Acesso em: 24 abr. 2022.

APÊNDICE

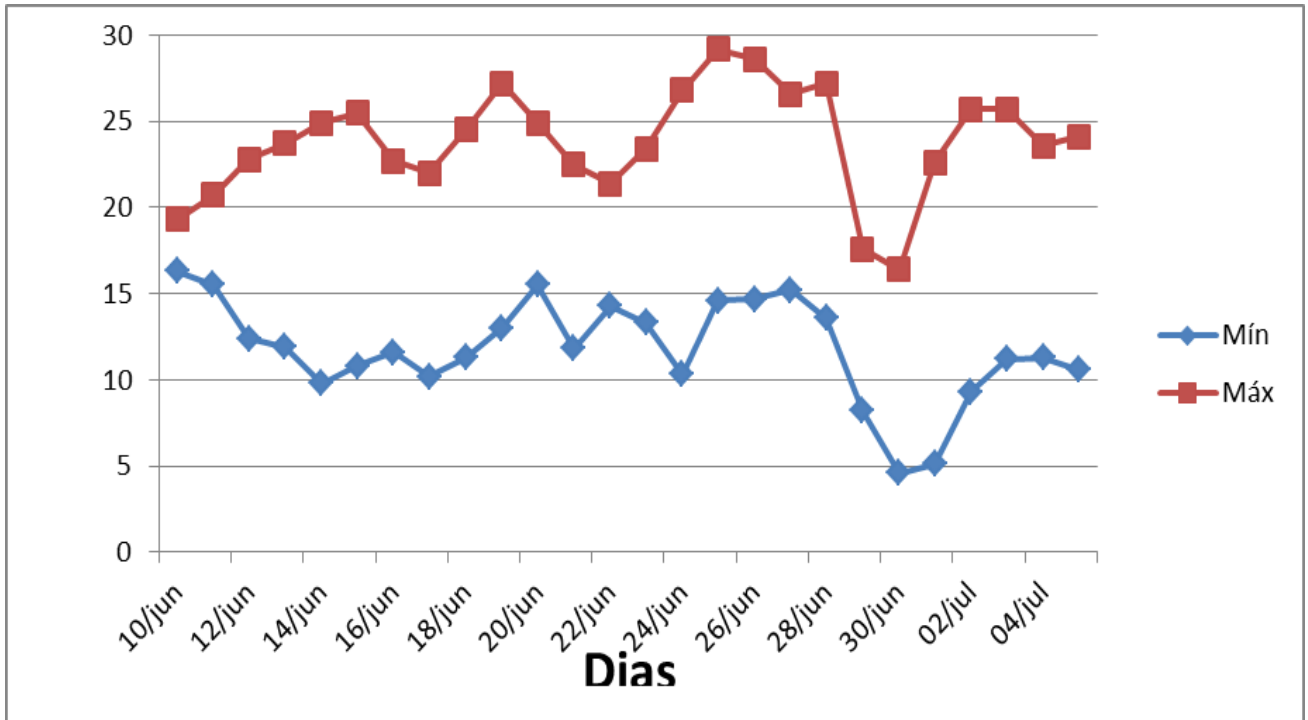
APÊNDICE A – CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (EC) DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE CULTIVO DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO NO CULTIVO HIDROPÔNICO NO INVERNO-2021



APÊNDICE B – PH DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE CULTIVO DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO NO CULTIVO HIDROPÔNICO NO INVERNO-2021



APÊNDICE C – TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA DO AMBIENTE PROTEGIDO DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO NO CULTIVO HIDROPÔNICO NO INVERNO-2021



Apêndice D- Resultado de macro e micronutrientes da raiz no Inverno-2021

Var.	Trat.	Rep	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
			g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
V1	T1	1	22,63	8,68	18,5	17,84	4,62	3,71	3943	228	86,8	58,15	36,98
V1	T1	2	21,5	9,25	17,58	17,64	4,47	3,58	4147	279,4	89,68	30,13	32,52
V1	T1	3	24,27	11,23	21,74	19,85	4,33	4,38	4587	311,3	98,01	36,4	36,41
V1	T1	4	20,07	7,66	16,94	17,54	4,32	3,36	3681	253,8	90,96	26,42	30,67
V1	T2	1	21,91	6,43	15,87	15,72	4,29	3,25	3432	186,7	87,67	29,79	36,48
V1	T2	2	26,32	7,69	19,58	15,46	4,27	4,04	3722	203,9	85,67	32,2	33,02
V1	T2	3	20,89	7,13	17,99	15,88	4,06	3,81	3674	212,2	96,18	30,4	32,09
V1	T2	4	22,53	6,24	15,19	14,82	4,18	3,51	3586	207,6	79,72	32,19	37,68
V1	T3	1	20,48	11,85	17,02	19,96	5,31	3,63	4789	309,8	93,6	50,77	40,25
V1	T3	2	23,14	14,55	17,24	22,04	5,61	4	5906	329,4	89,73	55,42	43,9
V1	T3	3	22,12	15,34	15,52	23,98	5,4	3,88	4626	298,6	87,61	47,18	42,95
V1	T3	4	24,47	14,04	20,36	22,27	5,34	4,77	4782	310,3	92,58	49,74	45,27
V1	T4	1	23,55	14,39	18,77	24,37	5,46	4,33	4467	335,9	82,02	46,77	42,66
V1	T4	2	26,21	17,71	21,49	26,22	5,26	4,72	5024	371,4	86,31	58,08	52,37
V1	T4	3	24,99	18,88	20,99	29,42	6	5,06	4359	345,9	88,02	57,71	62,48
V1	T4	4	26,42	17,61	20,41	26,67	5,46	5,03	4928	367,8	82,2	57,92	56
V2	T1	1	26,62	11,86	18,33	19,79	4,28	4,46	4792	331,8	94,3	40,95	38,27
V2	T1	2	29,18	12,78	20,5	18,26	3,51	5,14	3323	277,2	85,89	38,45	38,79
V2	T1	3	21,5	9,81	15,76	19,42	4,32	3,62	3690	281,9	91,89	34,12	39,97
V2	T1	4	26,21	11,64	19,58	19,3	4,01	4,95	4098	288,8	93,61	40,26	35,78
V2	T2	1	22,84	7,74	17,93	15,45	4,42	4,18	2415	164,6	83,11	35,03	31,31
V2	T2	2	24,88	7,43	18,65	15,22	4,32	4,66	2963	202,6	85,23	36,01	36,33
V2	T2	3	22,94	7,6	15,83	15,72	4,35	3,99	4107	233,3	91,81	39,02	37,45
V2	T2	4	22,94	5,79	16,89	13,26	4,84	3,8	3931	189,6	78,68	33,83	31,79
V2	T3	1	22,84	12,84	15,67	22,05	6,07	3,99	4467	283,2	91,51	44,04	42,88
V2	T3	2	23,76	12,76	14,84	20,66	4,86	3,89	4060	277	80,85	46,21	39,6
V2	T3	3	24,06	14,23	18,24	22,87	5,03	4,57	3220	278,4	90,08	44,26	41,82
V2	T3	4	25,5	14,93	17,08	21,81	4,59	4,44	4644	273,3	82,98	52,33	39,73
V2	T4	1	25,09	13,04	16,59	20,7	4,65	4,46	3438	280,1	69	46,15	39,81
V2	T4	2	28,06	16,5	19,43	24,62	5,43	5,18	4800	345,7	76,57	56,69	49,55
V2	T4	3	26,62	16,66	20,04	24,72	4,94	4,94	4559	364,1	83,64	56,97	46,29
V2	T4	4	24,78	15,91	17,67	25,15	5,91	4,59	4189	332,3	84,49	50,7	51,46

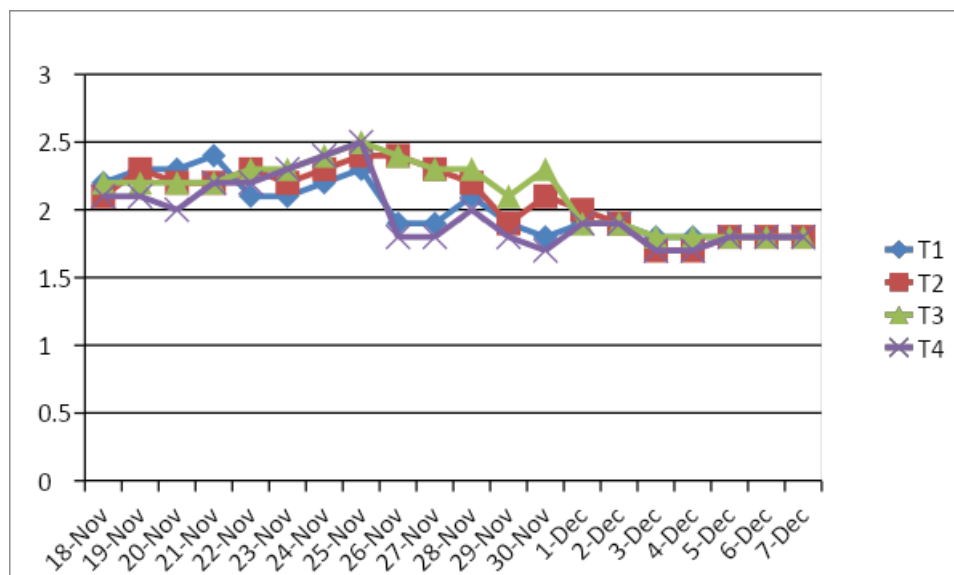
V1- Astro e V2- Roka

Apêndice E- Resultado de macro e micronutrientes da parte aérea no Inverno-2021

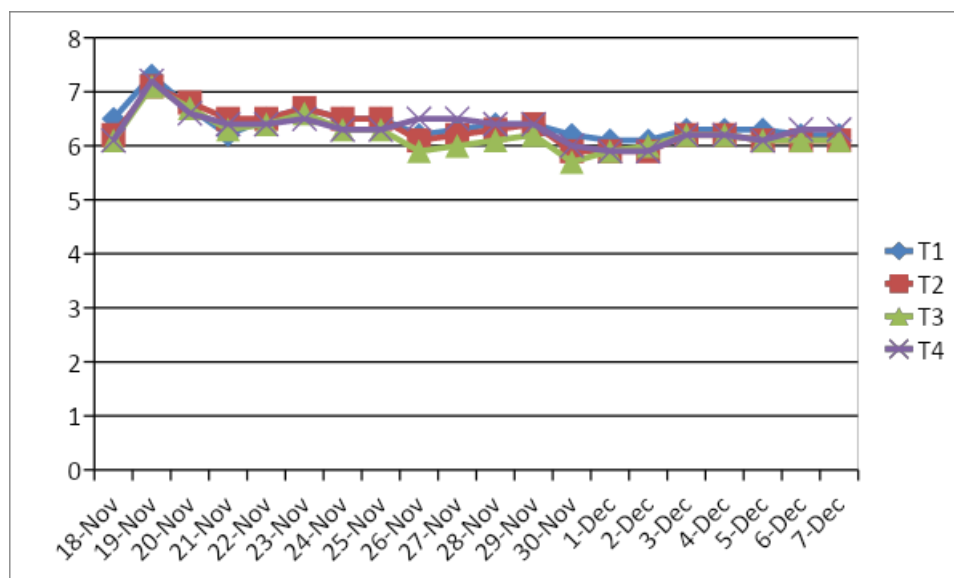
Var.	Trat.	Re p	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
			g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
V1	T1	1	52,63	7	48,73	19,29	5,39	10,45	215,8	86,53	8,75	25,14	39,32
V1	T1	2	61,64	6,45	34,95	17,06	4,74	9,73	352,9	88,79	8,3	22,43	36,17
V1	T1	3	65,43	6,32	38,46	16,79	4,73	9,7	305,2	87,8	8,51	23,39	35,37
V1	T1	4	61,13	6,46	38,66	17,2	4,68	10,14	296,7	89,51	6,84	22,51	36,42
V1	T2	1	56,73	5,94	41,08	15,51	4,53	8,41	348,8	66	7,31	28	30,5
V1	T2	2	57,24	6,21	32,19	16,95	4,65	9,63	276,7	68,89	6,71	28,97	32,45
V1	T2	3	57,24	5,78	26,58	16,16	4,48	9,26	314,7	70,78	6,8	27,42	32,44
V1	T2	4	59,39	6,44	44,9	18,12	4,93	10,29	343,9	74,97	7,38	31,09	36,58
V1	T3	1	56,93	6,08	39,49	16,07	4,82	9,72	263,6	81,08	6,68	29,27	35,27
V1	T3	2	54,37	5,83	34,87	13,91	4,32	9,03	202,4	72,91	6,51	32,46	32,47
V1	T3	3	54,48	5,72	29,55	15,08	4,67	9,31	165,6	62,4	7,45	26,14	35,48
V1	T3	4	54,68	5,84	39,99	15,72	4,63	9,26	183,6	67,33	6,07	29,49	32,74
V1	T4	1	60,62	6,47	46,04	18,98	5,48	10,84	309,4	92,02	7,56	28,89	39,49
V1	T4	2	58,68	6,53	33,86	17,99	5,14	10,39	211	82,42	7,16	26,49	34,53
V1	T4	3	59,29	6,31	31,46	17,59	5,27	9,35	220,8	79,05	7,26	25,4	39,9
V1	T4	4	58,47	6,03	26,24	16,08	4,91	9,49	226,4	80,36	6,27	23,59	34,28
V2	T1	1	61,85	7,06	29,86	15,8	4,36	8,87	276,3	91,52	7,46	24,08	34,35
V2	T1	2	59,8	6,41	35,75	15,09	4,33	8,64	249,6	72,05	6,54	21,54	34,76
V2	T1	3	60,21	6,74	29,26	14,48	3,98	9,02	197,8	85,54	7,27	24,29	38,16
V2	T1	4	57,04	6,08	25,58	13,89	3,95	7,92	445,6	79,4	6,78	21,15	34,7
V2	T2	1	58,57	5,83	28,28	14,37	4,15	8,3	177,1	62,92	6,61	29,63	33,05
V2	T2	2	57,96	6,09	31,49	14,86	4,18	8,47	246	65,97	6,82	29,5	31,7
V2	T2	3	58,68	6,17	31,89	14,5	3,93	8,29	210	77,17	6,61	30,76	29,3
V2	T2	4	58,47	6,05	32,04	15,09	4,06	8,73	303,6	70,95	7,11	32,28	33,18
V2	T3	1	56,01	5,85	29,15	14,26	4,44	8,44	191,2	63,8	6,56	25,33	32,9
V2	T3	2	59,6	5,85	31,61	14,15	4,34	8,38	311,2	72,99	6,66	28,5	31,13
V2	T3	3	58,16	6,34	29,72	14,38	4,51	9,11	324,1	76,2	6,99	30,83	36,23
V2	T3	4	61,95	6,16	32,1	14,41	4,36	9,47	192,6	70,4	7,54	30,9	34,87
V2	T4	1	61,03	6,31	29,12	14,73	4,39	9	200,9	80,03	6,02	27,63	36,42
V2	T4	2	59,19	7,11	36,55	16,8	4,87	10,36	293,1	93,48	6,73	32,51	39,54
V2	T4	3	59,39	7,07	38,54	16,03	4,88	9,8	229,8	84,61	7,06	34,61	39,63
V2	T4	4	60,93	6,55	32,4	16,53	5,01	9,58	301	80,62	7,01	30,73	43,71

V1- Astro e V2- Roka

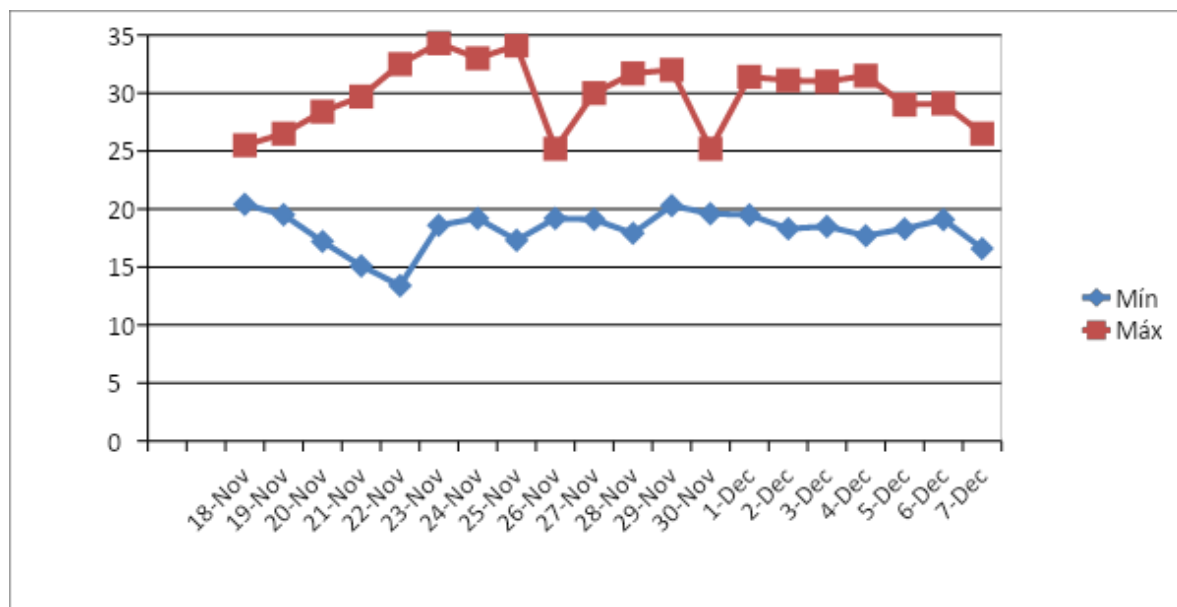
APÊNDICE F – CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (EC) DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE CULTIVO DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO NO CULTIVO HIDROPÔNICO NO VERÃO-2021.



APÊNDICE G – PH DA SOLUÇÃO NUTRITIVA DE CULTIVO DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO NO CULTIVO HIDROPÔNICO NO VERÃO-2021



**APÊNDICE H – TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA DO AMBIENTE PROTEGIDO
DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO NO CULTIVO HIDROPÔNICO NO
VERÃO-2021**



Apêndice I- Resultado de macro e micronutrientes da raiz no Verão-2021

Var.	Trat.	Rep	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
V1	T1	1	23,61	10,05	28,18	18,72	4,76	5,87	45,2	154,49	5275,95	530,95	131,26
V1	T1	2	23,4	11,84	28,13	20,85	3,64	6,19	48,37	158,18	4147,54	577,99	151,02
V1	T1	3	23,71	9,46	26,34	22,05	5,66	4,81	48,94	157,58	4938,06	574,14	123,33
V1	T1	4	20,52	12,07	24,46	24,32	4,88	5,35	55,05	158,06	3954,85	578,27	149,78
V1	T2	1	19,38	6,73	25,08	16,26	4,83	4,75	42,76	147,56	5006,5	512,23	110,33
V1	T2	2	19,9	10,57	25,35	22,28	5,11	4,19	45,25	168,62	4694,24	568,27	120,06
V1	T2	3	19,28	8,51	28,27	19	4,84	4,84	55,68	177,1	4741,97	636,25	125,77
V1	T2	4	22,17	5,67	28,51	14,57	3,14	4,7	35,95	150,07	2745,5	495,91	94,99
V1	T3	1	20,62	5,48	23,99	15,57	3,03	4,18	29,03	161,87	2765,8	415,79	116,78
V1	T3	2	20,1	6,02	25,51	15,51	3,48	4,61	32,75	166,77	3408,69	440,87	131,74
V1	T3	3	19,18	5,17	24,88	12,84	3,15	4,22	38,61	124,15	2630,43	302,96	95,65
V1	T3	4	19,18	6,33	25,69	15,49	3,63	4,58	36,97	152,85	3302,95	475,63	127,25
V1	T4	1	19,49	6,85	25,99	17,59	3,56	4,4	39,31	121,13	2456,15	401,61	96,94
V1	T4	2	21,14	5,76	22	13,45	2,99	3,86	37,23	107,29	2423,61	352,58	93,7
V1	T4	3	20,52	5,64	25,39	15,17	3	4,19	34,71	124,15	2519,41	428,94	93,84
V1	T4	4	21,86	5,52	25,32	14,73	3,14	5	34,97	124,7	2244,98	332,88	90,55
V2	T1	1	19,07	10	22,12	21,36	4,32	3,91	52,28	131,34	2827,78	658,69	105,68
V2	T1	2	19,07	9,65	24,73	20,03	6,55	3,87	44,99	119,36	5549,31	529,73	105,72
V2	T1	3	20,31	8,32	27,59	18,98	5,54	4,27	45,1	129,18	4503,04	687,85	104,09
V2	T1	4	19,38	7,03	19,67	18,32	3,72	3,42	34,41	115,07	2250,61	581,02	80,93
V2	T2	1	19,69	9,44	24,74	21,17	5,11	4,17	43,17	139,56	3612,2	633,9	101,29
V2	T2	2	20,52	6,55	23,32	17,9	4,64	3,92	35,35	150,87	3852,99	1050,89	109,52
V2	T2	3	18,25	11,07	20,92	24,21	5,24	3,73	48,81	145,57	3151,49	885,09	95,52
V2	T2	4	18,97	6,14	22,72	17,27	4,26	3,52	32,95	132,27	3054,17	943,12	92,64
V2	T3	1	19,59	6,42	21,82	19,47	5,32	3,98	42,64	158,32	4639,9	891,88	117,39
V2	T3	2	17,22	7,89	19,81	20,12	4,46	3,61	37,38	157,53	3906,61	650,81	130,62
V2	T3	3	20,83	8,68	21,6	21,32	4,63	3,78	37,13	151,25	3823,68	927,67	128,18
V2	T3	4	22,89	6,34	19,73	17,74	4,22	3,41	34,72	134,86	3432,09	626,81	108,2
V2	T4	1	19,59	7,07	19,64	4,84	4,06	37,43	121,46	3268,06	577,85	577,85	106,59
V2	T4	2	17,84	9,16	23,34	4,14	3,14	41,08	124,29	2745,4	900,92	900,92	104,35
V2	T4	3	18,87	8,31	20,57	4,67	3,91	41,15	122,89	2871,55	521,71	521,71	100,3
V2	T4	4	20,93	8,64	23,01	5,31	4,12	50,32	128,27	3565,76	579,02	579,02	95,53

V1- Astro e V2-Roka

Apêndice J- Resultado de macro e micronutrientes da parte aérea no Verão-2021

Var.	Trat.	Rep	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
V1	T1	1	53,2	6,93	59,52	20,89	4,64	12,82	50,89	6,8	179,88	64,43	36,54
V1	T1	2	48,87	6,79	59,3	19,4	4,56	12,28	50,93	7,16	208,14	62,01	34,11
V1	T1	3	49,59	5,97	51,59	19,25	4,12	10,45	42,53	5,79	192,58	75,99	33,08
V1	T1	4	63,92	6,4	48,79	18,58	4,12	10,92	49,64	6,33	179,65	75,74	33,83
V1	T2	1	56,19	5,7	41,76	16,34	3,65	10,04	43,68	5,47	155,26	64,02	31,59
V1	T2	2	53,51	5,92	50,59	15,99	3,49	10,39	41,43	5,59	142,68	59,39	29,91
V1	T2	3	57,94	6,2	47,75	16,32	3,8	11,17	56,52	5,75	290,34	70,01	28,36
V1	T2	4	64,54	5,91	46,65	16,76	3,72	10,13	46,41	4,92	165,09	64,29	28,98
V1	T3	1	53,41	5,85	50,87	16,27	3,49	9,46	44,98	4,82	148,27	58,42	29,01
V1	T3	2	56,71	5,88	56,58	16,34	3,35	10,01	42,05	5,73	197,59	64,71	31,04
V1	T3	3	50,62	5,76	41,97	17,4	3,94	10,45	40,84	4,94	181,06	58,74	29,34
V1	T3	4	58,05	5,16	44,21	14,77	3,15	9,1	32,62	3,83	150,02	69,9	25,96
V1	T4	1	49,38	6,64	50,72	20,81	4,17	12	49,23	5,84	268,77	65,35	35,33
V1	T4	2	55,57	6,71	51,26	21,02	4,2	12,39	53,19	5,85	241,55	68,34	35,09
V1	T4	3	56,71	6,06	43,73	15,14	3,89	9,8	53,05	8,27	264,68	58,39	32,53
V1	T4	4	55,98	5,81	51,81	14,55	3,62	9,25	52,66	6,31	184,03	54,7	31,27
V2	T1	1	54,13	5,52	44,52	13,89	3,49	8,67	47,62	7,2	191,32	57,45	31,82
V2	T1	2	58,46	5,66	40,4	14,59	3,89	9,48	56,74	7,47	184,78	51,51	29,51
V2	T1	3	51,76	5,16	47,04	13,12	3,38	7,95	40,18	8	222,51	61,09	29,03
V2	T1	4	61,55	4,59	34,08	11,59	2,84	6,45	31,48	5,5	149,45	56,97	23,31
V2	T2	1	52,07	5,51	40,91	13,8	3,51	8,57	48,28	7,86	188,86	64,33	30,13
V2	T2	2	55,67	5,82	48,65	14,34	3,51	9,17	46,58	6,8	192,73	62,31	29,38
V2	T2	3	58,35	5,85	52,09	15,09	3,69	9,64	43,62	6,75	224,41	49,31	26
V2	T2	4	55,06	6,13	45,26	14,17	3,7	9,47	58,7	8,59	201,63	47,74	31,21
V2	T3	1	58,87	6,68	48,02	14,75	3,66	10,04	53,08	6,8	192,94	49,88	30,59
V2	T3	2	56,29	6,2	43,15	15,39	3,71	10,16	54,58	7,12	387,73	52,11	31,35
V2	T3	3	56,19	6,53	39,15	16,33	3,84	10,76	46,09	6,28	242,25	66,63	30,9
V2	T3	4	52,58	7,3	47,1	17,87	4,38	11,52	61,59	8,77	323,84	70,92	36,38
V1	T4	1	50,52	6,53	40,93	17,18	4,36	10,94	59,68	7,64	257,01	63,94	30,39
V1	T4	2	50,52	6,34	42,38	16,9	4,34	10,7	52,1	7,62	386,34	58,79	30,72
V1	T4	3	50,12	6,43	42,6	14,56	4,5	10,56	53,34	7,87	384	59,76	30,7
V1	T4	4	51,05	6,7	40,7	13,24	4,34	10,43	52,1	7,56	352,67	60,4	30,43
V2	T4	1	50,64	6,7	41,34	14,76	4,23	10,8	54,03	7,45	342,54	59,65	30,78
V2	T4	2	52,45	6,43	45,66	14,98	4,78	10,79	55,67	7,39	298,04	57,86	30,19
V2	T4	3	54,67	6,23	43,23	12,34	4,1	10,48	53,2	8,03	299,67	59,6	31,05
V2	T4	4	53,33	6,8	44,81	15,67	4	10,62	52,46	7,98	332,04	61,2	30,99

V1- Astro e V2- Roka