



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

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE ALFACE COM ZINCO EM CULTIVO  
HIDROPÔNICO**

**BIANCA MACHADO DE LIMA**

**Araras  
2021**



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

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE ALFACE COM ZINCO EM CULTIVO  
HIDROPÔNICO**

**BIANCA MACHADO DE LIMA**

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

2021

Machado de Lima, Bianca

Biofortificação agrônômica de alface com zinco em cultivo hidropônico / Bianca Machado de Lima -- 2021.63f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientador (a): Fernando César Sala

Banca Examinadora: Thiago Leandro Factor, Monalisa Sampaio Carneiro

Bibliografia

1. Hortaliça folhosa. 2. Biofortificação com zinco. 3. Hidroponia. I. Machado de Lima, Bianca. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática  
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/87083



**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 da candidata Bianca Machado de Lima, realizada em 05/05/2021.

**Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. Fernando César Sala (UFSCar)

Prof. Dr. Thiago Leandro Factor (IAC)

Profa. Dra. Monalisa Sampaio Carneiro (UFSCar)

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

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelas conquistas e oportunidades.

Ao Prof. Dr. Fernando Cesar Sala, pela excelente orientação, que sempre esteve presente no decorrer do mestrado, obrigada pelo incentivo, por me mostrar oportunidades e pela contribuição em minha formação profissional.

Ao Dr. Luis Felipe Villani Purquerio, pela coorientação e valiosas contribuições e motivação no decorrer deste período.

À Pós-Graduação da UFSCar - Araras pela oportunidade de realização do mestrado.

Aos meus pais, Mônica e David Lima, pelo amor e por me ensinarem valores fundamentais para a construção de quem sou hoje. À minha irmã Amanda Lima pelas palavras de incentivo e por sempre estar ao meu lado.

À banca examinadora, a Profa. Dra. Monalisa Carneiro e o Prof. Dr. Thiago Factor, pelas importantes contribuições que foram repassadas a mim.

Aos pesquisadores e professores do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados (PPGPVBA) pelos ensinamentos transmitidos.

Aos colegas de mestrado, em especial Caio S. Noboa, pelo apoio, amizade e auxílio nos trabalhos de campo.

À Nathalia Braga pelo incentivo, pela força e auxílio nos momentos difíceis de condução do trabalho.

À equipe do Laboratório de Horticultura pela ajuda e apoio, em especial ao Sr. Eduardo.

Aos meus familiares, amigos e a todos que de alguma forma contribuíram para esta conquista.

## SUMÁRIO

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 OBJETIVOS.....	04
2.1 Geral.....	04
2.2 Específicos.....	04
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	05
3.1 Características das alfces.....	05
3.2 Biorfortificação com zinco em hortaliças folhosas.....	07
3.3 Cultivo hidropônico no sistema NFT.....	10
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
4.1 Local.....	13
4.2 Delineamento experimental.....	13
4.3 Procedimento experimental.....	13
4.4 Características avaliadas.....	16
4.5 Análise estatística.....	17
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
6 CONCLUSÕES.....	36
7 LITERATURA CITADA.....	37
APÊNDICE.....	46

**ÍNDICE DE TABELAS**

	Página
Tabela 1. Quantidade de sais para o preparo de 1000 L de solução nutritiva para o cultivo de alface.....	15
Tabela 2. Concentrações de zinco na solução nutritiva de cultivo para cada tratamento.....	15
Tabela 3. Análise de variância para as características: diâmetro da planta, comprimento da raiz, número de folhas, massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz para as alfaces no cultivo hidropônico.....	18
Tabela 4. Análise de variância para as características: índice relativo de clorofila, colorimetria L a* e b*, teor de zinco foliar e radicular, acúmulo de zinco foliar e radicular para as alfaces no cultivo hidropônico.....	19
Tabela 5. Comparação das médias quanto a cultivar de alface para diâmetro da planta, comprimento da raiz, número de folhas, massa fresca parte aérea, índice relativo de clorofila, colorimetria L, a* e b* por meio do teste de Tukey a 5% de significância.....	19
Tabela 6. Diferença total de cor das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco.....	23
Tabela 7. Quantidade de Zn em uma porção de 50 g de massa fresca (MF) de folhas das cultivares de alface Vanda e Saladela e a contribuição desta porção em porcentagem para a recomendação de ingestão diária de Zn.....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Alfaces Vanda e Saladela no cultivo hidropônico da área experimental. 2020.....	14
Figura 2. Comprimento da raiz das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020.....	21
Figura 3. Número de folhas das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020.....	21
Figura 4. Colorimetria a* das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020.....	24
Figura 5. Colorimetria b* das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020.....	25
Figura 6. Massa fresca da raiz (A) e massa seca da raiz (B) das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020.....	27
Figura 7. Teor de zinco foliar (A) e da raiz (B) das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020.....	29
Figura 8. Acúmulo de zinco foliar (A) e da raiz (B) das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020.....	30
Figura 9. Ilustração da cultivar Saladela (esquerda) e Vanda (direita) com os tratamentos T1: 0,3; T2: 1,0; T3: 1,7; T4: 2,4 g L <sup>-1</sup> , aos 28 dias após o transplante (DAT).....	35

## BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE ALFACE COM ZINCO EM CULTIVO HIDROPÔNICO

**Autor:** BIANCA MACHADO DE LIMA

**Orientador:** Prof. Dr. FERNANDO CÉSAR SALA

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

### RESUMO

A alface é a hortaliça folhosa mais cultivada em sistema hidropônico. A biofortificação de alface com Zn pode contribuir para suprir deficiências nutricionais de populações em vulnerabilidade social, por ter preço acessível e ser de fácil e rápida produção, inclusive em áreas urbanas. Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes concentrações de Zn em solução hidropônica, na produção e biofortificação de duas cultivares de alfaces. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições. A parcela foi formada pelas concentrações de zinco 0,3, 1,0, 1,7, e 2,4 g L<sup>-1</sup> na solução hidropônica, adicionado na forma de sulfato de zinco (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) e as subparcelas pelas cultivares de alfaces Vanda e Saladela. As características avaliadas foram: diâmetro da planta, comprimento da raiz, número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea e raiz, cor da folha (Colorimetria) e índice de clorofila, teor e acúmulo de zinco foliar e radicular. A concentração de Zn influenciou no número de folhas e comprimento de raiz sendo a concentração de 2,4 g L<sup>-1</sup> de Zn proporcionou o maior número de folhas e comprimento de raiz. Para a colorimetria a\* houve efeito da interação, para Saladela e Vanda as concentrações 0,3 e 2,4 g L<sup>-1</sup> apresentaram melhores resultados, respectivamente. Para massa fresca da parte aérea Vanda apresentou maior biomassa. Para o teor e acúmulo de Zn na folha e raiz, a concentração de 2,4 g L<sup>-1</sup> de Zn apresentou melhor resultado. Observou-se que a maior concentração de Zn não afetou a maioria das características produtivas da cultura, principalmente em massa de parte aérea. Foi possível biofortificar agronomicamente as alfaces e não houve efeito de fitotoxidez nas plantas.

**Palavras-chave:** *Lactuca sativa* L.; hortaliça folhosa; sulfato de zinco; teor de nutrientes.

## BIOFORTIFICATION AGRONOMIC OF LETTUCE WITH ZINC IN HYDROPONIC CULTIVATION

**Author:** BIANCA MACHADO DE LIMA

**Adviser:** Prof. Dr. FERNANDO CÉSAR SALA

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

### ABSTRACT

Lettuce is the most cultivated leafy vegetable in a hydroponic system. The biofortification of lettuce with Zn can contribute to supply nutritional deficiencies of populations in social vulnerability, for having an affordable price and being easy and fast to produce, even in urban areas. The objective was to evaluate the effect of different concentrations of Zn in hydroponic solution, in the production and biofortification of two lettuce cultivars. The experimental design was completely randomized, in a split-plot scheme, with four replications. The plot was formed by the concentrations of zinc 0,3, 1,0, 1,7, and 2,4 g L<sup>-1</sup> in the hydroponic solution, added in the form of zinc sulfate (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) and the subplots by the cultivars of lettuces Vanda and Saladela. The characteristics evaluated were: plant diameter, root length, number of leaves, fresh and dry mass of the aerial part and root, leaf color (Colorimetry) and chlorophyll index, leaf and root zinc content and accumulation. The concentration of Zn influenced the number of leaves and root length, with the concentration of 2,4 g L<sup>-1</sup> of Zn providing the largest number of leaves and root length. For colorimetry a \* there was an interaction effect, for Saladela and Vanda the concentrations 0,3 and 2,4 g L<sup>-1</sup> showed better results, respectively. For fresh mass of the aerial part Vanda presented higher biomass. For the content and accumulation of Zn in the leaf and root, the concentration of 2,4 g L<sup>-1</sup> of Zn showed the best result. It was observed that the highest concentration of Zn did not affect most of the productive characteristics of the culture, mainly in mass of aerial part. It was possible to biofortify the lettuces agronomically and there was no phytotoxic effect on the plants.

**Key-words:** *Lactuca sativa* L.; leafy vegetable; zinc sulfate; nutrient content.

## 1 INTRODUÇÃO

A alface é a hortaliça folhosa mais produzida e consumida no Brasil e no mundo, considerada uma das olerícolas de maior importância na alimentação e saúde humana, devido ao sabor agradável, à qualidade nutritiva e à facilidade de aquisição e produção. Além disso, para Sala e Costa (2012) é uma das espécies mais cultivadas em sistema hidropônico.

Neste contexto, a biofortificação de alface com Zn pode contribuir para o suprimento de deficiências nutricionais de populações em vulnerabilidade social, por apresentar preço acessível e ser de fácil produção (GRACIANO, 2019).

No mundo pós pandêmico-Covid 19, a obesidade e a desnutrição permanecerão como um dos principais desafios para a humanidade (VENTURA *et al.*, 2020). Sendo assim, aumentar a concentração de Zn nas plantas de culturas alimentares, resultando tanto em melhor produtividade quanto na melhoria da saúde humana é um importante desafio global. Entre os elementos essenciais, a deficiência de Zn é uma das mais preocupantes, gerando interesse nas comunidades científicas e organizações de saúde internacionais (WHITE & ZASOSKI, 1999; HOTZ & BROWN, 2004; WELCH & GRAHAM, 2004).

A deficiência de Zn em seres humanos prevalece nos países de baixa renda e provoca diversos problemas de saúde. A deficiência nutricional de zinco afeta mais de 2 bilhões de pessoas no mundo entre homens e mulheres, atingindo até crianças (BEAL *et al.*, 2017).

As recomendações diárias de ingestão do zinco são de 11 mg dia<sup>-1</sup> para homens e 8 mg dia<sup>-1</sup> para mulheres adultas. Entretanto, em algumas fases da vida, as necessidades deste mineral são aumentadas, como na gestação, infância, puberdade e senilidade (HAMBIDGE *et al.*, 2008). Diante disso, alguns métodos estão sendo estudados para que a necessidade diária de zinco dos seres humanos seja suprida (CAKMAK, 2007), destacando-se, dentre eles, a biofortificação agronômica.

A biofortificação agronômica, com seleção de cultivares que acumulam mais nutrientes que outras, e o aumento das concentrações de nutrientes para que as plantas possam sintetizar compostos ricos nestes, pode ser uma ótima estratégia de enriquecimento em curto prazo, de reposta rápida (CAKMAK, 2007). Desta maneira, a biofortificação consiste no enriquecimento nutricional dos alimentos durante a produção no campo, podendo ser realizada de duas formas: pelo melhoramento genético (método convencional ou transgenia) ou pelo manejo da cultura.

Ambas as formas de biofortificação de zinco têm mostrado resultados satisfatórios. Recentemente, a biofortificação agronômica com Zn tem sido estudada em algumas culturas, principalmente em cereais como trigo, arroz e milho, uma vez que estas culturas representam a maioria das calorias consumidas, especialmente em países em desenvolvimento (CAKMAK, 2009; HUSSAIN *et al.*, 2012; CAKMAK & KUTMAN, 2019) e cebola (ALMENDROS *et al.*, 2015). No entanto, Clemens (2017) sugere que uma estratégia complementar seria a biofortificação de hortaliças folhosas atrelada à promoção do consumo, pois estas contêm muito mais Zn que os cereais (BROADLEY *et al.*, 2007).

Dentre os genótipos de alface, já foi identificada diferença para os teores de Zn na biomassa. Moraes (2020), em cultivo convencional, verificou que a cultivar de alface Saladela tem teor de Zn aproximadamente 25% superior quando comparado à Vanda, uma das cultivares de alfaces mais consumidas do Brasil. Contudo, ainda são poucas as pesquisas relacionadas à biofortificação agronômica em hortaliças folhosas, especialmente em cultivos hidropônicos.

Em estudo realizado por Smolen *et al.* (2013) sugerem a possibilidade de conduzir biofortificação segura de alface com iodo e selênio em cultivo hidropônico, além do que o rendimento de biomassa e composição mineral das plantas aumentou com a aplicação destes nutrientes neste sistema de cultivo.

A hidroponia é o método mais intensivo de produção hortícola, e é alternativa produtiva diante da crescente demanda por alimentos. Atualmente, um dos sistemas hidropônicos mais utilizados no Brasil é o NFT (*Nutrient Film Technique*), onde a absorção de nutrientes pela planta ocorre através de um filme de água com os nutrientes que passa por suas raízes (MARTINEZ, 2002).

Deste modo, se faz necessária pesquisa neste sentido, utilizando a hipótese que o aumento da concentração de zinco na solução nutritiva proporciona aumento nos teores de Zn na biomassa de alface, sem, contudo, afetar as características agronômicas das plantas em função da fitotoxidez.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar o efeito de diferentes concentrações de zinco na solução nutritiva, na produção e biofortificação agrônômica de cultivares de alfaces.

### **2.2 Específicos**

- Analisar a concentração de Zn que possibilita a biofortificação da alface nas folhas e raízes,
- Analisar a cultivar que concentra maior teor de Zn na biomassa.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Características das alfaces

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais importante mundialmente, sendo consumida principalmente *in natura*, na forma de salada. Se destaca por ser a folhosa mais consumida no Brasil, movimentando anualmente, em média, um montante de R\$ 8 bilhões apenas no varejo, com uma produção de mais de 1,5 milhão de toneladas ao ano (ABCSEM, 2016).

É considerada uma das olerícolas de maior importância na alimentação e na saúde humana, devido ao sabor agradável, à qualidade nutritiva e à facilidade de aquisição (SALA & COSTA, 2012). As extensas áreas de produção, bem como o elevado consumo dessa hortaliça, estão associados à busca dos brasileiros por hábitos alimentares mais saudáveis (CARVALHO *et al.*, 2016).

Além disso, devido ao melhoramento genético, há uma grande diversidade de cultivares, que diferem-se quanto à coloração das folhas, podendo variar do verde claro ao roxo (SANTANA *et al.*, 2009) e quanto ao aspecto das folhas, que podem ser, lisas ou crespas, soltas ou formando cabeça. Os tipos varietais produzidos no Brasil são lisa, crespa, mimosa, americana, romana, roxa/vermelha e minialface (SALA & COSTA, 2012).

Com as características de alface crespa e qualidade da americana, as alfaces crocantes têm sido uma inovação para a alficultura brasileira. No Brasil, há algumas cultivares crocantes em comercialização, as quais foram desenvolvidas

pela UFSCar e estão licenciadas para comercialização pelas seguintes empresas e institutos: Feltrin Sementes, Fundação Biodinâmica e Fundação Mokiti Okada. Em 2017 foi lançada a cultivar Saladela, que se destaca por apresentar características da americana e da romana, com folhas crocantes, flabeladas e sabor adocicado. Inovações como a alface Saladela podem estimular a demanda de hortaliças por parte da população brasileira, auxiliando na qualidade nutricional da dieta.

Ambas cultivares utilizadas no experimento possuem algumas características distintas. A alface Vanda é do tipo crespa, uma planta de porte grande, com folhas compridas e caule grosso, de sistema radicular vigoroso e com ciclo médio total de 55 dias (precoce), além disso, possui alto nível de resistência ao LMV-II (*Lettuce Mosaic Virus*) e à queima de bordos (deficiência de Cálcio) e apresenta alta produtividade (SAKATA, 2020). A alface Saladela é do tipo crespa crocante, planta ereta com folhas crocantes e de alto brilho, com ciclo de 30 a 35 dias após transplântio, além disso é resistente a queima de bordos e pendoamento precoce (FELTRIN, 2020).

A alface apresenta importância nutricional, fornecendo consideráveis teores de fósforo ( $20 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ ), potássio ( $141 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ ), vitamina C ( $2,8 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ ) e vitamina A ( $25\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$ ) além de ser fonte de fibras e apresentar baixo teor calórico (USDA, 2020). Entretanto, o ser humano necessita de cerca de 22 nutrientes para manter seu metabolismo adequado e saudável (GRAHAM *et al.*, 2007), sendo que, alguns desses, não estão presentes ou apresentam-se em baixos teores nas folhas de alface. Dentre esses nutrientes presentes em baixas quantidades, destaca-se o Zn (NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH, 2016).

Conforme estudos sugerem, a composição mineral da alface, a produção e qualidade do produto para comercialização podem ser influenciadas por variações genótípicas (ROUPHAEL *et al.*, 2017; MAMPHOLO *et al.* 2016; ROUPHAEL *et al.* 2012), práticas de manejo (ROUPHAEL *et al.* 2012) e fatores climáticos (KOSMA *et al.* 2013). Embora possa ser cultivada o ano todo, a alface se adapta melhor sob temperaturas médias entre 15 e 18 °C e máximas entre 21 e 24 °C, apresentando maior produção nas épocas mais frias do ano em países tropicais (FILGUEIRA, 2013). Dessa forma, seu cultivo é prejudicado em função das diferentes épocas do ano e regiões de cultivo.

No trabalho realizado por Moraes (2020), com cultivo de alfases em solo em duas épocas de cultivo, constatou-se que os teores de Zn nas plantas de Vanda e

Saladela aumentaram em função das doses em ambas as épocas de cultivo. A concentração de Zn nas folhas da cultivar Vanda foi 704,1 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca, independentemente da época de cultivo. O teor no solo foi de 18,9 mg dm<sup>-3</sup>. Os teores nas folhas da Saladela foram 1023,5 e 583,6 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca nas épocas de cultivo (março a abril/maio a julho), respectivamente, que corresponderam aos teores no solo de 18,0 e 11,8, mg dm<sup>-3</sup> respectivamente.

Conforme o exposto, é importante que estudos com biofortificação nesta cultura sejam feitos para que se determinem práticas de manejo adequadas para uso desta técnica.

### **3.2 Biofortificação com zinco em hortaliças folhosas**

O Zn é um micronutriente de grande importância para os vegetais, pois é requerido de forma catalítica e estrutural por diversas enzimas como a desidrogenase alcoólica, anidrase carbônica, proteinases e peptidases (WELCH & NORVELL, 1993). Além disso é precursor do ácido indolacético (AIA) e participa da produção de auxina (SKOOG, 1940; BRENNAN, 2005), reduz o nitrato e desintoxica a planta de radicais livres (MARSCHNER, 2012). Atua na síntese de proteínas, no metabolismo de carboidratos e na biossíntese de clorofila (KABATA-PENDIAS, 2010; BROADLEY *et al.*, 2012). As concentrações de zinco nas plantas variam de 20 a 120 mg kg<sup>-1</sup> de massa de matéria seca (MALAVOLTA, 2006).

Além do Zn desempenhar importantes funções no metabolismo vegetal, também é essencial para os seres humanos, pois está relacionado com o funcionamento do sistema imunológico, função sensorial, desenvolvimento neurocomportamental, saúde reprodutiva, crescimento e desenvolvimento físico. Em países em desenvolvimento, as deficiências de zinco, ferro e vitamina A são consideradas problemas de saúde pública (HOTZ & BROWN, 2004).

Apesar da sua importância na saúde humana, os principais alimentos consumidos nos países em desenvolvimento apresentam baixos teores do micronutriente, tornando seu consumo insuficiente para atender aos requerimentos mínimos diários (CARVALHO & VASCONCELOS, 2013). A deficiência nutricional de zinco afeta mais de 2 bilhões de pessoas no mundo (BEAL *et al.*, 2017), atingindo principalmente crianças e mulheres lactantes (WHO, 2017).

O zinco é um mineral que se encontra amplamente distribuído em todo o corpo humano, porém em pequenas concentrações (1,5 a 2,5 g). Apesar da

quantidade, a sua deficiência está relacionada a quadros patológicos graves que surgem, em sua grande maioria, em função da deficiência alimentar, presença de compostos quelantes nos alimentos, distúrbios no processo de absorção gastrointestinal ou aumento na excreção urinária. A ingestão diária de Zn recomendada para adultos é de 15 mg (ALLOWAY, 2009). Este valor pode variar conforme a referência, nos EUA, por exemplo, a recomendação diária é entre 8 a 13 mg, no Reino Unido é de 7 a 13 mg (Institute of Medicine – USA 2001; Department of Health – UK 1991). De acordo com os dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF 2008-2009), não é suficiente a ingestão de Zn no Brasil, sendo 24% para homens e 22% para mulheres.

A porcentagem de contribuição de Zn da alface biofortificada na recomendação de ingestão diária de 10 mg de Zn demonstra o potencial desta hortaliça para diminuir a deficiência do nutriente na população. Um dos motivos é que as hortaliças folhosas não contêm quantidades significativas de ácido fítico, que liga os metais aos compostos insolúveis, reduzindo sua absorção pelo trato gastrointestinal dos seres humanos (HUNT, 2003), dessa forma praticamente todo o Zn acumulado pela alface pode estar prontamente biodisponível ao organismo humano (WHITE, *et al.*, 2018).

A justificativa para uso da biofortificação em alimentos, desde o surgimento da técnica, se dá devido ao seu potencial no combate às deficiências por micronutrientes, que atingem grande parte da população mundial (MANOS & WILKINSON, 2016). Assim, a ingestão de alimentos biofortificados pode suprir as exigências nutricionais dos seres humanos (ALMEIDA *et al.*, 2016).

A biofortificação agrônômica, com seleção de cultivares que acumulam mais nutrientes que outras, e com o aumento das doses de nutrientes, para que as plantas possam sintetizar compostos ricos nestes, pode ser uma ótima estratégia de enriquecimento em curto prazo, de reposta rápida (CAKMAK, 2007). Desta maneira, a biofortificação consiste no enriquecimento nutricional dos alimentos durante a produção no campo, podendo ser realizada de duas formas: pelo melhoramento genético (método convencional ou transgenia) ou pelo manejo da cultura.

Há poucos trabalhos sobre biofortificação agrônômica com Zn em hortaliças folhosas (BROADLEY *et al.*, 2010; PADASH *et al.*, 2016; BARRAMEDA-MEDINA *et al.*, 2017; BARRAMEDA-MEDINA *et al.*, 2017; WHITE *et al.*, 2018). Broadley *et al.* (2010) caracterizaram 270 acessos de couve (*Brassica oleracea* L.) e observaram

que os teores de Zn na parte aérea variaram de 4,3 a 20,4 mg kg<sup>-1</sup> sem fertilização e de 14,8 a 42,5 mg kg<sup>-1</sup> com a aplicação de 5 mg Zn kg<sup>-1</sup>. Segundo os autores, a escolha da cultivar e as condições de cultivo afetam o teor desse nutriente e ambos devem ser levados em consideração em projetos de biofortificação. Em couve (*Brassica oleracea* L.), Barrameda-Medina *et al.* (2017) observaram que a produção de biomassa não foi afetada pelas concentrações de Zn, ao passo que o teor aumentou em 687% (465 µg g<sup>-1</sup>) nas plantas cultivadas em sistema hidropônico sob a maior concentração (100 µmol L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O).

Em repolho cultivado em sistema hidropônico, Barrameda-Medina *et al.* (2017) conseguiram elevar o teor de Zn foliar em mais de 7 vezes com a aplicação de 100 µM L<sup>-1</sup> Zn, em comparação às plantas controle (10 µM L<sup>-1</sup> Zn), além de obter impacto positivo sobre o teor de aminoácidos, glucosinolatos e compostos fenólicos que, por sua vez, são substâncias com reconhecida ação benéfica sobre a saúde humana.

Os trabalhos realizados com aplicação de Zn em hortaliças, tais como, alface americana (YURI *et al.*, 2006) confirmam que há variações na produção e qualidade agrônômica destas quando aplicam-se dosagens de Zn distintas, bem como, quando utilizam-se diferentes cultivares (CORGUINHA *et al.*, 2013; PROM-U-THAI *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2013) havendo, entretanto, poucas pesquisas relacionadas à biofortificação agrônômica em hortaliças folhosas.

Segundo Moraes (2020), em trabalho realizado com as alfaces Vanda e Saladela testando concentrações de zinco no cultivo em solo constatou que foi possível biofortificar agronomicamente a alface em condições tropicais. A biofortificação da parte aérea mais adequada ocorreu com as doses de 40 mg Zn dm<sup>-3</sup>, em ambas as épocas de cultivo para Vanda e 35 e 12 mg Zn dm<sup>-3</sup> nas duas épocas de cultivo, para Saladela. Houve redução na massa seca das folhas e raízes em função das doses crescentes de Zn, no entanto, a redução na produtividade ocorreu apenas para Saladela. Assim, conforme o resultado encontrado a alface biofortificada apresentou altos teores de Zn nas folhas.

Recentemente, a biofortificação agrônômica com Zn tem sido estudada em algumas culturas, principalmente em cereais, como trigo, arroz e milho, uma vez que estas culturas representam a maioria das calorias consumidas, especialmente em países em desenvolvimento (CAKMAK & KUTMAN, 2019). No entanto, Clemens (2017) sugere que uma estratégia complementar seria a biofortificação de hortaliças

folhosas atrelada à promoção do consumo, pois estas contêm muito mais Zn que os cereais (BROADLEY *et al.*, 2007).

### 3.3 Cultivo hidropônico no sistema NFT

A hidroponia é uma técnica bastante difundida em todo o mundo (FURLANI *et al.*, 1999). Esta técnica emprega elevada tecnologia, que fornece solução (nutrientes e água) que disponibiliza à planta elementos essenciais através de suas raízes (ROMADLONI, 2015). Praticamente qualquer espécie de vegetal pode ser cultivada por hidroponia. Possui vários sistemas, um destes sistemas é o NFT (*Nutrient Film Technique*).

Um dos benefícios do sistema NFT para as plantas é a passagem da solução nutritiva apenas pela zona radicular, sem ocasionar molhamento das folhas. Isso evita a absorção foliar, que faz com que íons tóxicos acumulem-se nas folhas, ocasionando sintomas de injúrias foliares, como queima de bordos e do limbo foliar (SANTOS *et al.*, 2010).

No sistema hidropônico é necessário cuidado especial no controle da temperatura da água, nível da água, acidez (pH) da solução nutritiva (HENDRA & ANDOKO, 2014). Assim, o ajuste químico da solução nutritiva depende da espécie, do ambiente, da época de plantio e cultivo (intensidade luminosa e temperatura) e, principalmente, da qualidade da água utilizada nesta forma de cultivo (MELO & SANTOS, 2006). O processo de controle do nível de concentração da solução nutritiva, por exemplo, é realizado pelo menos uma vez por dia em que se a concentração dos nutrientes for muito alta ou muito baixa então adiciona-se água ou nutrientes.

A biofortificação agronômica 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 do nutriente ser baixa e em área tão grande, além de que a aplicação de altas doses de fertilizante com Zn no solo podem causar fitotoxidez na planta, o que limita a produtividade e qualidade, dificultando a biofortificação. 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.

A solução nutritiva e as condições de cultivo variam para cada espécie vegetal, a qual possui diferentes potenciais produtivos e exigências nutricionais (TEIXEIRA, 1996) e proporciona maior rendimento de massa verde e qualidade da produção, bem como a redução da ocorrência de doenças (SANTOS & DUARTE, 2009).

A sazonalidade da produção de folhosas ocorre devido às condições ambientais que causam danos às plantas, o principal é o impacto das gotas de chuva nas folhas. No entanto, o cultivo hidropônico, em ambiente controlado, reduz a zero esses danos. A grande demanda de hortaliças, durante todo ano, faz com que o cultivo hidropônico ganhe espaço na preferência dos consumidores por disponibilizar o produto todo o ano e com ótima qualidade (MENEGAES *et al.*, 2015).

O cultivo em ambiente protegido, onde se realiza o sistema hidropônico, permite um maior rendimento por área, como também a produção de maneira controlada, melhor qualidade do produto, menor incidência de pragas e doenças, menor dependência das condições climáticas, melhor aproveitamento de insumos, possibilitando a distribuição da produção ao longo do ano sendo estas algumas vantagens da produção de hortaliças em sistema hidropônico (RODRIGUES *et al.*, 1997; MARTINEZ, 2002; ROUPHAEL *et al.*, 2018).

Em trabalho de Sago *et al.*, (2018) que testaram concentrações de zinco (0,15, 0,3 e 0,45 g L<sup>-1</sup> em solução nutritiva) em *baby leaf* de alface no sistema hidropônico, constataram que a quantidade e a concentração de zinco nas folhas aumentaram gradualmente com a concentração de zinco na solução nutritiva.

Em estudo de Hawrylak-Nowak (2013) onde foram comparados os efeitos de dois compostos inorgânicos de Se (selenito e selenato) em plantas de alface cultivadas em hidroponia, para a biofortificação com Se, encontraram resultados que o selenito e o selenato introduzidos na solução nutritiva em uma concentração abaixo de 15 µM podem aumentar significativamente a concentração de Se nas partes comestíveis das plantas de alface sem influência negativa no crescimento, concentração de pigmentos fotossintéticos, estado oxidante e acúmulo de Se.

Resultados encontrados por Santos *et al.* (2012) com biofortificação de Zn de rúcula no cultivo hidropônico, constataram que a rúcula tem potencial em estudos de biofortificação, uma vez que o crescimento da planta não é afetado sob altas doses de Zn. Assim, o não aparecimento de sintomas de fitotoxidez, os baixos teores de micronutrientes nos tecidos e a não redução da massa de matéria seca e no número

de folhas indicam que a dose de Zn na solução de Hoagland e Arnon (1950) pode não estar suprimindo a exigência da rúcula em micronutrientes, com exceção ao B.

No trabalho de Smolen *et al.* (2014) em que constataram ausência da influência das combinações testadas com aplicação de iodo e selênio no rendimento de biomassa e composição mineral das plantas (seu estado nutricional em relação a macro e micronutrientes) sugere a possibilidade de conduzir biofortificação dupla segura da alface com iodo e selênio em cultivo hidropônico.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Local**

O experimento foi conduzido de 19/set a 17/out de 2020 em 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°21' de latitude sul e 47°23' de longitude oeste, a uma altitude de aproximadamente 640 metros.

### **4.2 Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi o de inteiramente casualizado, em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições. As parcelas com 4 concentrações de Zn (0,3, 1,0 1,7 e 2,4g L<sup>-1</sup>) na solução nutritiva e as subparcelas foram as cultivares de alfaces Vanda e Saladela, com 4 repetições. O ensaio experimental foi realizado em perfis de cultivo hidropônico (sistema NFT), com espaçamento de 0,25 x 0,25 m (planta e perfil), sendo consideradas como parcelas úteis as plantas sem a bordadura.

### **4.3 Procedimento experimental**

As mudas de alface 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 transplântio foi realizado dia 19 de setembro de 2020.

As cultivares de alface utilizadas foram a Vanda que possui segurança de plantio pela rusticidade e adaptação às condições tropicais de cultivo (SAKATA, 2020) e Saladela que é biofortificada em zinco, ou seja, o genótipo tem 25% a mais de concentração de zinco em relação a Vanda (FELTRIN, 2020).

O ambiente protegido em que foi conduzido o experimento 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 bombas Dancor® modelo Pratika CP-4R, 0,5 cv, e quatro reservatórios, sendo dois com capacidade para 1000 L e dois com capacidade para 500L. O timer de irrigação foi ligado automaticamente em intervalos de 15 minutos.

Os perfis de cultivo hidropônico foram de 75 mm, sendo cada bancada composta por 16 perfis (para um tratamento), totalizando 768 plantas, com 4 repetições para cada cultivar. No croqui é possível observar as alfaces no cultivo hidropônico, destacando um tratamento (Figura 1).



**Figura 1.** Alfaces Vanda e Saladela no cultivo hidropônico da área experimental. 2020.

A solução nutritiva utilizada para o cultivo seguiu a recomendação de Furlani *et al.* (1999) apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Quantidade de sais para o preparo de 1000 L de solução nutritiva para o cultivo de alface.

Fertilizante	g 1000L <sup>-1</sup>
Nitrato de cálcio hydro especial	500
Nitrato de potássio	500
Fosfato monoamônio (MAP)	100
Sulfato de magnésio	350
ConMicros <sup>®</sup>	41,10

Fonte: Furlani *et al.*, 1999.

Utilizou-se o fertilizante ConMicros<sup>®</sup>, em que é uma mistura de quelatos e sais puros totalmente solúveis em água, indicado para suprir a necessidade de micronutrientes pelas plantas crescidas em solo, hidroponia ou em substratos (CONPLANT, 2020). Na sua composição possui: Fe (7,26%), Cu (1,82%), Zn (0,73%), Mn (1,82%), B (1,82%), Mo (0,36%) e Ni (0,36%). Baseando-se na concentração de Zn que há no fertilizante ConMicros<sup>®</sup>, e quantidade de Zn que há no Sulfato de Zinco (ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) (Zn: 20%), se obteve as concentrações de zinco para cada tratamento (Tabela 2).

**Tabela 2.** Concentrações de zinco na solução nutritiva de cultivo para cada tratamento. 2020

Tratamentos	ConMicros <sup>®</sup>	Sulfato de Zn	Zinco
	g 1000L <sup>-1</sup>		
T1	41,1	0	0,3
T2	41,1	3,5	1
T3	41,1	7	1,7
T4	41,1	10,5	2,4

Diariamente foram verificadas a EC (Condutividade elétrica) e pH dos reservatórios (Apêndices A e B) de cada tratamento, assim como o monitoramento da temperatura do ambiente protegido (Apêndice C). Para a reposição dos nutrientes foi utilizada solução estoque, ou seja, uma solução nutritiva concentrada em 100x, para cada tratamento com suas respectivas concentrações. Quando a EC estava abaixo do ideal (1,6 Siemens/m) fazia-se a reposição com a solução concentrada (Apêndice D).

As soluções nutritivas iniciais foram coletadas para análise de macro e micronutrientes e, após 15 dias de cultivo as soluções dos quatro reservatórios foram trocadas, com as mesmas quantidades iniciais (Tabelas 1 e 2). E ao final do experimento (28 dias), foram coletadas novamente as soluções dos reservatórios e das soluções concentradas para análise de macro e micronutrientes.

Os resultados das análises de macro e micronutrientes das soluções nutritivas de cultivo e concentrada estão nos apêndices E, F e G.

#### **4.4 Características avaliadas**

A colheita das alfaces foi realizada aos 28 dias após o transplântio (DAT). Foram avaliadas três plantas úteis de cada repetição para as características agrônômicas. Para o de índice de clorofila e colorimetria avaliou-se duas plantas úteis.

Para as características agrônômicas, o diâmetro da planta e comprimento da raiz foi avaliado em centímetros com o auxílio de fita métrica. O número de folhas foi avaliado considerando a contagem de folhas a partir de 1 cm. A parte aérea e raiz da alface foram pesadas separadamente em balança de precisão 0,01g de modelo S2202H 2200g, para obtenção de massa fresca. Na parte aérea considerou-se folhas e caule das plantas de alface. Após essa etapa, a parte aérea e raízes foram colocadas em sacos de papel, fechados e levadas para a casa de vegetação (ambiente protegido), pois devido a elevada umidade das plantas de alface, foi necessário realizar uma pré-secagem ao sol. Após quatro dias, as plantas foram levadas para a estufa de secagem com circulação de ar forçada na temperatura de 65 °C até obter massa constante e assim obter a massa seca.

Quanto as medições de cor, o índice relativo de clorofila foi obtido utilizando o aparelho SPAD-502 Plus. Para tanto, mediu-se dois pontos por folha, sendo duas folhas/planta, sendo avaliado a folha mediana da planta.

Ademais, foi avaliado também a colorimetria utilizando o instrumento Colorímetro digital WR-10. Coletou-se dois pontos por folha, sendo duas folhas/planta, ambas avaliadas no momento da colheita. Mudanças na cor, brilho e saturação da cor foram registradas por meio do valor L (brilho), que varia de preto (L = 0) a branco (L = 100); valor a\* que caracteriza a cor da região do vermelho (+a\*) ou para a região do verde (-a\*); e b\* que indica o intervalo da cor amarela (+b\*) ao

azul (-b\*). O equipamento foi previamente calibrado em superfície branca, de acordo com a Comissão Internacional de Iluminação (CIE 1976 L, a \*, b \* - CIELAB).

A diferença total de cor entre os tratamentos foi determinada pela equação 1:

$$\Delta E = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2} \quad (1)$$

Essas diferenças foram comparadas de acordo com a classificação:  $\Delta E$  entre 0,0 e 0,5 não existem diferenças perceptíveis na cor; entre 0,6 e 1,5 são diferenças de cor indeléveis; entre 1,6 e 3,0 são diferenças de cores visíveis; entre 3,1 e 6,0 são diferenças de cores apreciáveis; entre 6,1 e 12,0 são diferenças de cor muito grandes; e índices superiores a 12,1 representam diferenças muito óbvias de cor entre as amostras (CHEN & MAJUMDAR, 2008).

A massa seca da parte aérea e das raízes foi encaminhado para o Laboratório de Análise de Solo e Planta, no centro de Horticultura do IAC – Campinas, onde as amostras foram trituradas em moinho tipo Wiley para determinação do teor de zinco, por meio de digestão nítrico perclórico e leitura em espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP – OES).

O acúmulo de zinco foi calculado com base na equação 2:

$$A = MS \times CE \quad (2)$$

Em que:

A: acúmulo; MS: massa seca; CE: concentração do elemento

#### 4.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA). Foi realizada a análise de regressão para as concentrações de zinco 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, sendo que para ambas análises se utilizou o Software Sisvar e para elaboração das tabelas e gráficos utilizou-se o pacote office, Excel 2016.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na análise de variância (Tabelas 3 e 4), que para a maioria das características não houve interação para os tratamentos, porém, somente para a característica Colorimetria a\* houve interação entre os tratamentos. Para as características que apresentaram diferenças significativas somente para cultivar, apresentou-se o Teste de Tukey a  $p < 0,05$  de significância e para as características que apresentaram diferenças significativas somente para a concentração de zinco, apresentou-se a análise de regressão.

**Tabela 3.** Análise de variância para as características: diâmetro da planta, comprimento da raiz, número de folhas, massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz para as alfaces no cultivo hidropônico.

Causas de variação	GL	Quadrados médios						
		DP	CR	NF	MFPA	MFR	MSPA	MSR
Conc. de zinco (TP*)	3	3,16 <sup>ns</sup>	47,50*	3,00*	406,82 <sup>ns</sup>	96,55**	7,03 <sup>ns</sup>	0,41**
Resíduo	9	3,49	5,30	0,77	163,78	5,13	4,27	0,07
CV	-	5,51	10,07	3,64	6,0	12,72	16,54	12,23
Cultivar (TS*)	1	1638,3**	63,02*	561,1*	25352**	22,99 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>
Interação TP x TS	3	5,15 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	1,12 <sup>ns</sup>	444,1 <sup>ns</sup>	5,31 <sup>ns</sup>	2,53 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	5,38	2,68	2,45	435,37	7,41	4,11	0,13
CV	-	6,83	7,16	6,47	9,78	15,28	16,21	16,49

\*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade, \*significativo ao nível de 5% de probabilidade, <sup>ns</sup>não significativo

TP\*: Tratamento principal; TS\*: Tratamento secundário.

DP: Diâmetro da planta; CR: Comprimento da raiz; NF: Número de folhas; MFPA: Massa fresca da parte aérea; MFR: Massa fresca da raiz; MSPA: Massa seca da parte aérea; MSR: Massa seca da raiz.

**Tabela 4.** Análise de variância para as características: índice relativo de clorofila, colorimetria L a\* e b\*, teor de zinco foliar e radicular, acúmulo de zinco foliar e radicular para as alfaces no cultivo hidropônico.

Causas de variação	GL	Quadrados médios							
		IRC	CL	Ca*	Cb*	TZF	TZR	AZF	AZR
Concentração de zinco (TP*)	3	95,32 <sup>ns</sup>	7,89 <sup>ns</sup>	1,03*	18,27**	1132,5*	6007*	20689*	23637*
Resíduo	12	37,81	10,41	0,28	3,50	42,39	4856	13478	34062
CV	-	21,64	5,74	4,07	6,04	11,62	19,97	16,72	24,18
Cultivar (TS*)	1	342,4*	170,84*	60,03*	731,62*	732,39*	251,7 <sup>ns</sup>	76867*	13802 <sup>ns</sup>
Interação TP x TS	3	43,51 <sup>ns</sup>	1,93 <sup>ns</sup>	1,17**	5,35 <sup>ns</sup>	47,98 <sup>ns</sup>	1776 <sup>ns</sup>	5331 <sup>ns</sup>	11708 <sup>ns</sup>
Resíduo	12	56,59	7,19	0,17	2,25	41,75	9531	14272	13002
CV	-	26,48	4,77	3,19	4,84	11,53	27,98	17,20	47,25

\*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade, \*significativo ao nível de 5% de probabilidade, <sup>ns</sup>não significativo

TP\*: Tratamento principal; TS\*: Tratamento secundário.

IRC: Índice relativo de clorofila; CL: Colorimetria L; Ca\*: Colorimetria a\*; Cb\*: Colorimetria b\*; TZF: Teor de zinco foliar; TZR: Teor de zinco raiz; AZF: Acúmulo de zinco foliar; AZR: Acúmulo de zinco raiz.

O diâmetro da planta na alface Vanda obteve na concentração 2,4 g L<sup>-1</sup> de Zn a maior média com valor de 41,1 cm, enquanto que para Saladela a maior média foi de 26,8 cm. Não houve interação para esta característica, obtendo diferenças estatísticas somente para as cultivares, o que obteve maior diâmetro para a alface Vanda, como apresenta o teste de Tukey (Tabela 5).

**Tabela 5.** Comparação das médias quanto a cultivar de alface para diâmetro da planta, comprimento da raiz, número de folhas, massa fresca parte aérea, índice relativo de clorofila, colorimetria L, a\* e b\* por meio do teste de Tukey a 5% de significância.

Cultivar	DP	CR	NF	MFPA	IRC	CL	Cb*	TZF	AZF
Saladela	26,7b	24,2a	28,4a	185,1b	25,1b	53,8b	26,2b	61,5a	750,9a
Vanda	41,1a	21,4b	20,6b	241,4a	31,6a	58,5a	35,7a	50,4b	637,7b
DMS (5%)	1,78	1,26	1,20	16,07	5,79	2,06	1,15	6,08	112,4

Médias na mesma coluna, seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

DP: Diâmetro da planta; CR: Comprimento da raiz; NF: Número de folhas; MFPA: Massa fresca da parte aérea; IRC: Índice relativo de clorofila; CL: Colorimetria L; CB: Colorimetria b\*; TZF: Teor de zinco foliar; AZF: Acúmulo de zinco foliar.

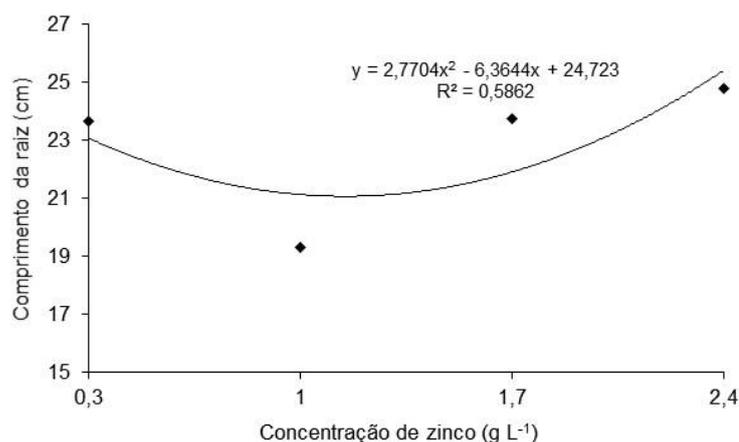
Sabe-se que o Zn é um nutriente fortemente relacionado ao crescimento da planta, visto que é necessário para a síntese de ácidos nucleicos, proteínas e

carboidratos (LUKASKI, 1995). Pelo fato do acondicionamento das hortaliças folhosas, para posterior transporte, ser feito em caixas plásticas ou de madeira, parâmetros como diâmetro da planta é de grande importância (SALA & COSTA, 2012).

Tal característica é muito relevante por parte dos consumidores no momento da aquisição da alface, a aplicação de Zn na solução nutritiva pode ser uma alternativa promissora para produtores, uma vez que não interfere nas características produtivas, como neste trabalho que observou-se aumento de diâmetro, além de trazer benefícios à população por ser importante para a síntese e reparação de DNA, RNA e proteínas, além de influenciar em processos bioquímicos e fisiológicos relacionados ao crescimento, divisão, diferenciação celular, desenvolvimento e envelhecimento (FUKADA *et al.*, 2011).

No trabalho realizado em campo de Graciano (2019), utilizando quatro cultivares de alface crespa (Brida, Isabela, Thaís e Vanda), os valores para tal característica em função das diferentes doses de zinco via foliar, ajustaram-se à equação polinomial de segundo grau, sendo que o maior diâmetro de cabeça (29,56 cm) foi encontrado quando se aplicou a dose de 706,76 g ha<sup>-1</sup> Zn. Vale ressaltar que neste trabalho, a maior concentração de zinco foi o que resultou maiores valores.

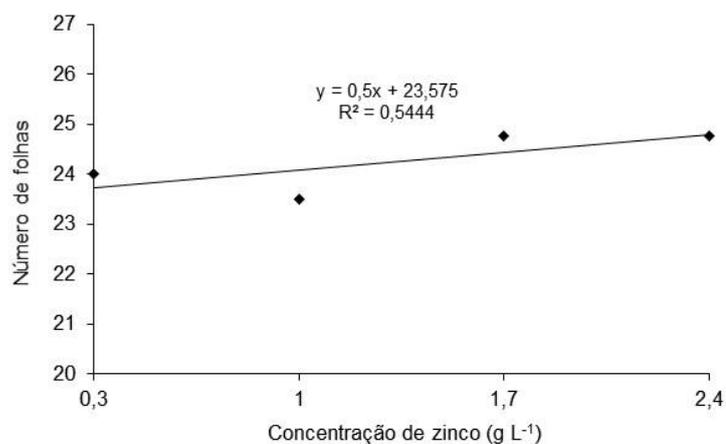
Para o comprimento de raiz os valores ajustaram-se à equação polinomial de segundo grau, sendo que para a cultivar Saladela os valores variaram entre 21 a 26 cm. Para a cultivar Vanda os valores variaram entre 17,5 a 23,5 cm, ambas alfaces com maior valor na concentração de zinco 2,4g L<sup>-1</sup> (Figura 2). Segundo Jardina *et al.* (2017), o tamanho do sistema radicular, assim como a quantidade de pelos radiculares, influencia diretamente na capacidade de absorção de nutrientes pelas plantas, pois quanto maior o volume de raízes, maior será a possibilidade de a mesma absorver nutrientes para o seu desenvolvimento.



**Figura 2.** Comprimento da raiz das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020

Não houve interação para comprimento da raiz, obtendo diferenças estatísticas para ambos os fatores (concentração de zinco x cultivares), porém independentemente. A alface que obteve maior comprimento de raiz foi a Saladela (Tabela 5).

Para o número de folhas os valores ajustaram-se à equação linear. Não houve interação entre os tratamentos, porém houve efeito isolado na cultivar. A alface Saladela obteve maior número de folhas com média de 28,43 (Tabela 5). O número de folhas é um parâmetro avaliado de extrema relevância, devido ao fato de que as folhas constituem a parte comercial da alface (FILGUEIRA, 2008) e, a atenção do consumidor no momento da compra, está voltada para a aparência, volume e, indiretamente, para o número de folhas.



**Figura 3.** Número de folhas das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020

Além disso, o número de folhas contido em cada planta pode indicar a adaptação do material genético ao ambiente (DIAMANTE *et al.*, 2013), principalmente à temperatura, ao fotoperíodo (OLIVEIRA *et al.*, 2004) e ao manejo empregado na cultura.

De acordo com Flores *et al.* (2016), alfaces com menor circunferência geram menor número de folhas. Em trabalho de Ceccherini *et al.* (2020) que testaram alface em diferentes volumes de bandeja, em hidroponia e no campo, o volume de 50 cm<sup>3</sup> no campo exibiu uma circunferência maior que os 10 cm<sup>3</sup> na hidroponia, mas obteve 1,25 folhas planta<sup>-1</sup> a menos, notando influência da melhor nutrição do sistema de produção.

Além disso, o volume de 40 cm<sup>3</sup> em hidroponia foi o que apresentou o maior número de folhas (37 folhas planta<sup>-1</sup>), entre os volumes e cultivos. Esse maior número de folhas gerado pelo maior volume e cultivo em hidroponia é favorável, pois promove maior interceptação de energia luminosa que será convertida em química e servirá para impulsionar o desenvolvimento das plantas de forma mais vigorosa, causando precocidade na colheita (TAIZ *et al.*, 2017).

Foi utilizada a equação para obtenção da diferença total de cor (Tabela 6), para as duas alfaces nas concentrações de zinco. De acordo com a classificação observou-se que para as alfaces nas concentrações 1,0 e 1,7 g L<sup>-1</sup> apresentou diferenças de cor muito grandes e as alfaces na menor e maior concentrações apresentaram diferenças evidentes de cor.

No trabalho de Fontana *et al.* (2018) os valores de  $\Delta E$  mostrou diferença de cor perceptível entre a amostra de alface cv. Brunela produzida no sistema convencional e a amostra produzida no sistema hidropônico ( $\Delta E = 5,6$ ). Assim, neste trabalho notou-se resultados contrários, entre as alfaces Vanda e Saladela produzidas somente em sistema hidropônico, a diferença total de cor foram superiores em todos os tratamentos (Tabela 6), apresentando então maior coloração em relação ao resultado obtido pelo autor.

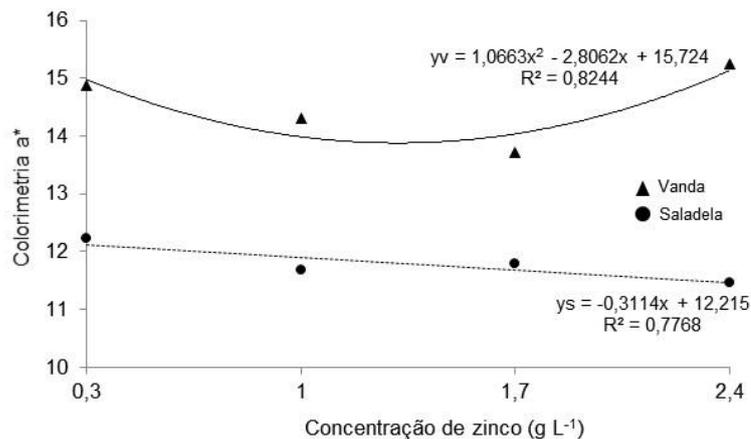
**Tabela 6.** Diferença total de cor das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco.

Concentração de zinco (g L <sup>-1</sup> )	Diferença total de cor ( $\Delta E$ )
0,3	13,86
1,0	10,41
1,7	9,25
2,4	12,26

Na colorimetria L não houve interação entre os tratamentos, houve apenas efeito isolado para as cultivares, no qual a alface Vanda obteve melhor resultado com média de 58,51 (Tabela 5). Os resultados obtidos neste trabalho diferiram aos resultados de Fontana *et al.* (2018), onde os valores de L mostraram que entre as amostras da alface Brunela produzidas nos sistemas hidropônico e orgânico, os autores observaram diferença estatística significativa e amostras hidropônicas apresentaram maior valor de L de 67,7 (amostra mais clara), e neste trabalho para a alface Vanda em cultivo hidropônico obteve amostra mais escura.

Em trabalho realizado por Rossi *et al.* (2020) em três sistemas de cultivo (convencional, hidroponia e orgânico) a alface Romanela do crescimento orgânico apresentou o menor valor L, ou seja, a coloração mais escura e a Romanela convencional apresentou o maior valor e, portanto, a coloração mais clara. Como esperado, a alface Romanela apresentou valores negativos para os três sistemas estudados indicando uma coloração verde. Neste estudo, observou-se resultados contrários para as duas alfaces, e foram obtidos valores positivos para esta coordenada.

No componente a\* houve interação entre os tratamentos para esta característica. Para a alface Vanda os valores se ajustaram à equação polinomial do segundo grau e para Saladela ajustaram-se à equação linear (Figura 4). É possível afirmar que todas as amostras das alfaces Vanda e Saladela se apresentaram nas regiões do verde já que a leitura do colorímetro demonstrou valores negativos para esta coordenada.

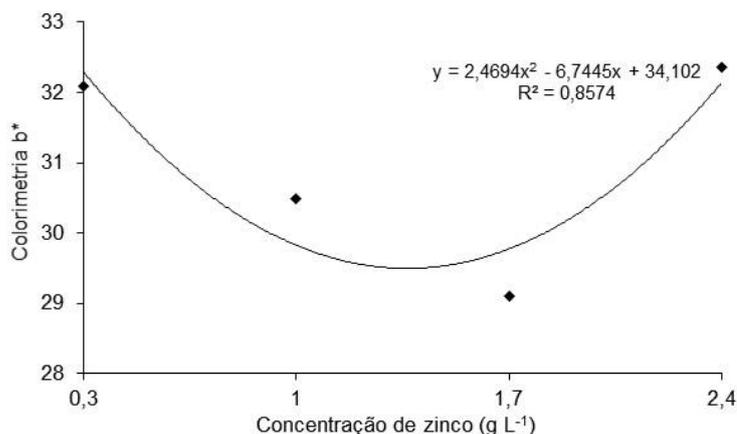


**Figura 4.** Colorimetria a\* das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020

Nos estudos de Cassetari (2012) com alface cultivar Verônica do tipo crespa foi encontrado valor de -16,37 para o componente colorimétrico a\*, também encontrando valores negativos.

Segundo Fontana *et al.*, (2018), onde avaliaram alface em três sistemas de cultivo (convencional, hidropônica e orgânica), a análise instrumental da cor mostrou que para a\*, as três amostras na alface Brunela avaliadas neste experimento apresentaram resultados negativos quanto à cor verde, não apresentando diferença significativa entre elas, neste estudo atual para a\* apresentou interação entre cultivares e teores de zinco, em cultivo hidropônico.

Para a cromaticidade b\* não houve interação entre os tratamentos, houve efeito isolado para ambos os fatores. Os valores ajustaram-se à equação polinomial de segundo grau (Figura 5). A alface Vanda obteve melhor média de 35,79 (Tabela 5). É possível afirmar que todas as amostras das alfaces Vanda e Saladela se apresentaram na região do amarelo, pois demonstrou valores positivos para esta coordenada.



**Figura 5.** Colorimetria b\* das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020

Em estudos realizados por Sousa *et al.* (2014) com alfaces Elba foram encontrados valores de 35,1 a 38,9, sendo obtido neste trabalho alfaces de coloração pouco amarela. E nos estudos de Cassetari (2012) com alface cultivar Verônica do tipo crespa foi encontrado valor de 22,9 para o componente b\*. Ainda no estudo realizado por Fontana *et al.* (2018), para b\*, todas as amostras de alface apresentaram valores positivos, considerando a cor amarela, e não apresentaram diferença significativa. Em relação a cor da alface era o que se esperava, uma vez que segundo Figueira (2008), a cor deve variar do verde amarelado ao verde escuro.

Ainda no estudo conduzido por Rossi *et al.*, (2020), o parâmetro cromático b\* foi positivo para os três sistemas estudados, portanto, folhas amareladas, não havendo diferença estatística entre eles. Para o parâmetro cromático a\*, a Rubinela em cultivo convencional apresentou o menor valor de a\* e a planta em cultivo orgânico o maior, indicando que esta é provavelmente mais avermelhada que a amostra convencional. Todos os valores de a\* obtidos foram positivos, indicando a coloração vermelha, resultados coerentes para esta cultivar, uma vez que Rubinela apresenta uma cor púrpura intensa. O parâmetro b\* apresentou valores positivos, indicando uma coloração amarela.

Para o índice relativo de clorofila, que serve para indicar o teor de clorofila nas folhas, não houve interação entre os tratamentos, houve efeito isolado apenas para cultivar. A alface Vanda apresentou melhor resultado com média de 31,68 (Tabela 5). A análise do teor de clorofila nas folhas é um método utilizado para monitorar o

desenvolvimento vegetal, fornecendo informações sobre o estado fisiológico, teores de nitrogênio nas folhas e o potencial fotossintético das plantas (RICCARDI *et al.*, 2014; YANG *et al.*, 2015).

Observou-se neste trabalho que não houve efeito fitotóxico quando aplicado maior concentração de zinco nas alfaces. Isso pode refletir em folhas de excelente qualidade, conforme constatado por Cassetari (2012), já que o teor de clorofila se relaciona diretamente com a atividade fotossintética e com o estado nutricional.

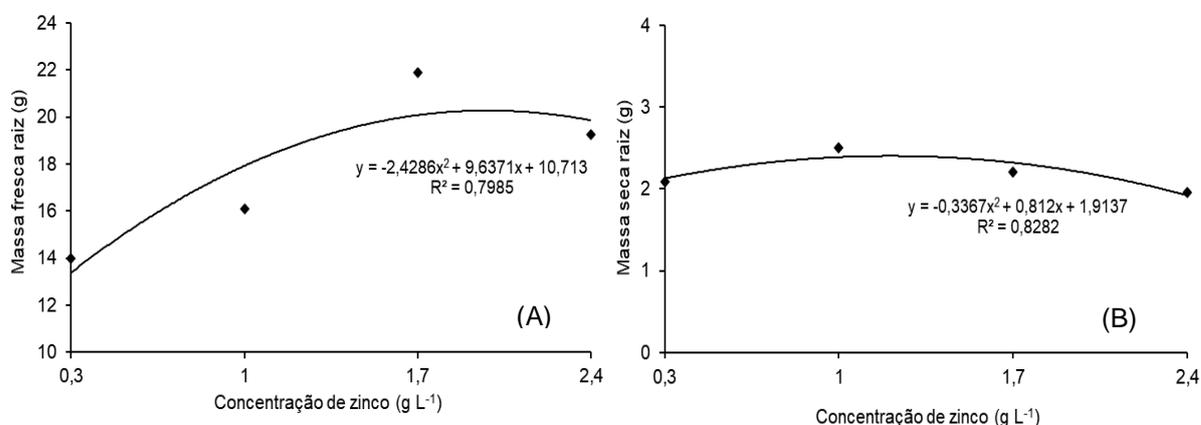
Alguns autores (KAYA & HIGGS, 2001; ROOSTA *et al.*, 2017) relataram diminuição nos teores de clorofila, causada tanto pela deficiência quanto pela toxicidade por zinco (ANWAAR *et al.*, 2015). No presente estudo, a resposta positiva para tal característica pode ser explicada pelo fato de que as maiores concentrações de zinco aplicadas não foram nem insuficientes nem fitotóxicas para a cultura, não interferindo negativamente no teor de clorofila e, refletindo, conseqüentemente, em um leve aumento no índice de clorofila. Segundo Ebbs e Uchil (2008), a deficiência de ferro devido a altas doses de Zn é uma das causas da diminuição dos valores de clorofila.

Alguns estudos mostram a eficiência do sistema hidropônico, como por exemplo o conduzido por Souza *et al.* (2019) que avaliou o desenvolvimento de plantas de alface da cultivar Crocantela cultivadas em sistema hidropônico e em solo. Por proporcionar melhores condições nutricionais, principalmente em relação aos macronutrientes, plantas cultivadas em sistema hidropônico apresentaram diferenças significativas na concentração de clorofila a (0,4481 mg/g), b (0,1233 mg/g) e total (0,5714 mg/g), além de maior biomassa comparadas às plantas cultivadas em solo.

Para a massa fresca e seca da parte aérea não houve interação entre os tratamentos, houve efeito isolado para cultivar somente para MSPA (Tabela 5). Obteve-se para a MFPA e MSPA os valores de 241,45 g e 13,6 g para Vanda e para a Saladela obteve 185,16 g e 13,6 g, ambas na concentração de 2,4 g L<sup>-1</sup> de Zn, respectivamente. Neste trabalho houve diferença entre as cultivares, sendo que foi possível observar que as concentrações maiores de zinco também influenciaram positivamente na massa fresca da parte aérea.

Para a massa fresca e seca da raiz não houve interação, houve efeito isolado somente para concentração de zinco para ambas as características (Tabela 5). Os valores para MFR e MSR ajustaram-se à equação polinomial de segundo grau

(Figura 6AB) de 21,6 e 2,6 g, para Saladela, e quanto a Vanda os valores obtidos foram 22,1 e 2,3, respectivamente. Observou que o efeito das concentrações de zinco maiores não influenciou negativamente para as massas fresca e seca da raiz para ambas as cultivares.



**Figura 6.** Massa fresca da raiz (A) e massa seca da raiz (B) das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020

Em trabalho realizado por Moraes (2020), que testou doses de zinco em solo, influenciaram a produção de biomassa em alface, ou seja, no comprimento do caule, massa fresca, massa seca das folhas e raízes das plantas de Vanda, e plantas de Saladela houve interação significativa dos tratamentos para massa fresca, massa seca das folhas e acúmulo de Zn nas folhas e raízes. Neste atual estudo, para estas características não houve interação entre as plantas Vanda e Saladela.

Sago *et al.* (2018) observaram em alface *baby leaf* americana reduções drásticas nos valores de massa fresca com o aumento das concentrações de zinco de 0,15 até 0,45 g L<sup>-1</sup> na solução nutritiva, além disso, foi observada necrose em folhas com concentração de zinco na solução nutritiva  $\geq 0,15$  g L<sup>-1</sup>. Resultados contrários foram obtidos no atual estudo, no qual foi utilizado concentrações maiores de Zn, que não houve redução na massa fresca e sintomas de necrose na folha de alfaces Vanda e Saladela adultas. O que pode ser explicado pela diferença de genótipos e condições de cultivo, pois Sago *et al.* (2018) investigou o acúmulo de zinco em várias condições, incluindo velocidades do vento e temperaturas da zona radicular (30 °C), o controle dos fatores ambientais afetam a transpiração foliar e diminuiram a massa fresca da *baby leaf*.

Os distintos resultados encontrados quanto à massa fresca podem ser justificados pela diferença genética entre as cultivares. Para MFPA nota-se que entre as cultivares Vanda e Saladela houve diferenças, entende-se que pode levar a distinções nos parâmetros morfológicos e produtivos, mesmo sob condições climáticas semelhantes.

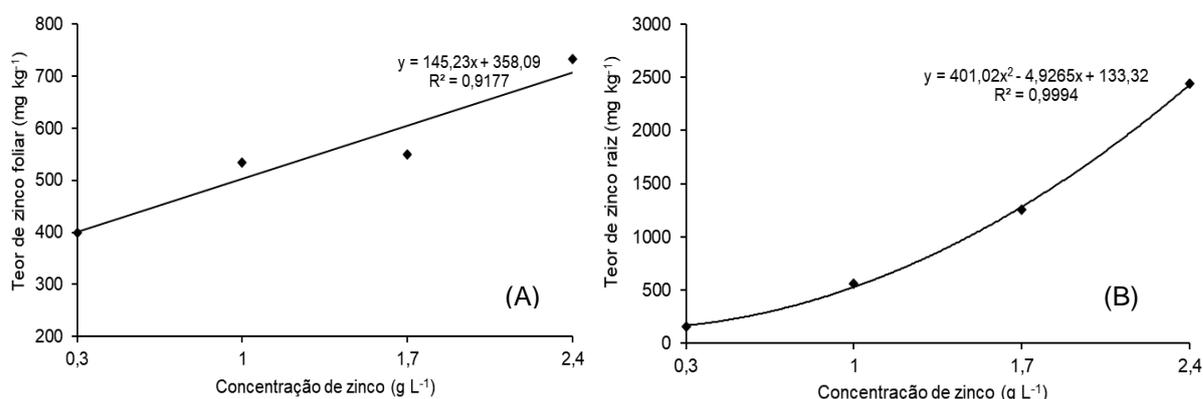
Em trabalho realizado por Ceccherini *et al.*, (2020) verificaram-se aumento no peso da massa fresca em alface Vanda conforme o aumento do volume das mudas produzidas em bandejas, que foram testadas em hidroponia e campo. Essa influência no peso da massa fresca também foi relatada em tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (RODRIGUES *et al.*, 2010), manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) (MAGGIONI *et al.*, 2014) e alface (ORTIZ *et al.*, 2015). Além disso, o sistema de cultivo também influenciou no ganho de peso, pois enquanto o cultivo do solo apresentou no máximo 227,5 g planta<sup>-1</sup>, na hidroponia o peso máximo obtido foi de 375,2 g planta<sup>-1</sup> (64,90% a mais), corroborando com o descrito por Steiner *et al.*, (2009).

Ozdener e Aydin (2010), avaliando as concentrações de 0, 250, 500, 1000 e 2000 mg L<sup>-1</sup> Zn na rúcula 'Istanbul' em cultivo no solo, encontraram conteúdo foliar de 8, 24, 147, 157 e 251 mg kg<sup>-1</sup> Zn, respectivamente, não observando fitotoxicidade nem redução na massa seca e fresca das raízes e parte aérea. Grande parte do Zn absorvido pela planta permaneceu nas raízes. Sete a oito vezes menos Zn acumulado nas folhas do que nas raízes. Embora uma grande quantidade de Zn tenha se acumulado nas raízes, não inibiu o crescimento. Segundo White & Broadley (2005), a grande maioria das lavouras apresentam crescimento reduzido com concentrações foliares superiores a 100 mg kg<sup>-1</sup> Zn. No caso das hortaliças folhosas como a alface, teores foliares acima de 218 mg kg<sup>-1</sup> Zn, podem causar uma diminuição na massa seca das raízes e parte aérea (BARRAMEDA-MEDINA *et al.*, 2014).

No trabalho de Moraes (2020) a massa seca das raízes apresentaram os maiores valores de 2,1 e 2,4 g planta<sup>-1</sup> nas doses 11 e 2 mg Zn dm<sup>-3</sup>, respectivamente para as plantas de Vanda e Saladela. Com o aumento das doses, houve redução de massa e os menores valores observados foram de 1,3 e 1,7 g, respectivamente na dose de 40 mg Zn dm<sup>-3</sup>. A autora realizou o experimento em duas épocas de cultivo (março a abril/maio a julho), no qual verificou aumento das doses de Zn em ambas as épocas. Com o aumento das doses, houve redução, ou

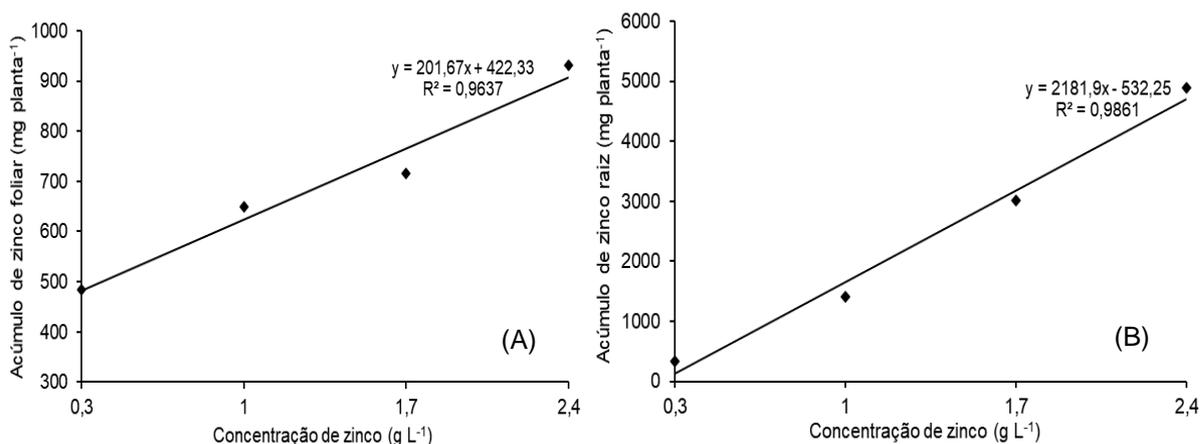
seja, uma espécie de fitotoxidez na planta, o que não é desejável, pois prejudica sua comercialização. Contudo, no atual trabalho não verificou fitotoxidez na hidroponia para as alfaces, onde não obteve perda de massa, mesmo com as doses aumentadas em 8x (de 0,3 para 2,4g L<sup>-1</sup>), como observou-se no trabalho citado em solo.

O teor de zinco foliar não apresentou interação entre os tratamentos, houve diferença significativa para concentração de zinco e cultivares. A alface Saladela apresentou maior teor de zinco nas folhas (Tabela 5). Os valores se ajustaram à equação linear (Figura 7A). Para o teor de zinco na raiz não houve interação, houve efeito isolado para concentração de zinco. Os valores se ajustaram à equação polinomial do segundo grau (Figura 7B).



**Figura 7.** Teor de zinco foliar (A) e da raiz (B) das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020

O acúmulo de zinco foliar não apresentou interação entre os tratamentos, obteve-se efeito isolado para os fatores. A alface Vanda acumulou mais zinco na folha (Tabela 5). Os valores se ajustaram à equação linear (Figura 8A). Para o acúmulo de zinco na raiz não houve interação, apresentando diferença estatística somente para concentração de zinco (Figura 8B).



**Figura 8.** Acúmulo de zinco foliar (A) e da raiz (B) das alfaces Vanda e Saladela nas concentrações de zinco em cultivo hidropônico, aos 28 dias após o transplante (DAT). 2020

Observou-se que a maior concentração de zinco não apresentou fitotoxidez, obtendo valores elevados em toda a planta. É possível considerar eficaz a absorção do micronutriente na alface cultivada em solução nutritiva, o que é uma característica das plantas cultivadas em meio com alta disponibilidade de nutrientes minerais.

Quando o Zn é fornecido às plantas, as concentrações nos tecidos vegetais decrescem na ordem raízes > folhas > frutos, sementes, uma vez que os órgãos de reserva obtêm a maioria de seus minerais através do floema, onde o Zn é pouco móvel (BROADLEY *et al.* 2012). Assim, a alface, por apresentar as folhas como a parte comestível, quando biofortificada pode apresentar maior quantidade do nutriente que os grãos e cereais e possibilita consumir menores porções (menor quantidade), mas com a mesma concentração do micronutriente.

Os sintomas de fitotoxidez de Zn compreendem baixa produtividade, crescimento lento, clorose induzida por deficiência de Fe através de reduções na síntese de clorofila e degradação de cloroplasto, interferência na absorção de P, Mg e Mn (CHANEY, 1993). Por outro lado, observou-se em estudos com biofortificação que essas hortaliças toleram altas concentrações de Zn nas folhas, com valores de 259 (PADASH *et al.* 2016) e 1000 mg Zn kg de massa seca (FONTES, *et al.* 2014) em alface e 465 mg Zn kg (BARRAMEDA-MEDINA, *et al.* 2017) em couve. Assim como neste trabalho notou-se que a maior concentração de Zn no cultivo hidropônico, não reduziu a produtividade, o crescimento e a clorofila das alfaces.

Quando aplicado em maior quantidade, os tecidos das raízes apresentam concentrações de Zn mais elevadas em relação aos tecidos da parte aérea devido à regulação genética de absorção e transporte desse micronutriente, entre outros fatores (GUPTA *et al.* 2016), explicando o elevado teor e acúmulo nas raízes. As raízes da alface não fazem parte do nosso consumo. Contudo, altas concentrações do Zn foi verificado. Observando o potencial destas raízes em concentrar o micronutriente, destaca-se possível eficácia em consumir um produto orgânico rico em Zn originária das raízes, ou seja, um pó (moído) cuja finalidade poderia ser útil para a complementação do Zn para seres humanos. Dessa forma, na hidroponia isso é facilitado, pois o produto hidropônico mantém a raiz, diferentemente do cultivo em campo.

Estudos indicam que as famílias Brassicaceae, Euphorbiaceae e Asteraceae, nas quais há uma vasta gama de espécies de hortaliças folhosas, contém plantas hiperacumuladoras de elementos minerais, incluindo Zn (CAPPA & PILON-SMITHS, 2014). Essas plantas apresentam naturalmente concentrações de 50 a 100 vezes maiores de um metal, incluindo cobre (Cu), manganês (Mn), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn), em relação as da vegetação que a circunda, ou equivalente de 100 a 10.000 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca (VAN DER ENT *et al.* 2013).

Segundo White e Broadley (2011) as espécies da família Asteraceae tendem a ter alto teor de Zn na parte aérea e raízes, o que concorda com os resultados obtidos neste trabalho ao teor de Zn em ambas as partes. Os teores de zinco nas raízes e folhas podem ser aumentadas por meio da aplicação de fertilizantes de Zn. Os teores de Zn na raiz de até 500-5000 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca e as concentrações de Zn nas folhas de até 100-700 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca podem ser alcançadas sem perda de rendimento. Destacando que no atual estudo, os teores de Zn nas raízes foram ainda maiores em relação a parte aérea.

Além do potencial genético dessas plantas, as concentrações de Zn em hortaliças folhosas são geralmente maiores do que em grãos, tubérculos e frutas, uma vez que os órgãos de reserva obtêm a maioria de seus minerais através do floema e Zn é pouco móvel no floema (WHITE & BROADLEY, 2011). Sendo assim, as folhas podem contribuir substancialmente para a ingestão dietética de Zn (HENDERSON *et al.*, 2003).

As concentrações limites de Zn na folha para a maioria das plantas situam-se entre 100 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de massa seca (FAGERIA, 2016). Esta estratégia de

biofortificar, visa aumentar as concentrações biodisponíveis de Zn nos alimentos, assim, a ingestão de alimentos biofortificados pode manter teores adequados do nutriente no organismo humano, além de incrementar a produtividade das culturas na hidroponia (ALMEIDA *et al.* 2016).

Para determinar o teor limite de Zn na parte aérea de folhosas, White *et al.* (2018) estudaram cinco genótipos de repolho e quatro de brócolis. Para os genótipos de repolho aplicaram-se cinco concentrações crescentes em substrato, variando de 0,075 até 3000 mg L<sup>-1</sup> de Zn, para brócolis as concentrações foram de 0,15 até 450 mg L<sup>-1</sup> de Zn, ambos via nitrato de zinco.

O aumento da concentração de Zn foi linear para todos os genótipos e a concentração crítica, aquela em que a massa seca é reduzida para menos de 90% do máximo valor observado (WHITE & BROADLEY, 2011), variou de 0,074 a 1,201 mg Zn g<sup>-1</sup> de massa seca entre os genótipos de repolho e de 0,117 a 1,666 mg Zn g<sup>-1</sup> de massa seca entre os genótipos de brócolis. As maiores concentrações excederam valores estimados por White e Broadley (2011) quanto ao potencial de absorção do Zn por hortaliças folhosas, o que sustenta a hipótese de que elas podem alcançar maiores concentrações deste nutriente em comparação com grãos, raízes ou tubérculos.

Nos resultados observados por Moraes (2020) não houve interação significativa entre as doses de Zn para a concentração de Zn nas folhas, mas ocorreu nas raízes. O teor nas folhas aumentou de acordo com as doses crescentes, com os menores valores observados nas doses de 0 e 5 mg Zn dm<sup>-3</sup>. Em relação à concentração de Zn na raiz, nas três primeiras doses observou-se valores próximos. A partir da dose de 20 mg Zn dm<sup>-3</sup>, houve aumentos significativos, atingindo 1767,9 mg kg<sup>-1</sup>. Com o objetivo de caracterizar a variação genética natural, Broadley *et al.* (2010) caracterizaram 270 acessos de *Brassica oleracea* L. cultivadas com 5 mg Zn kg<sup>-1</sup> de solo e sem fertilização e observaram que os teores de Zn na parte aérea variaram de 4,3 a 20,4 mg kg<sup>-1</sup> sob condições sem fertilização e de 14,8 a 42,5 mg kg<sup>-1</sup> com a aplicação de Zn.

Em couve, Barrameda-Medina *et al.* (2017) observaram que a produção de biomassa não foi afetada, ao passo que o teor aumentou de 59 para 465 µg g<sup>-1</sup> nas plantas cultivadas sob concentrações de 10 a 100 µmol L<sup>-1</sup> de ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, respectivamente. Barrameda-Medina *et al.* (2017) constataram aumento no teor de

Zn nas folhas, na produção de biomassa e concluíram que a biofortificação agrônômica com Zn favoreceu o metabolismo do nitrogênio em alface.

Visando biofortificar rúcula com aplicações foliares de sulfato de Zn, Rugeles-Reyes *et al.* (2019) observaram que 1,5 e 1,0 kg ha<sup>-1</sup> aplicados aos 25 dias após a emergência resultaram em teores nas folhas de 246,5 e 209,4 mg Zn kg<sup>-1</sup>. Estes valores representaram aumento de 279 e 222%, respectivamente, em relação aos teores das plantas que não receberam aplicações de Zn.

Considerando-se a estimativa da contribuição da alface biofortificada com Zn na recomendação de ingestão diária de 10 mg de Zn, observou-se que as quantidades de Zn na porção de 50 g obtidas nas concentrações de Zn aplicadas, especialmente para Saladela na concentração de 2,4 g L<sup>-1</sup>, indicou contribuição de até 26% a mais na ingestão diária, enquanto para Vanda pode contribuir com até 17%, na maior concentração de Zn aplicada (Tabela 7). No trabalho de Moraes (2020) constatou-se nas duas épocas de cultivo contribuição de até 17 e 18% a mais na ingestão diária para Vanda e para Saladela pode contribuir com até 26 e 39%, respectivamente.

Assim, a porção diária de 50 g de alface biofortificada pode contribuir mais que maiores porções de grãos e cereais, pois estes apresentam grandes quantidades de ácido fítico. Para trigo, Chattha *et al.* (2017) constataram que três cultivares biofortificadas com aplicação de sulfato de zinco apresentaram entre 4,0 e 5,6 mg de Zn em 100 g de grãos, porém nesta mesma porção havia entre 911 e 1090 mg de ácido fítico. Analisando seis cultivares de arroz biofortificadas com Zn, Saha *et al.* (2017) observaram que os teores no arroz cozido variaram de 11,2 a 15,6 mg Zn kg<sup>-1</sup>, enquanto que o ácido fítico variou de 1400 a 2600 mg kg<sup>-1</sup>, assim, em 300 g de arroz cozido havia entre 1,5 e 1,9 mg de Zn biodisponível, o que corresponde a 15 e 19 % de contribuição na recomendação de ingestão diária de Zn.

**Tabela 7.** Quantidade de Zn em uma porção de 50 g de massa fresca (MF) de folhas das cultivares de alface Vanda e Saladela e a contribuição desta porção em porcentagem para a recomendação de ingestão diária de Zn.

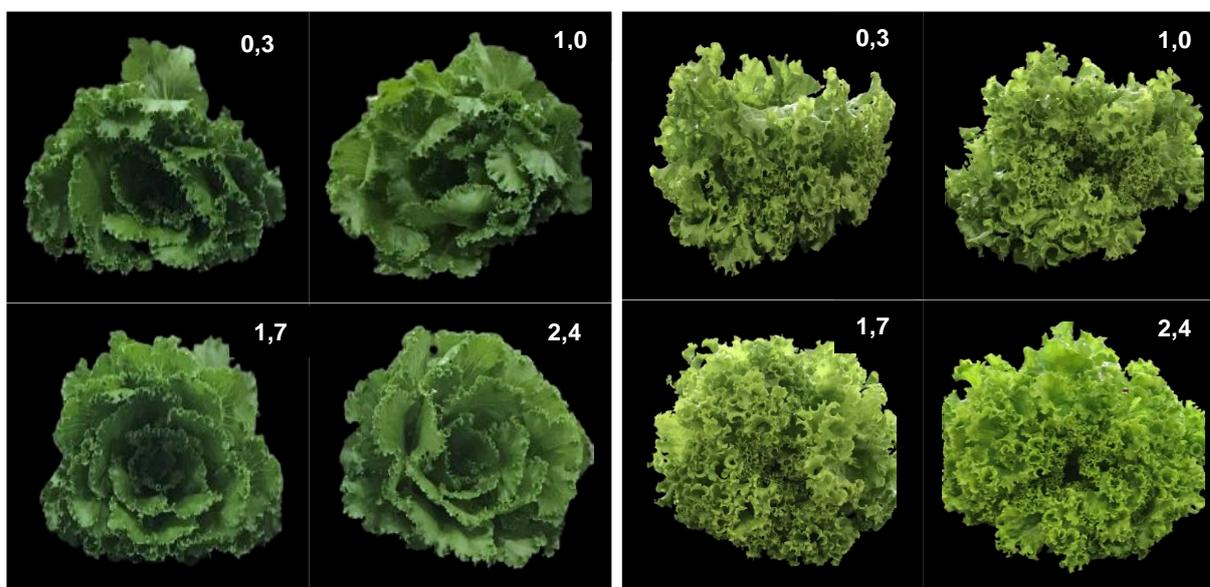
Concentração de Zn ..... g L <sup>-1</sup> .....	Zn em 50 g de MF ..... mg .....	Recomendação diária de Zn <sup>1</sup> ..... % .....
<b>Vanda</b>		
0,3	0,8	8
1,0	1,0	10
1,7	1,4	14
2,4	1,7	17
<b>Saladela</b>		
0,3	0,8	8
1,0	1,8	18
1,7	2,1	21
2,4	2,6	26

<sup>1</sup> Recomendação de ingestão de 10 mg Zn dia<sup>-1</sup> (Institute of Medicine – USA, 2001; Department of Health – UK, 1991).

Como exposto, vários são os fatores que interferem a biofortificação, ou seja, dependem de fatores como temperatura, épocas do ano, das características dos genótipos e da faixa de teor de Zn, pois em excesso o Zn pode causar a fitotoxidez na planta. Porém, tem suas vantagens quando a aplicabilidade do Zn é introduzida na planta de forma natural, sem utilização de transgênicos, o que causa maior aceitação por parte de consumidores. Neste atual estudo, foi possível biofortificar as alfaces, no qual a alface Vanda não era biofortificada e a Saladela com 25% a mais de Zn, destacando o potencial de ambas.

Como a alface já está na alimentação diária da população mundial, sendo a principal hortaliça folhosa consumida, os resultados observados beneficiarão a população pela maior ingestão do nutriente sem mudança na dieta (WHITE *et al.* 2018). Além disso, o produtor rural poderia se beneficiar com uma agregação de valor ao seu produto, no entanto é interessante que políticas públicas se envolvam em programas de biofortificação agrônômica para auxílio técnico aos produtores rurais e inserção do produto à população necessitada de Zn na alimentação.

Observa-se as cultivares Saladela e Vanda ao final do experimento (Figura 9). É possível observar que o Zn nas concentrações aplicadas não causou danos de queima nas folhas de alface.



**Figura 9.** Ilustração da cultivar Saladela (esquerda) e Vanda (direita) com os tratamentos T1: 0,3; T2: 1,0; T3: 1,7; T4: 2,4 g L<sup>-1</sup>, aos 28 dias após o transplante (DAT).

## 6 CONCLUSÕES

Foi possível biofortificar agronomicamente as alfaces, obtendo teores de Zn semelhantes em ambas, sendo que a alface Vanda contém 25% a menos de Zn em relação a alface Saladela, sem causar efeito de fitotoxidez nas folhas.

Os teores de Zn foliar e na raiz aumentaram em função do aumento das concentrações do Zn na solução nutritiva até  $733,3 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $2666,6 \text{ mg kg}^{-1}$  para Vanda e  $633,3 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $2216,6 \text{ mg kg}^{-1}$  para Saladela ( $2,4 \text{ g L}^{-1}$ ). A maior concentração  $2,4 \text{ g Zn L}^{-1}$  não afetou a massa fresca ( $241,45$  e  $185,16 \text{ g}$ ) e seca ( $13,6$  e  $13,7 \text{ g}$ ) da parte aérea para Vanda e Saladela, respectivamente.

A alface biofortificada agronomicamente apresentou altos teores de Zn nas folhas, no entanto, é importante que mais pesquisas sejam realizadas em cultivo hidropônico para biofortificação.

## 7 LITERATURA CITADA

ABCSEM. Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudanças. 2020. Disponível em: <https://abcsem.com.br>. Acesso em: 15 de nov. 2020.

ALMEIDA, H.J., DUTRA, A.F., CECÍLIO FILHO, A.B. Biofortificação de hortaliças e saúde global – um enfoque para selênio, zinco, ferro e iodo. In: **Prado, R.M. & Cecílio Filho, A.B. Nutrição e adubação de hortaliças**. p. 103-150, 2016.

ALMENDROS, P., OBRADOR, A., GONZALES, D., ALVAREZ, J. M. Biofortification of zinc in onions (*Allium cepa* L.) and soil Zn status by the application of different organic Zn complexes. **Scientia Horticulturae**, v. 186, p. 254-265, 2015.

ALLOWAY, B. J. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. **Environmental geochemistry and health**, v. 31, n. 5, p. 537-548, 2009.

ANWAAR, S. A.; ALI, S.; ISHAQUE, W.; FARID, M.; FAROOQ, M. A.; NAJEEB, U.; ABBAS, F.; SHARIF, M. Silicon (Si) alleviates cotton (*Gossypium hirsutum* L.) from zinc (Zn) toxicity stress by limiting Zn uptake and oxidative damage. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 5, p. 3441-3450, 2015.

BARRAMEDA-MEDINA, Y.; MONTESINOS-PEREIRA, D.; ROMERO, L.; RUIZ, J.; BLASCO, B. Comparative study of the toxic effect of Zn in *Lactuca sativa* and *Brassica oleracea* plants: I. Growth, distribution, and accumulation of Zn, and metabolism of carboxylates. **Environmental and Experimental Botany**, v. 107, p. 98–104, 2014.

BARRAMEDA-MEDINA, Y., BLASCO, B., LENTINI, M., ESPOSITO, S., BAENAS, N., MORENO, D. A., RUIZ, J. M. Zinc biofortification improves phytochemicals and amino-acidic profile in *Brassica oleracea* cv. Bronco. **Plant Science**, v. 258, p. 45-51, 2017.

BARRAMEDA-MEDINA, Y., LENTINI, M., ESPOSITO, S., RUIZA, J.M., BLASCO, B. Zn-biofortification enhanced nitrogen metabolism and photorespiration process in

green leafy vegetable *Lactuca sativa* L. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, p. 1828–1836, 2017.

BEAL, T.; MASSIOT, E.; JOANNE E. ARSENAULT, J. E.; MATTHEW R. SMITH, M. R.; HIJMANS, R. J. Global trends in dietary micronutrient supplies and estimated prevalence of inadequate intakes. **PloS One**, v. 12, p. 1-20, 2017.

BRENNAN, R. F. **Zinc Application and Its Availability to Plants**. (Pós Doutorado-School of Environmental Science, Division of Science and Engineering), 2005.

BROADLEY, M. R., WHITE, P. J., HAMMOND, J. P., ZELKO, I., LUX, A. Zinc in plants. **New Phytologist**, v. 173, p. 677–702, 2007.

BROADLEY, M.R., LOCHLAINN, S.O., HAMMOND, J.P., BOWEN, H.C., CAKMAK, I., EKER, S., ERDEM, H., KING, G.J. AND WHITE, P.J. Shoot zinc (Zn) concentration varies widely within *Brassica oleracea* L. and is affected by soil Zn and phosphorus (P) levels. **Journal Horticulture Science Biotechnology**, v. 85, p. 375–380, 2010.

BROADLEY, M. R., BROWN, P., CAKMAK, I., RENGEL, Z., ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. In: **MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants**, p. 191-248, 2012.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification. **Plant and Soil**, v. 302, n. 1-2, p. 1-17, 2007.

CAKMAK, I. Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 23, n. 4, p. 281-289, 2009.

CAKMAK, I., KUTMAN, U. B. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. **European Journal of Soil Science this issue**, v. 69, p. 172–180, 2019.

CAPPA, J. J., PILON-SMITS, E. A. H. Evolutionary aspects of elemental hyperaccumulation. **Planta**, v. 239, n. 2, p. 267-275, 2014.

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

CARVALHO, C.; KIST, B. B.; TREICHEL, M. **Anuário Brasileiro das hortaliças**, p. 64, 2016.

CASSETARI, L. S. Teores de clorofila e  $\beta$ -caroteno em cultivares e linhagens de alface. **Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)**, 2012.

CECCHERINI, G. J., LIMA, T. J. L., SALA, F. C. Different tray cell volumes for lettuce grown in conventional and hydroponic system. **Ciência Rural**, v. 50, n. 1, 2020.

CHANEY, R. L. Zinc phytotoxicity. In: **Zinc in soils and plants**. p. 135-150, 1993.

CHATTHA, M. U., HASSAN, M. U., KHAN, I., CHATTHA, M. B., MAHMOOD, A., NAWAZ, M., KHAN, S. Biofortification of wheat cultivars to combat zinc deficiency. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 281, 2017.

CHEN, X. D., MUJUMDAR, A. S. **Drying technologies in food processing**, 2009.

CLEMENS, S. How metal hyperaccumulating plants can advance Zn biofortification. **Plant Soil**, 411, 111–120, 2017.

CONPLANT. Fertilizante ConMicros. 2020. Disponível em: <https://conplant.com.br/portfolio/conmicros/> Acesso em: 15 de nov. 2020.

CORGUINHA, A. P. B., CARVALHO, C. A., SOUZA, G. A., VIEIRA, E. A. Zinc biofortification of cassava through agronomic management in Brazil. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 27, p. 48, 2013.

DEPARTMENT OF HEALTH (UK). Report on Health and Social Subjects 41. Dietary Reference Values for Food Energy and Nutrients. **HMSO**, 1991.

DIAMANTE, M. S., JÚNIOR, S. S., INAGAKI, A. M., SILVA, M. B., DALLACORT, R. Produção e resistência ao pendoamento de alfaces tipo lisa cultivadas sob diferentes ambientes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n.1, p. 133-140, 2013.

DUTRA, A. F. **Selênio no desempenho fisiológico e biofortificação agrônômica da couve-flor**. 2017.

EBBS, S., UCHIL, S. Cadmium and zinc induced chlorosis in Indian mustard [*Brassica juncea* (L) Czern] involves preferential loss of chlorophyll b. **Photosynthetica**, v. 46, n. 1, p. 49-55, 2008.

FAGERIA, N. K. The use of nutrients in crop plants. **CRC press**, 2016.

FELTRIN. Variedade Saladela. 2020. Disponível em: <https://produtor.sementesfeltrin.com.br/alface/alface-saladela-sementes-peletizadas>. Acesso em: 15 de nov. 2020.

FILGUEIRA F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. **3. ed. rev. e ampl**, p. 412, 2008.

FILGUEIRA, F. A. R. Olericultura especial. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2013.

FLORES, J. A., SANTOS, L. A. C., SILVA, D. M. P., OLIVEIRA, I. A., PEREIRA, C. E. Agronomic performance of lettuce cultivars under greenhouse in amazon conditions. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.14, n.2, p.113-116, 2016.

FONTANA, L., ROSSI, C. A., HUBINGER, S. Z., FERREIRA, M. D., SPOTO, M. H., SALA, F. C., VERRUMA-BERNARDI, M. R. Physicochemical characterization and

sensory evaluation of lettuce cultivated in three growing systems. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 20-26, 2018.

FONTES, R. L. F, PEREIRA, J., NEVES, J. C. L. Uptake and translocation of Cd and Zn in two lettuce cultivars. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 2, p. 907-922, 2014.

FUKADA, T.; YAMASAKI, S.; NISHIDA, K.; MURAKAMI, M.; HIRANO, T. Zinc homeostasis and signalling in health and diseases. **Journal of Biological Inorganic Chemistry**, v. 16, p. 1123-1134, 2011.

FURLANI P. R., SILVEIRA L. C. P., BOLONHEZI D., FAQUIM V. Cultivo hidropônico de plantas. **Boletim técnico 180**. p. 52. 1999.

FURLANI, P. R. Hydroponic vegetable production in Brazil. **Acta Horticulturae**, v. 2, n. 481, p. 777-778, 1999.

GRACIANO, P. D. **Biofortificação agrônômica com zinco em cultivares de alface crespa**. 2019.

GRAHAM, R. D., WELCH, R. M., SAUNDERS, D. A., ORTIZMONASTERIO, I., BOUIS, H. E., BONIERBALE, M., DE HAAN, S., BURGOS, G., THIELE, G., LIRIA, R., MEISNER, C. A., BEEBER, S. E., POTTS, M. J., KADIAN, M., HOBBS, P. R., GUPTA, R. K., TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, v. 92, p. 1-74, 2007.

GUPTA, N., RAM, H., KUMAR, B. Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 15, p. 89–109, 2016.

HAMBIDGE, K. M.; MILLER L.V.; WESTCOTT, J. E.; KREBS, N. F. Dietary reference intakes for zinc may require adjustment for phytate intake based upon model predictions. **Journal of Nutrition**, v. 138, p. 2363-2366, 2008.

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

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

HENDERSON, L., GREGORY, J., SWAN, G. The National Diet and Nutrition Survey: adults aged 19 to 64 years. **Vitamin and mineral intake and urinary analytes**, v. 3, p. 1-8, 2003.

HOAGLAND, D. R., ARNON, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. **California agricultural experiment station**, v. 347, 1950.

HOTZ, C.; BROWN, K. H. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. **Food and Nutrition**, v. 25, n. 1, p.91-204, 2004.

HUNT, J. R. Bioavailability of iron, zinc, and other trace minerals from vegetarian diets. **The American journal of clinical nutrition**, v. 78, n. 3, p. 633S-639, 2003.

HUSSAIN, S., MIYAI, T., FUJISHIRO, H., KAWAMURA, M., YASUDA, T., HIJIKATA, A., BIN, B., IRIÉ, T., TANAKA, J., ATSUMI, T., MURAKAMI, M., NAKAYAMA, M., OHARA, O., HIMENO, S., YOSHIDA, H., KOSEKI, H., IKAWA, T., MISHIMA, K., FUKADA, T. Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. **Plant and Soil**, v. 361, p. 279-290, 2012.

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

KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. **CRC Press**, p. 505, 2010.

KAYA, C.; HIGGS, D. Inter-relationship between zinc nutrition, growth parameters, and nutrient physiology in a hydroponically grown tomato cultivar. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 10, p. 1491-1503, 2001.

KOSMA, C., TRIANTAFYLLIDIS, V., PAPASAVVAS, A., SALAHAS, G., PATAKAS, A. Yield and nutritional quality of greenhouse lettuce as affected by shading and cultivation season. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 974-979, 2013.

LUKASKI, H. C. Micronutrients (magnesium, zinc, and copper): are mineral supplements needed for athletes? **International Journal of Sport Nutrition**, v. 5, n. 1, p. 74-83, 1995.

MAGGIONI, M. S., ROSA, C. B. C. J., ROSA, J., SILVA, E. F., ROSA, Y. B. C. J., SCALON, S. P. Q., VASCONCELOS, A. A. Development of basil seedlings (*Ocimum basilicum* L.) in different density and type of substrates and trays. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 1, p. 10-17, 2014.

MALAVOLTA, E. Funções dos macros e micronutrientes. In: MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. **Agronômica Ceres**, p. 126-162, 2006.

MAMPHOLO, B. M., MABOKO, M. M., SOUNDY, P., SIVAKUMAR, D. Phytochemicals and overall quality of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties grown in closed hydroponic system. **Journal of Food Quality**, v. 39, p. 805–815, 2016.

MANOS, M. G. L., WILKINSON, J. Mapeamento de Controvérsias Sociotécnicas: o Caso da Biofortificação de Alimentos Básicos no Brasil. In: **Atas do 5º Congresso Ibero-Americano em investigação qualitativa**, 2016.

MARTINEZ, H. E. P. **O uso de cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. p. 61, 2002.

MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of hight plants. **Elsevier**, p. 643, 2012.

MELO, E. F. R. Q.; SANTOS, O. S. Comportamento de nastúrcio (*Tropaeolum majus* L.) em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v.24, n.1, p. 2542-2549, 2006.

MENEGAES, J. F., FILIPETTO, J. E., RODRIGUES, A. M., DOS SANTOS, O. S. Produção sustentável de alimentos em cultivo hidropônico. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, n. 3, p. 102-108, 2015.

MORAES, C. C. Biofortificação agrônômica de alface sob condições tropicais: acúmulo de zinco e produção de biomassa. **Tese de doutorado IAC (Instituto Agrônômico de Campinas)**, 2020.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH (US). Office of dietary supplements: Zinc, fact sheet for health professionals. **Department of Health & Human Services**, 2016.

OLIVEIRA, A.C.B.; SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W.; GARCIA, N. C. P.; GARCIA, S. L. R. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum**, v. 26, p. 211- 217, 2004.

ORTIZ, T. A., TAKAHASHI, L. S. A., DA HORA, R. C. Agronomic performance of lettuce produced in trays with different cell number and field spacings. **African Journal Of Agricultural Research**, v. 10, n. 12, p. 1407-1411, 2015.

OZDENER, Y.; AYDIN, B. K. The effect of zinc on the growth and physiological and biochemical parameters in seedling of *Eruca sativa* (L) (Rocket). **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 32, n. 3, p. 469-476, 2010.

PADASH, A., SHAHABIVAND, S., BEHTASH, F., AGHAEI, A. A practicable method for zinc enrichment in lettuce leaves by the endophyte fungus *Piriformospora indica* under increasing zinc supply. **Scientia Horticulturae**, 213, 367–372, 2016.

PESQUISAS DE ORÇAMENTOS FAMILIARES – POF. Análise do consumo alimentar pessoal no Brasil. 2008-2009. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv50063.pdf>. Acesso em: 05 de ago. 2020.

PROM-U-THAI, C., RERKASEM, B., CAKMAK, I., HUANG, L. Zinc fortification of whole rice grain through parboiling process. **Food Chemistry**, v. 120, n. 3, p. 858-863, 2010.

RICCARDI, M.; MELE, G.; PULVENTO, C.; LAVINI, A.; D'ANDRIA, R.; JACOBSEN, S. E. Non-destructive evaluation of chlorophyll content in quinoa and amaranth leaves by simple and multiple regression analysis of RGB image components. **Photosynthesis Res**, v. 120, n. 3, p. 263-272, 2014.

RODRIGUES, A.B., MARTINS, M.I.E.G., ARAÚJO, J. A. C. Avaliação econômica da produção de alface em estufa. **Informações econômicas**, p. 27 – 35, 1997.

RODRIGUES, E. T., LEAL, P. A., COSTA, E., DE PAULA, T. S., GOMES, V. D. A. Production of tomato seedlings in different trays and substrates under greenhouse. **Horticultura Brasileira**, v.28, n.4, p.483-488, 2010.

ROMADLONI, P. L. Rancang Bangun Sistem Otomasi Hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*). **e-Proceeding of Applied Science**, v. 1, n. 1, p. 75-84, 2015.

ROSSI, C. M. A., FONTANA, L., HUBINGER, S. Z., VICENTINI-POLETTE, C. M., FERREIRA, M. D., SPOTO, M. H. F., SALA, F. C., VERRUMA-BERNARDI, M. R. Evaluation of new lettuces cultivars produced in different crop systems. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 95, n. 2, p. 106-122, 2020.

ROOSTA, H. R.; ESTAJI, A.; NIKNAM, F. Effect of iron, zinc and manganese shortage induced change on photosynthetic pigments, some osmoregulators and chlorophyll fluorescence parameters in lettuce. **Photosynthetica**, v. 55, p. 1-10, 2017.

ROUPHAEL, Y., CARDARELLI, M., BASSAL, A., LEONARDI, C., GIUFFRIDA, F., COLLA, G. Vegetable quality as affected by genetic, agronomic and environmental factors. **Journal Food Agricultural Environment**, v. 10, p. 680-688, 2012.

ROUPHAEL, Y., KYRIACOU, M. C., VITAGLIONE, P., GIORDANO, M., PANNICO, A., COLANTUONO, A., DE PASCALE, S. Genotypic variation in nutritional and antioxidant profile among iceberg lettuce cultivares. **Acta Science Polonorum Hortorum Cultus**, v. 16, p. 37-45, 2017.

ROUPHAEL, Y., KYRIACOU, M.C., PETROPOULOS, S.A., PASCALE, S., COLLA, G. Improving vegetable quality in controlled environments. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 275-289, 2018.

RUGELES-REYES, S. M., CECILIO FILHO, A. B., LOPEZ AGUILAR, M. A., SILVA, P. H. S. Foliar application of zinc in the agronomic biofortification of arugula. **Food Science and Technology**, v. 39, n. 4, p. 1011-1017, 2019.

SAGO, Y., WATANABE, N., MINAMI, Y. Zinc biofortification of hydroponic baby leaf lettuce grown under artificial lighting with elevated wind speed and root zone temperature. **Journal of Agricultural Meteorology**, v. 74, n. 4, p. 173-177, 2018.

SAHA, S., CHAKRABORTYB, M., PADHANB, D., SAHAC, B., MURMUB, S., BATABYALB, K., SETHD, A., HAZRAB, G.C., MANDALB, B., BELLE, R. W. Agronomic biofortification of zinc in rice: Influence of cultivars and zinc application methods on grain yield and zinc bioavailability. **Field Crops Research**, 210, 52–60, 2017.

SAKATA. Variedade Vanda. 2020. Disponível em: <https://www.sakata.com.br/hortalicas/folhosas/alface/crespa/vanda>. Acesso em: 15 de nov. 2020.

SALA, F. C., COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012.

SANTANA, C. V. S.; ALMEIDA, A. C.; TURCO, S. H. N. Produção de alface roxa em ambientes sombreados na região do submédio São Francisco-BA. **Revista Verde**, v.4, n.3, p. 1-6, 2009.

SANTOS, O. S; DUARTE, T. S. Cultivo hidropônico do tomateiro. In: **SANTOS, O.S. Hidroponia**, p. 289-307, 2009.

SANTOS, R. S., DIAS, N. S., SOUSA NETO, O. N., GURGEL, M. T. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra no cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico NFT. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 983-989, 2010.

SANTOS, E. L. C., COELHO, L. C., CARVALHO, J. G., DE FIGUEIREDO, M. A., GARCIA, M. B., MUNGUAMBE, J. F. **Enriquecimento de rúcula com doses de zinco em cultivo hidropônico e teores de micronutrientes**, 2012.

SKOOG, F. Relationship between zinc and auxin in the growth of higher plants. **American Journal of Botany**, v. 27, p. 939- 951, 1940.

SMOLEN, S., KOWALSKA, I., SADY, W. Assessment of biofortification with iodine and selenium of lettuce cultivated in the NFT hydroponic system. **Scientia Horticulturae**, v. 166, p. 9-16, 2014.

SOUSA, T. P., SOUSA NETO, E. P., DE SÁ SILVEIRA, L. R., SANTOS FILHO, E. F., MARACAJÁ, P. B. Production of lettuce (*Lactuca sativa* L.), for function diferente concentrations and types of biofertilizers. **Revista Verde**, v. 9, n. 4, p. 168-172, 2014.

SOUZA, G. A., CARVALHO, J. G., RUTZKE, M., ALBRECHT, J. C., GUILHERME, L. R., LI, L. Evaluation of germplasm effect on Fe, Zn and Se content in wheat seedlings. **Plant Science**, v. 210, p. 206-213, 2013.

SOUZA, P. F., BORGHEZAN, M., ZAPPELINI, J., CARVALHO, L. R., REE, J., BARCELOS-OLIVEIRA, J. L., PESCADOR, R. Physiological differences of 'Crocantela' lettuce cultivated in conventional and hydroponic systems. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 101-105, 2019.

STEINER, F., ZOZ, T., JUNIOR, A. S. P. Growth and yield of lettuce grown in hydroponic and conventional. **Cultivando O Saber**, v.2, n.4, p.42-48, 2009.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. p. 858, 2017.

TEIXEIRA, N. T. Hidroponia: uma alternativa para pequenas propriedades. **Agropecuária**, p. 86, 1996.

USA - INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, (Arsenic), Boron, Chromium, Cooper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium and Zinc. **National Academies Press**, 2001.

USDA - United States Department of Agriculture. 2020. National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release. Disponível em:

<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/301895>. Acesso em: 08 de mar. 2020.

VAN DER ENT, A., BAKER, A. J., REEVES, R. D., POLLARD, A. J., SCHAT, H. Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: facts and fiction. **Plant and soil**, v. 362, n. 1, p. 319-334, 2013.

VENTURA, D. D. F. L., RIBEIRO, H., GIULIO, G. M. D., JAIME, P. C., NUNES, J., BÓGUS, C. M., WALDMAN, E. A. Desafios da pandemia de COVID-19: por uma agenda brasileira de pesquisa em saúde global e sustentabilidade. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, 2020.

WELCH, R. M., NORVELL, W. A. Growth and nutrient uptake by barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Herta): studies using na N-(2-Hydroxyethyl ethylenedinitrilotriacetic) acid-buffered nutrient solution technique: II. Role of zinc in the uptake and root leakage of mineral nutrients. **Plant Physiology**, v. 101, n. 2, p. 627-631, 1993.

WELCH, R. M., GRAHAM, R. D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 396, p. 353-364, 2004.

WHITE, J. G., ZASOSKI, R. J. Mapping soil micronutrients. **Field crops research**, v. 60, n. 1-2, p. 11-26, 1999.

WHITE, P. J., BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, v. 10, n. 12, p. 586–593, 2005.

WHITE, P. J., BROADLEY, M. R. Physiological limits to zinc biofortification of edible crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 2, p. 1-11, 2011.

WHITE, P.J., PONGRAC, P., SNEDDON, C.C., THOMPSON, J.A., WRIGHT, G. Limits to the biofortification of leafy Brassicas with zinc. **Agriculture**, v. 32, p. 2-14, 2018.

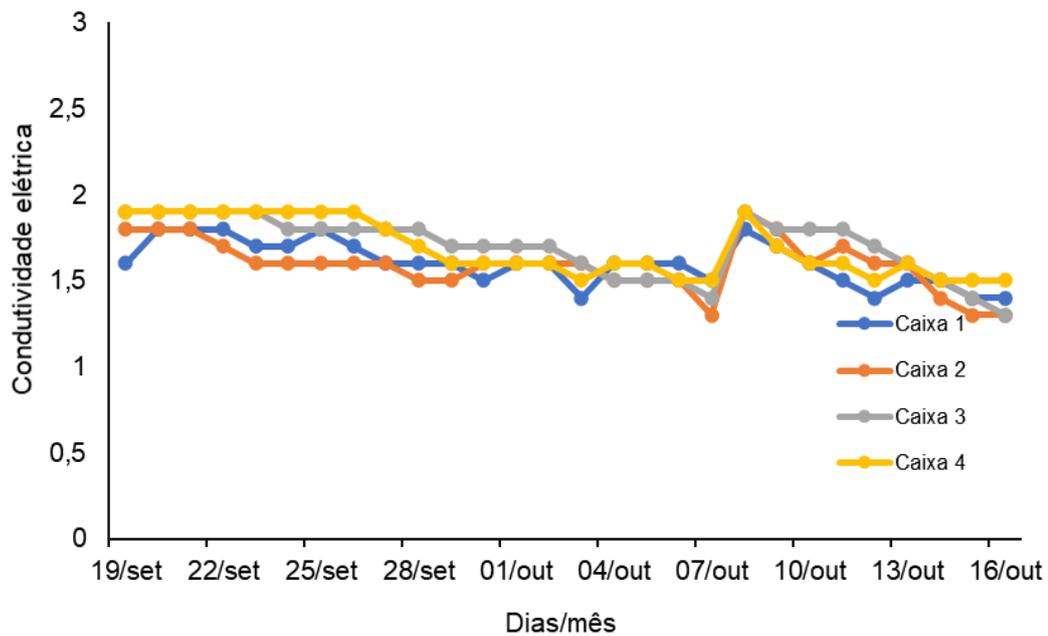
WHO. Global Data base on Child Growth and Malnutrition: Joint child malnutrition estimates - **Levels and trends**, 2017.

YANG, H.; YANG, J.; LV, Y.; HE, J. SPAD values and nitrogen nutrition index for evaluation of rice nitrogen status. **Plant Production Science**, v. 17, n. 1, p. 81-92, 2015.

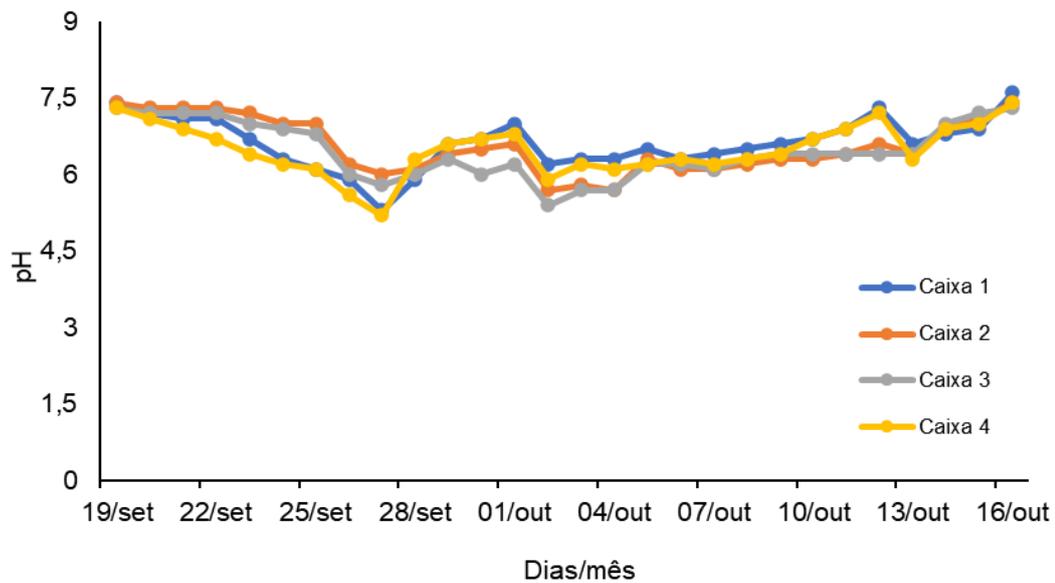
YURI, J. E., RESENDE, G. M., MOTA, J. H., SOUZA, R. J., CARVALHO, J. G. Produção de alface americana, em função de doses e épocas de aplicação de zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 4, p. 665-669, 2006.

## APÊNDICE

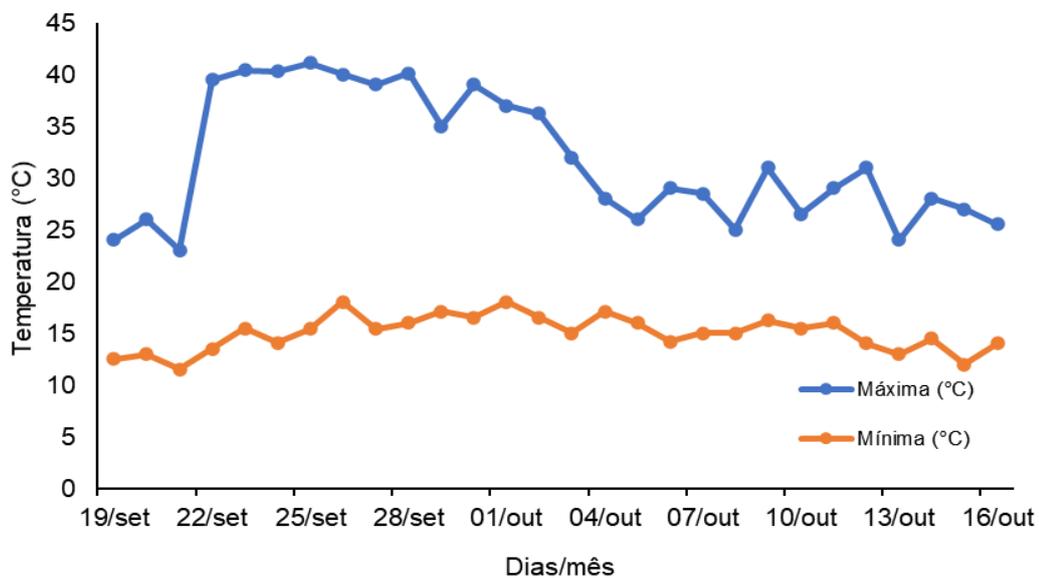
**Apêndice A.** Condutividade elétrica (EC) da solução nutritiva de cultivo durante a condução do experimento no cultivo hidropônico.



**Apêndice B.** Monitoramento do pH na solução nutritiva de cultivo durante a condução do experimento no cultivo hidropônico.



**Apêndice C.** Temperatura máxima e mínima do ambiente protegido durante a condução do experimento no cultivo hidropônico.



**Apêndice D.** Macronutrientes e micronutrientes para a solução nutritiva concentrada em 100x, para as alfaces no cultivo hidropônico.

Vol. (L)	tratamentos	Adubos (g)					
		Nitrato de cálcio	Nitrato de potássio	Sulfato de magnésio	MAP	ConMicros®	Sulfato de Zn
60	Macros	3000	3000	-	-	-	-
15	T1 (Micros)	-	-	525	150	61,65	-
15	T2 (Micros + ZnD1)	-	-	525	150	61,65	5,25
15	T3 (Micros + ZnD2)	-	-	525	150	61,65	10,5
15	T4 (Micros + ZnD3)	-	-	525	150	61,65	15,75

\*D: dose.

**Apêndice E.** Concentração de macronutrientes e micronutrientes na solução nutritiva de cultivo no início do experimento.

Tratamento	P	S	K	Na	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg L <sup>-1</sup>										
T1	24,1	57,5	193,5	32,8	99,9	43,6	0,8	0,7	2,8	0,6	0,4
T2	27,1	62	211,4	32,2	80,4	45,7	0,8	0,7	2,5	0,7	1,3
T3	29	66,4	234,8	32,7	85,7	48,8	0,9	0,8	2,5	0,7	1,3
T4	28,2	63,2	216,5	31,7	80,4	46,2	0,8	0,7	2,8	0,6	1,4

**Apêndice F.** Concentração de macronutrientes e micronutrientes na solução nutritiva de cultivo após 28 dias de experimento.

Tratamento	P	S	K	Na	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg L <sup>-1</sup>										
T1	12,2	86,3	10,3	38,5	103,2	60,5	1,4	1,1	0,9	0,3	0,6
T2	14,5	61,9	32,4	34,5	98,6	45,1	1,1	0,9	0,3	0,3	0,9
T3	14,1	63,6	39,9	35,1	101,1	46,2	1,1	0,9	0,1	0,3	1,4
T4	13,0	98,7	45,7	42,1	130,3	67,1	1,5	1,2	0,2	0,3	2,0

**Apêndice G.** Concentração de macronutrientes e micronutrientes na solução nutritiva concentrada.

Tratamento	P	S	K	Na	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg L <sup>-1</sup>										
T1	2692,0	4624,8	31,1	318,1	68,4	3435,6	79,5	56,4	227,1	83,9	31,8
T2	2421,5	4237,2	22,1	282,9	50,2	3134,2	72,4	51,6	201,7	76,8	106,6
T3	2572,1	4610,8	31,0	353,9	42,9	3287,2	77,5	53,9	193,4	80,1	180,2
T4	2468,7	4399,9	16,9	289,2	32,3	3168,1	73,9	52,4	175,6	77,8	243,3