



# Revista Agrária Acadêmica

## *Agrarian Academic Journal*



doi: 10.32406/v5n2/2022/111-126/agrariacad

**Doses e fontes de zinco aplicado via foliar na qualidade de mudas de alface.** Zinc accumulation in lettuce seedlings as a function of sources and doses.

[Ádila Pereira de Sousa](#)<sup>1</sup>, [Ildon Rodrigues do Nascimento](#)<sup>2</sup>, [João Victor Gonçalves Carline](#)<sup>3</sup>, [Liomar Borges de Oliveira](#)<sup>3</sup>, [Simone Pereira Teles](#)<sup>3</sup>, Fernanda Fonseca Pereira<sup>4</sup>, [João Francisco de Matos Neto](#)<sup>4</sup>, Danielly Barbosa Kaonrdörfer<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestranda em Produção Vegetal – Universidade Federal do Tocantins – UFT, *campus* Gurupi – TO. E-mail: [adila.agronomia@gmail.com](mailto:adila.agronomia@gmail.com).

<sup>2</sup> Professor Adjunto do Curso de Agronomia – Universidade Federal do Tocantins – UFT, *campus* Gurupi – TO. E-mail: [ildon@mail.uft.edu.br](mailto:ildon@mail.uft.edu.br).

<sup>3</sup> Doutorando em Produção Vegetal – Universidade Federal do Tocantins – UFT, *campus* Gurupi – TO. E-mail: [jvictor92@hotmail.com](mailto:jvictor92@hotmail.com); [liomarferaborges@gmail.com](mailto:liomarferaborges@gmail.com); [simonypxe@gmail.com](mailto:simonypxe@gmail.com).

<sup>4</sup> Estudante de Agronomia – Universidade Federal do Tocantins – UFT, *campus* Gurupi – TO. E-mail: [fefonseka@hotmail.com](mailto:fefonseka@hotmail.com); [matosjoaneto@gmail.com](mailto:matosjoaneto@gmail.com); [danielly.konrdorfer@gmail.com](mailto:danielly.konrdorfer@gmail.com).

### Resumo

Objetivou-se avaliar a resposta de mudas de alface à aplicação foliar de diferentes fontes e doses de zinco. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e o delineamento foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (3 x 5), constituído por 3 fontes com 5 doses cada: sulfato de Zn (0, 50, 100, 150 e 200 g Zn ha<sup>-1</sup>), óxido de Zn (0, 187, 375, 562 e 750 g Zn ha<sup>-1</sup>) e quelato de Zn (0; 36,25; 72,50; 108,40; e 145 g Zn ha<sup>-1</sup>), com 4 repetições. Os maiores teores de Zn foliar foram obtidos nas doses 200, 562 e 72,50 g Zn ha<sup>-1</sup>, das fontes sulfato, óxido e quelato, respectivamente.

**Palavras-chaves:** *Lactuca sativa* L.. Propagação. Micronutriente. Teor foliar de zinco.

### Abstract

The objective was to evaluate the response of lettuce seedlings to foliar application of different sources and doses of zinc. The experiment was carried out in a greenhouse, and the design was completely randomized in a factorial scheme (3 x 5), consisting of 3 sources with 5 doses each: Zn sulfate (0, 50, 100, 150 and 200 g Zn ha<sup>-1</sup>), Zn oxide (0, 187, 375, 562 and 750 g Zn ha<sup>-1</sup>) and Zn chelate (0; 36.25; 72.50; 108.40; and 145 g Zn ha<sup>-1</sup>), with 4 repetitions. The highest levels of foliar Zn were obtained at doses of 200, 562 and 72.50 g Zn ha<sup>-1</sup>, from sulfate, oxide and chelate sources, respectively.

**Keywords:** *Lactuca sativa* L.. Enrichment. Micronutrient. Foliar application.

## Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a principal hortaliça folhosa consumida no Brasil e no mundo, sendo considerada de grande importância econômica devido ao seu amplo volume de produção (YURI et al., 2016). A produção de alface tem sido expressiva e grande parte do cultivo é realizada por pequenos produtores que tem como fonte de renda a comercialização desta folhosa nos comércios locais em feiras e redes de supermercados ou atacadistas de pequenos e grandes centros urbanos (ALENCAR et al., 2012).

Considerando todos os estados brasileiros, estima-se que sejam cultivados mais de 39 mil hectares em todo território nacional, tendo a cultura um papel social muito importante na geração de emprego e renda (ABCSEM, 2021). Destaca-se os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais como maiores produtores no Brasil (ANUÁRIO HORTIFRUTI, 2020).

Por ser uma hortaliça de consumo *in natura*, a alface é uma cultura que quando biofortificada com o manejo da adubação pode suprir a demanda de alguns nutrientes. A biofortificação agrônômica da alface pode ter início na fase de produção de mudas e continuar durante o seu desenvolvimento vegetativo até a colheita.

Na exploração comercial da alface, a fase de produção de mudas é uma das etapas mais importantes no sistema produtivo, pois mudas de qualidade garante que a planta expresse todo o seu potencial genético ao longo do ciclo da cultura, influenciando na obtenção de uma boa produtividade (FREITAS et al., 2013).

Para se obter mudas com alta qualidade são necessários atributos desejáveis, como material genético compatível com a necessidade do produtor, substrato que atenda as exigências nutricionais iniciais e um local apropriado para produção das mudas, para que resulte em um alto rendimento ao final da colheita e um produto com qualidade (BENICIO et al., 2011; GONÇALVES et al., 2017).

Na nutrição da alface os micronutrientes são essenciais. O zinco (Zn) é um micronutriente importante na germinação das sementes e no crescimento inicial das plântulas (GUIRRA et al., 2015). No metabolismo vegetal, desempenha várias funções em reações enzimáticas, síntese proteica, metabolismo dos carboidratos e auxinas, primordial na formação de alguns aminoácidos, como o triptofano, precursor do ácido indol acético (AIA) (BROADLEY, 2012).

Além dos benefícios às plantas, o zinco no corpo humano possui diversas funções biológicas, pois atua diretamente no sistema imunológico (GRACIANO, 2019). Sua deficiência pode resultar em retardo mental, danos ao sistema reprodutivo, perda de cabelo, diarreia, perda de apetite e anemia (CLEMENS, 2014).

Um dos meios de fornecer zinco às plantas é através da adubação foliar, também conhecida como biofortificação agrônômica. É uma técnica que é realizada visando suprir um ou mais nutrientes via absorção foliar. É um procedimento barato, acessível e os resultados podem ser obtidos em um curto período de tempo, proporcionando melhorias em seu crescimento e desenvolvimento, independente da fase de desenvolvimento da planta (REYES, 2017; MORAES, 2020).

Dada a importância do zinco na qualidade da muda, nesse trabalho o objetivo foi avaliar a resposta de mudas de alface à aplicação foliar de diferentes fontes e doses de zinco.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na latitude 11°43'45" S e longitude 49°04'07" com altitude média de 287 m. O clima da região recebe a classificação de AW – Tropical de verão úmido e período de estiagem no inverno, de acordo com a classificação de Köppen (1928).

A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido (isopor) de 200 células, preenchidas com substrato comercial com uma semente por célula. Foi utilizado a cultivar SVR 2005® e o delineamento adotado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (3 x 5), com quatro repetições. A parcela foi composta por 20 plantas (duas linhas da bandeja com 10 mudas) e nas avaliações foram escolhidos aleatoriamente de cada parcela 10 plantas.

Os tratamentos foram constituídos de três fontes de zinco, aplicados via foliar, os quais foram: sulfato de zinco (0, 50, 100, 150 e 200 g ha<sup>-1</sup>), óxido de zinco (0, 187, 375, 562 e 750 g ha<sup>-1</sup>) e quelato de zinco (0; 36,25; 72,50; 108,40; e 145 g ha<sup>-1</sup>).

A aplicação foliar das fontes ocorreram 18 dias após a semeadura (DAS) realizada no final da tarde. As doses de cada fonte foram diluídas em 50 mL de água destilada conforme as concentrações de cada tratamento por fonte e pulverizadas sobre as plantas de cada parcela dos tratamentos em volume constante. Para evitar a ocorrência de deriva deixou-se entre uma parcela e outra na bandeja, duas linhas sem mudas e no momento da pulverização as parcelas adjacentes foram protegidas das demais.

Nas parcelas, as características avaliadas aos 30 DAS, foram: altura da parte aérea, (em cm), diâmetro do caule (cm), massa seca da parte aérea e da raiz (em g), massa seca total (em g), teor de zinco da parte aérea (em mg kg<sup>-1</sup>). O teor de zinco foi obtido segundo a metodologia da EMBRAPA (2009) e índice de qualidade das mudas conforme Dickson et al. (1960), pela fórmula:

$$IQD = \frac{MSTotal}{\frac{CC}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}}$$

Em que:

IQD – Índice de qualidade das mudas; MSTotal – massa seca total da parte aérea da planta (em g); Altura da parte aérea (AP em cm); Diâmetro do caule (DC em cm); Massa seca da parte aérea (MSPA em g) e Massa seca da raiz (MSR em g).

Com os valores médios de cada parcela, foi feita análise de variância. As análises foram feitas com o programa Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2011) e os gráficos com o software SigmaPlot versão 10®.

## Resultados e discussão

Na figura 1 encontram-se as comparações de médias das características: altura da parte aérea (AP), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total (MST) de mudas de alface crespa, submetidas à aplicação foliar de doses de sulfato de Zn. Na AP não foi possível observar diferença significativa entre as concentrações da fonte sulfatada, no entanto, houve maior crescimento da parte aérea (6,07 cm) das mudas na dose de 50 g Zn ha<sup>-1</sup>.

Costa et al. (2012) ao avaliarem substratos alternativos no preparo de mudas de alface crespa (cultivar Verônica), observaram média de AP de 7,89 cm ao utilizarem substrato comercial. Ainda segundo os autores, essa característica pode ser utilizada como um indicativo de tolerância ao calor, dessa forma, a menor dose em estudo proporcionou mudas com maior AP e possivelmente, as

plântulas podem tolerar mais à altas temperaturas, principalmente no campo quando estas forem transplantadas.

Fatores como condições climáticas, características das folhas e de suas cutículas, as características químicas da fonte utilizada, influenciam na absorção e eficiência pelas folhas na translocação do micronutriente no tecido vascular (REYES, 2017). Por se tratar de uma espécie folhosa, cujo consumo está relacionado à parte aérea das plantas em estágio adulto, a maior eficiência nutricional das plantas proporcionada pela aplicação de Zn, poderá resultar em maior produtividade e qualidade do cultivo (RODRIGUES et al., 2018).

Nas dosagens 50 e 200 g Zn ha<sup>-1</sup> de sulfato, observa-se na figura 1B que as médias de massa seca da parte aérea (MSPA) para essas doses são maiores em relação a testemunha sem aplicação e diferem estatisticamente dos demais tratamentos. O maior valor de massa seca da raiz (MSR) foi obtido na dose de 150 g Zn ha<sup>-1</sup>, com uma média de 0,33 g, diferindo das demais doses (Figura 1C).

Resultados inferiores forem encontrados por Oliveira et al. (2018) observaram médias de 0,31 e 0,06 g de MSPA e MSR, respectivamente, em função da aplicação foliar de sulfato de zinco com diferentes concentrações, em mudas de rúcula. De acordo com os mesmos autores, o efeito do micronutriente pode resultar em plantas mais vigorosas, que sejam capazes de suportar melhor o estresse provocado pelo transplante.

Nos resultados apresentados na figura 1D para a característica massa seca total (MST), é possível observar que houve diferença estatística entre as doses de zinco aplicadas para fonte sulfatada, onde a maior média foi obtida na dose de 200 g ha<sup>-1</sup> de Zn. É possível que a aplicação foliar do sulfato de Zn para essa característica, não cause prejuízos na acumulação de massa seca das mudas.

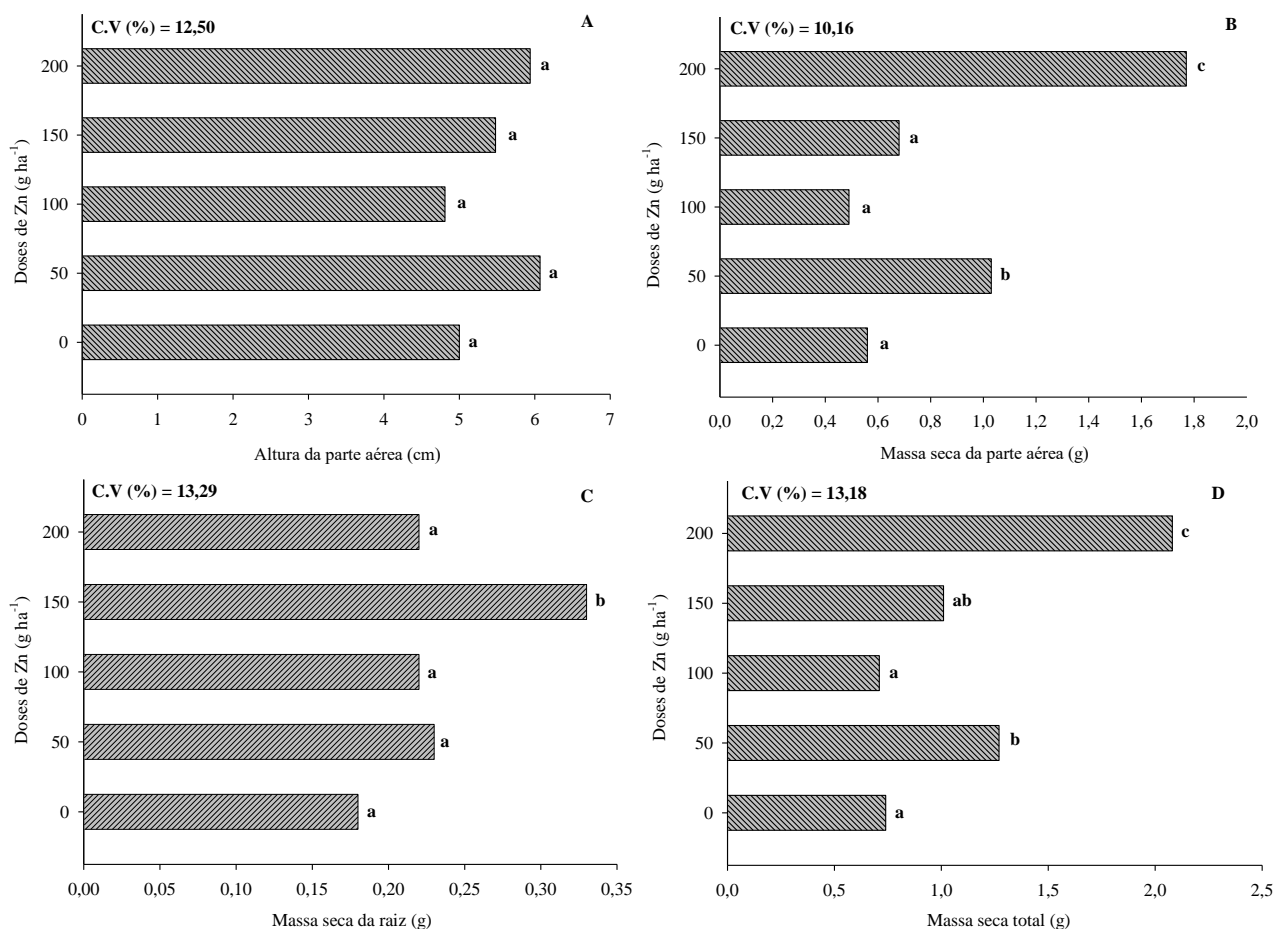


Figura 1 – Altura da parte aérea (AP, em cm), massa seca da parte aérea (MSPA, em g), massa seca da raiz (MSR, em g), massa seca total (MST, em g) em mudas de alface, em função da aplicação foliar de sulfato de zinco (0; 50; 100; 150 e 200 g Zn ha<sup>-1</sup>). Gurupi – TO, 2020. \* Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na barra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Tukey* a 5% de probabilidade.

O diâmetro do caule (DC) apresentou significância e ajustou-se a uma equação quadrática (Figura 2E), comportando-se de modo convexo, havendo um declínio até a dosagem de 150 g Zn ha<sup>-1</sup> e posteriormente, aumentou ascendente até a aplicação da dose máxima de 200 g Zn ha<sup>-1</sup> da fonte sulfatada com valor de 0,20 cm para essa variável. Paula et al. (2020) ressaltam que mudas com maiores diâmetros de caule conferem às plantas maior sustentação e maior resistência ao tombamento. Dessa forma, as plantas produzidas na concentração de 200 g Zn ha<sup>-1</sup> teriam condições melhores de sobrevivência e crescimento após o plantio no local definitivo.

Conforme observado na figura 2F, as aplicações de Zn promoveram alteração no desenvolvimento das mudas quando foram submetidas a aplicação da dosagem máxima de 200 g Zn ha<sup>-1</sup>, o valor do índice de qualidade de Dickson (IQD) nessa concentração foi de 0,05. Caldeira et al. (2012) consideram o IQD um bom indicador de qualidade de mudas, pois integra e promove equilíbrio da distribuição da fitomassa e das características morfológicas.

O IQD é um índice que foi desenvolvido para avaliar a qualidade de mudas de espécies florestais (DICKSON et al., 1960), mas tem sido utilizado também para verificação da qualidade de mudas de olerícolas (COSTA et al, 2011; SIMÕES et al., 2015).

A adubação foliar com Zn nessa etapa do sistema produtivo, junto à reserva que as sementes possuem de Zn nos tecidos, podem contribuir para um bom desenvolvimento inicial das plântulas (GUIRRA et al., 2015) sem que seja necessário a utilização de altas dosagens do micronutriente, pois provavelmente, resultará em plantas mais resistentes a possíveis estresses abióticos, ao serem transplantadas para o campo.

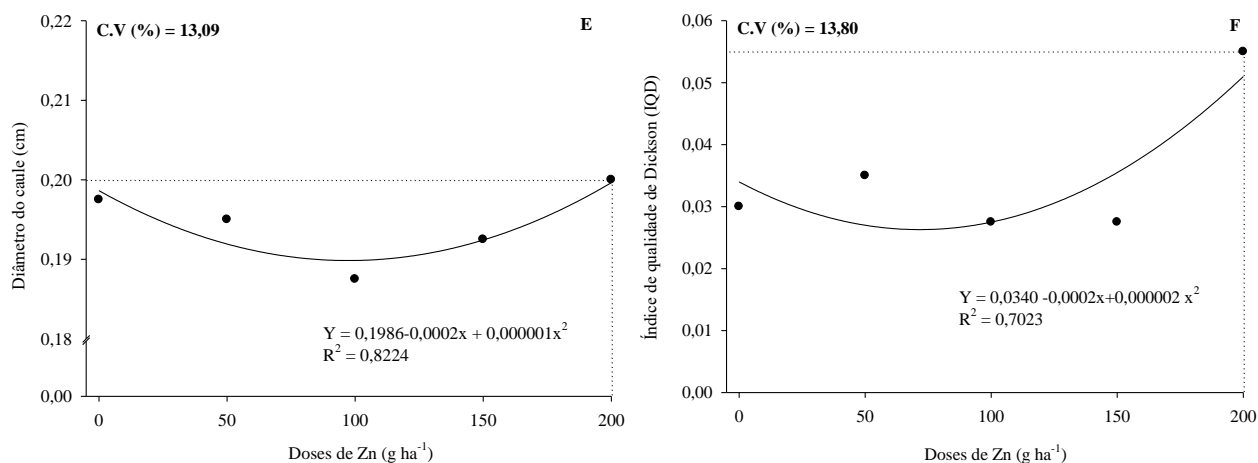


Figura 2 – Diâmetro do caule (DC, em cm) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de alface, em função da aplicação foliar de sulfato de zinco (0; 50; 100; 150 e 200 g Zn ha<sup>-1</sup>). Gurupi – TO, 2020.

Verifica-se na figura 3A, que a aplicação de Zn com a fonte óxido nas mudas de alface, promoveram um declínio quadrático para a altura da parte aérea das mudas, que possivelmente pode ser resultante do efeito tóxico das elevadas dosagens do micronutriente. A susceptibilidade à toxidez do Zn difere entre as culturas, hortaliças folhosas geralmente são mais sensíveis a esse tipo de adubação foliar especialmente na família das Asteraceae, que é o caso da alface, devido a sua elevada capacidade de absorção desse nutriente (MORAES, 2020).

No entanto, mesmo que as doses tenham promovido fitotoxidez, os resultados de altura das mudas corroboram com a média observada por Lima (2017) que, estudando mudas de alface crespa, em função de bandejas com diferentes volumes de células, encontraram plântulas de alface com altura média de 5,71 cm em bandejas de isopor com 200 células ( $10 \text{ cm}^3 \text{ célula}^{-1}$ ), bandejas com o mesmo volume de células foram utilizadas no presente experimento, proporcionando para essa variável uma média geral de 5,70 cm (Figura 3A).

Nas médias observadas para o diâmetro do caule das mudas (Figura 3B) não houve diferença significativa entre as doses de Zn. É possível observarmos que houve uma redução do diâmetro do caule com o aumento das concentrações, onde a menor média é observada na maior dose da fonte óxido ( $562 \text{ g Zn ha}^{-1}$ ), resultando em um valor de 0,19 cm. Esses resultados demonstram que os sintomas de fitotoxidade observados na condução do experimento, após a aplicação das maiores concentrações da fonte óxido, possivelmente interferiu no desenvolvimento das mudas.

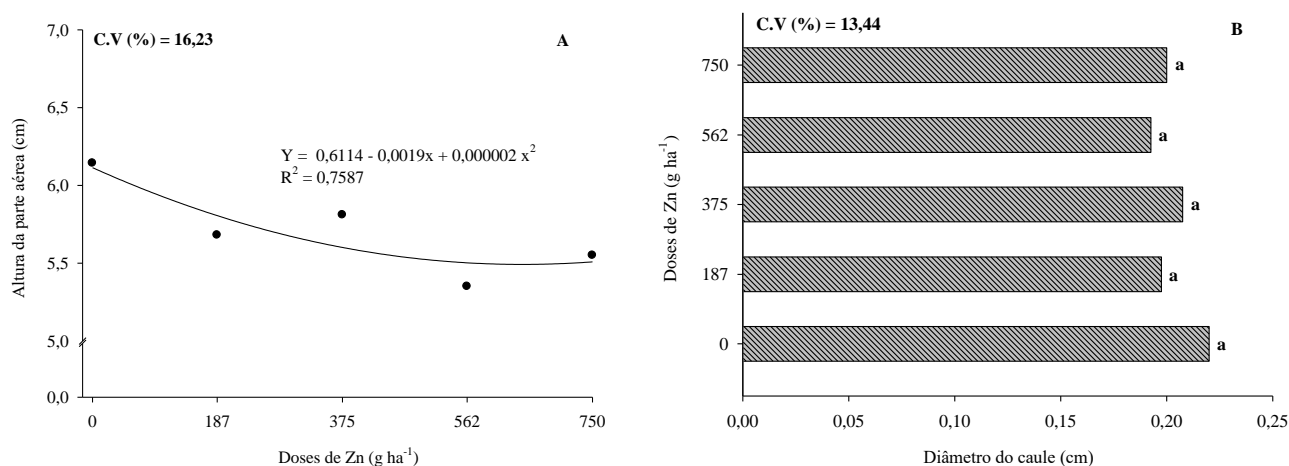


Figura 3 – Altura da parte aérea (AP, em cm) e diâmetro de caule (DC, em cm) em mudas de alface, em função da aplicação foliar de óxido de zinco (0; 187; 375; 562 e  $750 \text{ g Zn ha}^{-1}$ ). Gurupi – TO, 2020. \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na barra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Correa et al. (2019) avaliando o crescimento de plântulas de alface cultivadas em diferentes substratos, observaram que o uso do substrato comercial proporcionou uma média de DC com valor de 0,17 cm. Plantas com maior diâmetro de colo apresentam maiores tendências à sobrevivência em campo, principalmente pela maior capacidade de formação e crescimento de novas raízes (TAIZ et al., 2017).

Nos resultados obtidos para a MSPA das mudas de alface, submetidas a aplicação foliar de óxido de Zn (Figura 4C), é possível observarmos que até a dose de  $375 \text{ g Zn ha}^{-1}$  houve um efeito significativo do micronutriente sob essa característica. A maior média de MSPA foi proporcionada por esta mesma dose, com um acúmulo de 0,93 g. Esse resultado corrobora com os resultados obtido por Bassaco et al. (2020), que ao avaliarem substratos alternativos para produção de mudas, observaram um valor para a MSPA de 0,90 g ao utilizar o substrato comercial, em relação aos demais substratos.

O efeito não significativo entre as doses da fonte óxido de Zn na MSR das mudas de alface (Tabela 2D), demonstra que, por a alface ser uma hortaliça altamente sensível a toxicidade causada pelo Zn (MORAES, 2020), a aplicação de altas concentrações desse elemento nessa etapa inicial pode inibir o crescimento e desenvolvimento radicular das plântulas. No entanto, as médias encontradas

neste trabalho são superiores aos resultados encontrados por Lima (2017), onde a média de MSR das mudas de alface foi de 0,03 g, observados do cultivo em bandejas com volume de célula de 10 cm<sup>3</sup>.

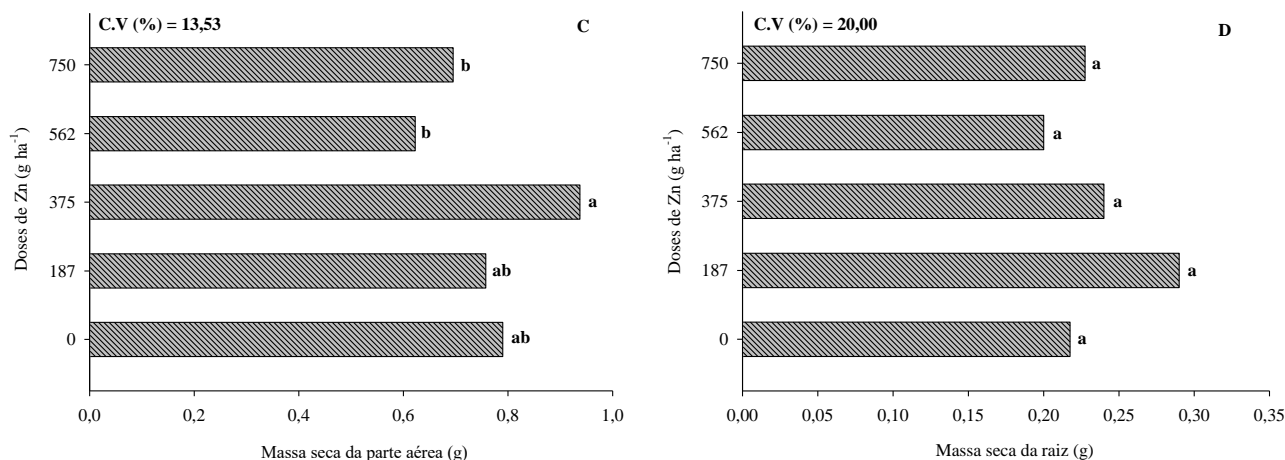


Figura 4 – Massa seca da parte aérea (MSPA, em g) e massa seca da raiz (MSR, em g) em mudas de alface, em função da aplicação foliar de óxido de zinco (0; 187; 375; 562 e 750 g Zn ha<sup>-1</sup>). Gurupi – TO, 2020. \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na barra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a figura 5 (F e G), nota-se que a dose 375 g Zn ha<sup>-1</sup> com a aplicação foliar da fonte óxido, resultaram em maiores médias para as características MST (1,17 g) e IQD (0,036), que diferem estatisticamente apenas das médias obtidas na dose 562 g Zn ha<sup>-1</sup>. Silva et al. (2020) verificaram variação de MST entre 1,30 e 1,95 g de mudas de alface, avaliados com o uso de substratos alternativos na região amazônica.

O IQD destaca-se como um dos índices mais utilizados para avaliar a qualidade de mudas, uma vez que leva em consideração a produção da matéria seca da parte aérea, raízes e total, a altura e o diâmetro de coleto das plantas (DICKSON et al., 1960). Considera-se para o IQD, que quanto maior o valor do índice, maior é a qualidade das mudas. De acordo com os valores demonstrados do IQD no presente estudo, estes sobressaem aos valores encontrados por Simões et al. (2015), que ao utilizarem substratos alternativos para produção de mudas de alface, obtiveram valores que variaram entre 0,0011 e 0,0015 aos 24 DAS.

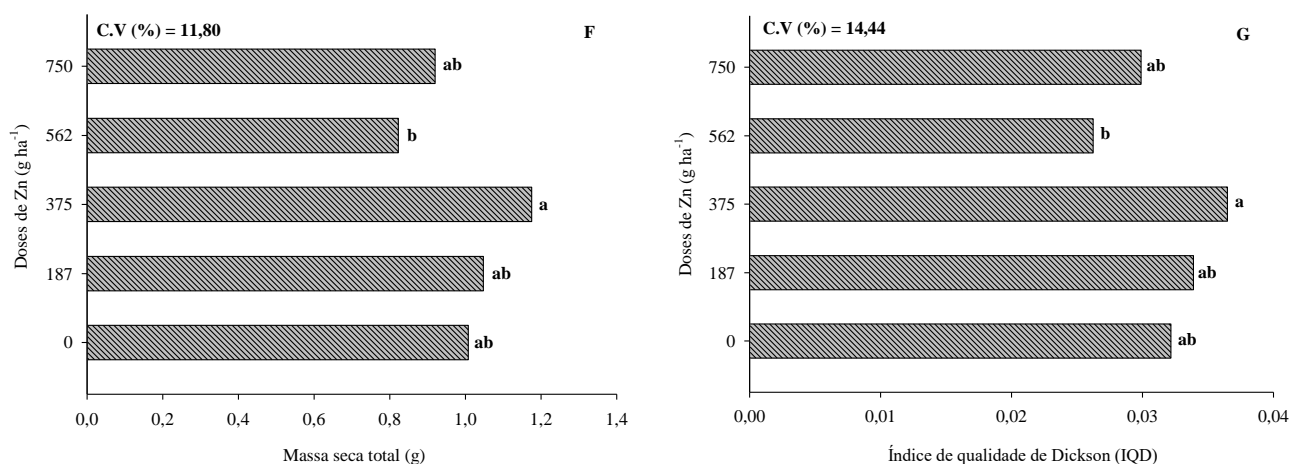


Figura 5 – Massa seca total (MST, em g) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de alface, em função da aplicação foliar de óxido de zinco (0; 187; 375; 562 e 750 g Zn ha<sup>-1</sup>). Gurupi – TO, 2020. \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na barra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Diante dos resultados apresentados nesse trabalho, a aplicação foliar de Zn em dosagens menores possivelmente contribuiu para um bom desempenho inicial das mudas, pois segundo Silva et al. (2020) é imprescindível nesse estágio que as plântulas sejam vigorosas, resistentes a doenças e tolerantes às intempéries climáticas, garantindo dessa forma uma segurança no cultivo em campo.

As doses de Zn da fonte quelato para a AP, apresentou um efeito significativo com ajuste quadrático da regressão (Figura 6A). O aumento das dosagens de Zn promoveu a diminuição da parte aérea das mudas, sendo possível observar que na dosagem máxima de 145 g Zn ha<sup>-1</sup> foi obtido a menor média para a AP com valor de 4,12 cm. Wathier et al. (2019) comparando a eficiência de substratos orgânicos na produção de mudas de alface, observaram uma AP de 3,00 cm avaliados aos 33 DAS, o qual é inferior aos resultados obtidos neste trabalho.

Observa-se na figura 6B para o DC, um comportamento semelhante ao observado na característica AP, com o aumento das concentrações de Zn houve uma redução do diâmetro, que proporcionaram diferença significativa nas plântulas de alface e a maior média encontrada foi na testemunha que difere estatisticamente da menor média na dose de 145 g Zn ha<sup>-1</sup>. O tratamento sem aplicação de Zn, difere estatisticamente das doses da fonte quelatada.

Os resultados apresentados nesse trabalho, confirmam a fitotoxidez observada no experimento após a aplicação. Como são escassos os relatos na literatura a respeito da aplicação foliar de fontes quelatizantes em hortaliças, sabe-se que os quelatos são fontes inorgânicas e solúveis, onde os nutrientes quando quelatizados formam complexos também solúveis e continuam disponíveis as plantas (LANA et al., 2017). No entanto, o manejo com altas concentrações dessa fonte não foi eficiente no desenvolvimento da parte aérea de mudas de alface.

A fitotoxicidade observado nas mudas após a aplicação foliar da fonte quelato, principalmente nos tratamentos com as dosagens maiores, possivelmente interferiu no crescimento das plântulas, pois conforme mencionado por Graciano (2019) os sintomas de toxicidade por Zn causa clorose nas folhas, altera a absorção de nutrientes, gera radicais livres de O<sub>2</sub>, prejudicando a fotossíntese, o que consequentemente tenha ocorrido e afetado as características morfológicas das mudas de alface do presente estudo.

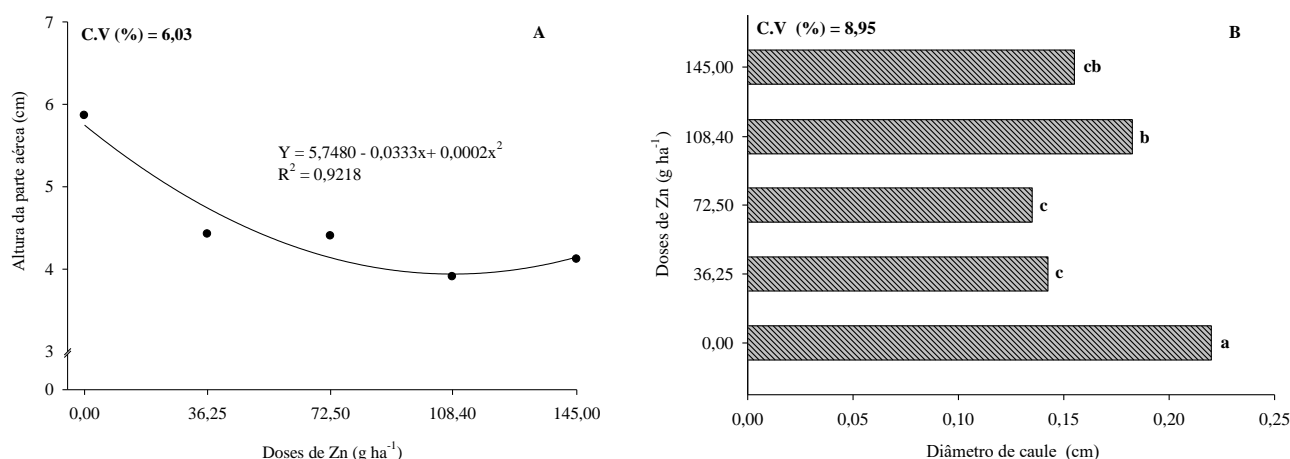


Figura 6 – Altura da parte aérea (AP, em cm) e diâmetro do caule (DC, em cm) em mudas de alface, em função da aplicação foliar de quelato de zinco (0; 36,25; 72,50; 108,40 e 145 g Zn ha<sup>-1</sup>). Gurupi – TO, 2020. \* Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na barra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os pontos de máxima eficiência entre as doses de zinco da fonte quelato na MSPA (0,47 g) e MSR (0,14 g) das mudas, foram obtidos respectivamente na dose de 36,25 g de Zn ha<sup>-1</sup> (Figura 7 C



e D), tais médias podem ser consideradas satisfatórias quando comparadas aos resultados obtidos por Lima et al. (2019), que ao avaliarem o a fitomassa de mudas de alface, obtiveram um valor médio de MSR e MSPA de 0,01 e 0,05 g, respectivamente.

De acordo com alguns autores, o quelato é uma fonte que confere proteção ao elemento. que pode ser mais eficiente na disponibilização de micronutrientes a planta (LÓPEZ-RAYO et al., 2012; UDEIGWE et al., 2016). No entanto, o acúmulo de biomassa das mudas também foi afetado pelas altas dosagens de Zn dessa fonte.

A massa seca da parte aérea indica a rusticidade de uma muda, sendo que os maiores valores representam mudas mais lignificadas e rústicas, tendo maior aproveitamento em ambientes com condições adversas (GOMES & PAIVA, 2011). Apesar da toxicidade, as doses de Zn da fonte quelatizante proporcionou acúmulo de fitomassa nas mudas dentro dos valores encontrados na literatura (BASSACO et al., 2020; SILVA & QUEIROZ, 2014; OLIVEIRA et al., 2018).

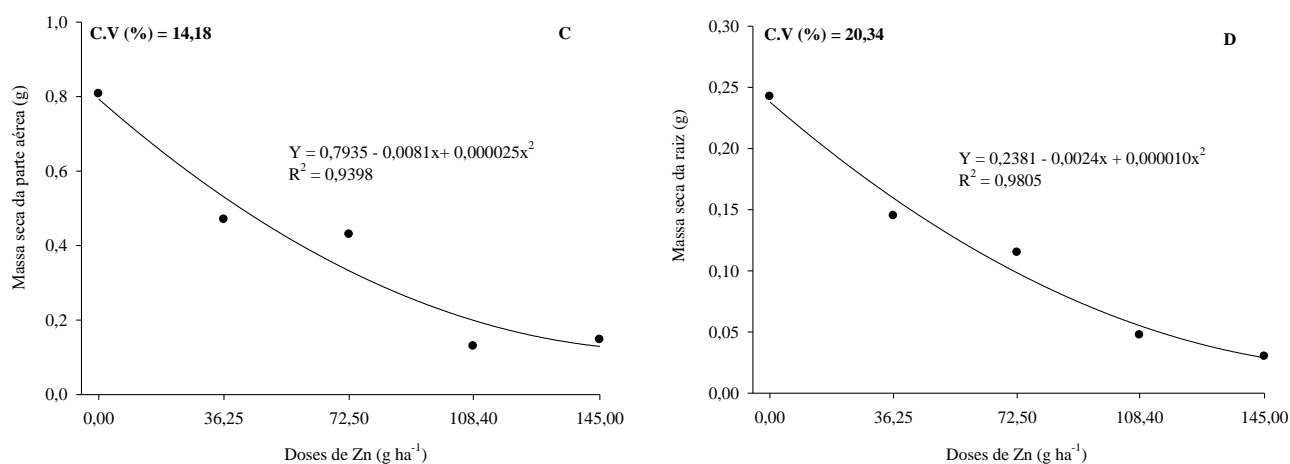


Figura 7 – Massa seca da parte aérea (MSPA, em g) e massa seca da raiz (MSR, em g) em mudas de alface, em função da aplicação foliar de quelato de zinco (0; 36,25; 72,50; 108,40; e 145 g Zn ha<sup>-1</sup>). Gurupi – TO, 2020.

As mudas de alface submetidas as crescentes dosagens de quelato de Zn, aplicados via foliar, condicionou uma redução linear significativa para a MST e o IQD (Figura 8 E F). Rodrigues et al. (2018) ressaltam que, o índice de qualidade reflete no vigor e no equilíbrio da distribuição da biomassa nas características morfológicas das mudas e tem sido empregado com êxito para avaliar o comportamento das mudas de outras espécies.

Freitas et al. (2013) obtiveram valores de qualidade de mudas que variaram entre 0,0001 e 0,00079, no entanto, os substratos alternativos proporcionaram a produção de mudas de alface de maior qualidade. Resultado este inferior a maior média obtida no presente trabalho, de 0,13 na dose de 36,25 g Zn ha<sup>-1</sup> para o índice de Dickson, evidenciando a importância das características morfológicas para realização do cálculo e indicação da qualidade das mudas.

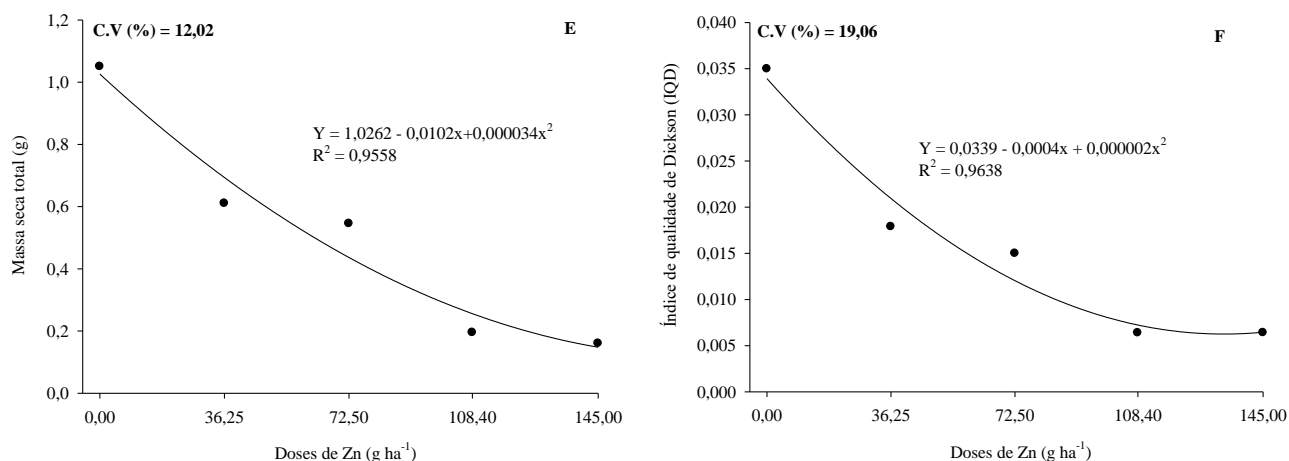


Figura 8 – Massa seca total (MST, em g) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de alface, em função da aplicação foliar de quelato de zinco (0; 36,25; 72,50; 108,40; e 145 g Zn ha<sup>-1</sup>). Gurupi – TO, 2020.

Houve aumento dos teores de Zn de forma linear, com aplicação da fonte sulfatada nas mudas de alface (Figura 9). A dose de máxima eficiência foi de 200 g Zn ha<sup>-1</sup>, no qual proporcionou um teor foliar máximo de 278 mg Zn kg<sup>-1</sup>. A aplicação de sulfato de Zn demonstrou resultado satisfatório em estudo realizado por Graciano (2019), no entanto, os teores foliares de Zn foi de plantas já colhidas em seu máximo desenvolvimento vegetal, sendo o maior teor observado na cultivar Thaís com acúmulo de Zn nas folhas de 213,44 mg kg<sup>-1</sup>.

Os resultados apresentados no presente estudo, demonstram que a adubação foliar com o sulfato de Zn em alface, pode ser uma prática adotada tanto na fase inicial de desenvolvimento da cultura, pois promove mudas vigorosas, quanto no estágio vegetativo das plantas durante o cultivo em campo aberto. O sulfato é uma fonte que apresenta alta solubilidade e se bem manejada dentro do sistema de produção, pode contribuir para acúmulo desse micronutriente em hortaliças e aumentar a ingestão diária de Zn da população (BARRAMEDA-MEDINA et al., 2017).

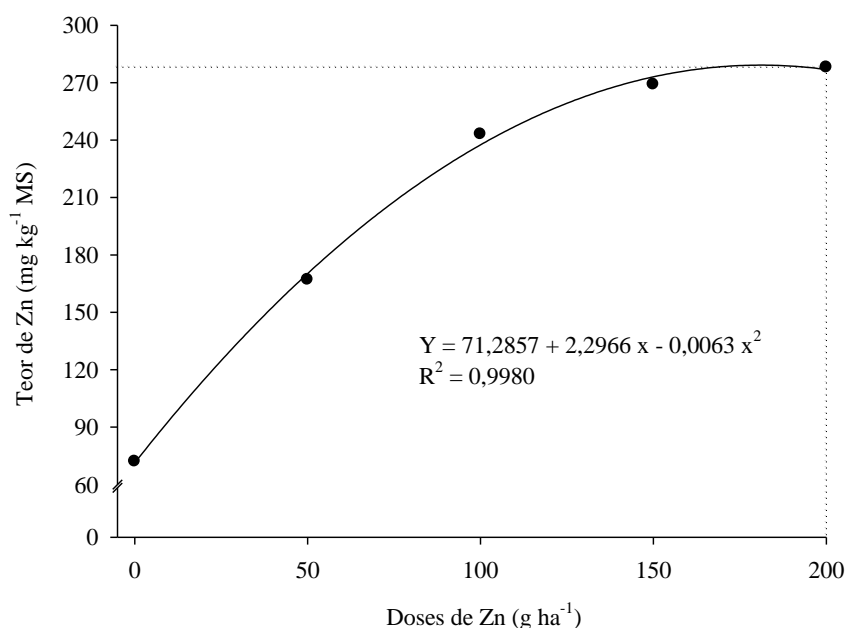


Figura 9 – Teor de Zn (mg kg<sup>-1</sup>, massa seca) em mudas de alface, em função da aplicação foliar de sulfato de zinco. Gurupi – TO, 2020.

Dentre as funções do Zn no metabolismo vegetal da alface, podemos citar a atuação deste na síntese da auxina, fitohormônio essencial no crescimento das plantas (SILVEIRA et al, 2015). Além disso, o Zn é um elemento primordial no fortalecimento do sistema imunológico nos seres humanos e a deficiência deste nutriente atinge 1/3 da população mundial. O enriquecimento dos alimentos voltados para alimentação humana, é uma das estratégias para solucionar esse problema de desnutrição (CLEMENS, 2017).

A maior resposta para o teor de Zn nas mudas de alface, ocorreu positivamente até a dose de 562 g Zn ha<sup>-1</sup> com a fonte óxido (Figura 10), que promoveu um teor foliar do micronutriente de 732 mg Zn kg<sup>-1</sup>, em um comportamento quadrático. A prática de adubação foliar com Zn nesse estágio inicial da alface não é comumente adotada pelos produtores e são escassos os relatos no meio científico a respeito do desempenho dessa fonte em hortaliças, principalmente folhosas.

Conforme já demonstrado anteriormente, as maiores concentrações de Zn após a dose 375 g Zn ha<sup>-1</sup> da fonte óxido, inibiu o crescimento das mudas e os resultados demonstraram que o teor foliar de Zn aumentou à medida que as doses também aumentaram, indicando que o Zn foi absorvido até a concentração que causou a inibição do crescimento das mudas e possivelmente limitou o acúmulo do micronutriente devido ao efeito de fitotoxicidade.

Esses resultados corroboram com Li et al. (2016), que avaliaram o efeito tóxico de nanopartículas de óxido de Zn no crescimento de mudas de tomate e verificaram na biomassa fresca, comprimento da parte aérea e a atividade da raiz foram reduzidas significativamente com o aumento das concentrações de Zn. De acordo com López-Rayó et al. (2012), fontes de micronutrientes na forma de óxido, quando diluída em solução aquosa, as características de ligações e polaridades das cargas não têm um comportamento ideal, tendendo a ser mais difícil uma possível explicação.

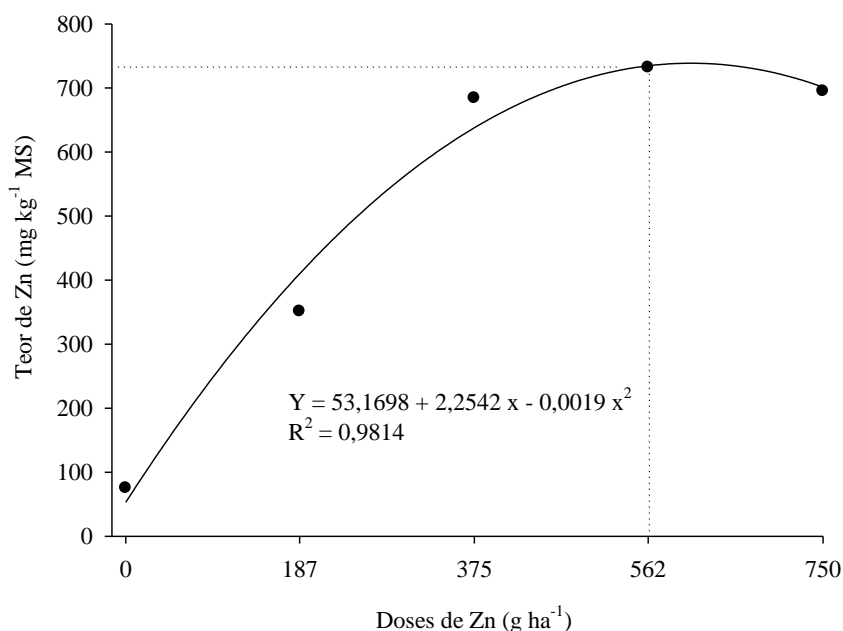


Figura 10 – Teor de Zn (mg kg<sup>-1</sup>, massa seca) em mudas de alface, em função da aplicação foliar de óxido de zinco. Gurupi – TO, 2020.

Tratando-se da mobilidade do Zn nas plantas, esta é considerada pouco móvel no floema e o acúmulo desse micronutriente em hortaliças folhosas, geralmente encontra-se em suas partes comestíveis (folhas) os maiores teores de Zn. Cabe ressaltar ainda, que os teores de macro e micronutrientes variam conforme os órgãos e espécies de plantas (KACHINSKI et al., 2020).

Para a fonte quelatada os teores foliares de Zn aumentaram até a aplicação de 72,50 g Zn ha<sup>-1</sup> levando a um valor máximo de 216 mg Zn kg<sup>-1</sup>, nas doses seguintes houve redução significativa no teor do micronutriente (Figura 11). O uso de fertilizante quelatado justifica-se pelo aumento da disponibilidade do nutriente para a planta, uma vez que os agentes quelatizantes são capazes de manter os nutrientes numa forma solúvel através da formação de complexos, em ambientes que poderia se precipitar ou insolubilizar, mantendo a disponibilidade às plantas e estes poderem ser absorvidos e translocados de forma eficiente no floema (FERRAREZI et al., 2008).

Fontes de micronutrientes como as quelatadas, geralmente são aplicados via solo. Dessa forma, os trabalhos com avaliação da eficiência dos quelatos aplicados via foliar são escassos na literatura científica (LANA et al., 2017), tanto na fase de produção de mudas de hortaliças quanto em outras espécies de olerícolas.

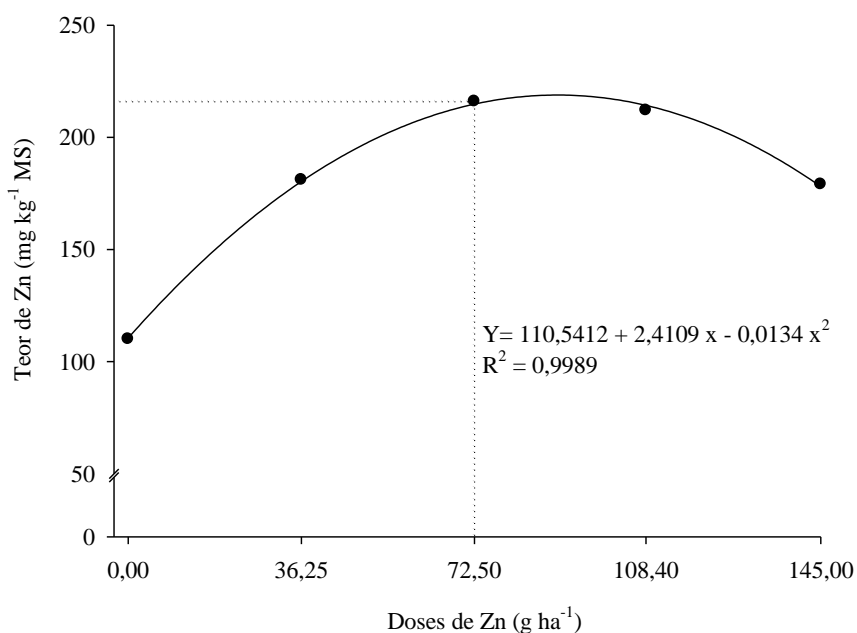


Figura 11 – Teor de Zn (mg kg<sup>-1</sup>, massa seca) em mudas de alface, em função da aplicação foliar de quelato de zinco. Gurupi – TO, 2020.

Os sintomas de fitotoxidez observados após a aplicação foliar da fonte quelato, nas maiores concentrações de Zn, provavelmente inibiu a assimilação do micronutriente pelas mudas, pois hortaliças folhosas são altamente sensíveis a fitotoxicidade do Zn devido a sua alta capacidade de absorção desse nutriente (MORAES, 2020). Além da toxicidade, os altos teores de Zn não favoreceram o crescimento das plântulas, resultando em redução das características morfológicas, AP, MSPA, MSR, MST e o IQD das mudas de alface, submetidas a aplicação da fonte quelatizante.

O uso de fontes de micronutrientes no estágio inicial da alface, reforça a hipótese de que, se aplicados nessa fase, a adubação foliar com Zn nas dosagens mais responsivas tanto no crescimento quanto no acúmulo do elemento, pode ser uma prática que possivelmente resultará em mudas vigorosas, que durante o cultivo em campo as plantas terão condições nutricionais favoráveis para expressar todo seu potencial produtivo.

## Conclusões

A dose máxima de 200 g Zn ha<sup>-1</sup> da fonte sulfato, foi a que proporcionou as maiores médias para as características morfológicas AP, MSPA, MST, DC, IQD e o maior acúmulo de Zn nas folhas das mudas.

As maiores médias de AP, MSPA, MST e IQD, foram obtidas na dose de 375 g Zn ha<sup>-1</sup> mediante aplicação foliar da fonte óxido de Zn.

A dose de 562 g Zn ha<sup>-1</sup> da fonte óxido, resultou em maior teor foliar de Zn nas mudas.

Dentre as dosagens de Zn da fonte quelato, a dose de 36,25 g Zn ha<sup>-1</sup> promoveu as maiores média para as variáveis AP, MSPA, MSR, MST e IQD.

O maior teor foliar de Zn foi obtido na dose de 72,50 g Zn ha<sup>-1</sup>, resultante da aplicação da fonte quelato nas mudas de alface.

## Conflitos de interesse

Não houve conflito de interesses dos autores.

## Contribuição dos autores

Ádila Pereira de Sousa – escrita e discussão dos resultados. Ildon Rodrigues do Nascimento - orientação, correções e revisão do texto. João Victor Gonçalves Carline, Simone Pereira Teles, Liomar Borges de Oliveira – acompanhamento e revisão do texto. João Francisco de Matos Neto, Fernanda Fonseca Pereira, Danielly Barbosa Kaonrdörfer – execução e acompanhamento do experimento.

## Referências Bibliográficas

- ABCSEM. **Associação Brasileira do Comércio de Mudanças e Sementes** (2020). <http://www.abcsem.com.br>
- ALENCAR, T. A. S.; TAVARES, A. T.; CHAVES, P. P. N.; FERREIRA, T. A.; NASCIMENTO, I. R. Efeito de intervalos de aplicação de urina bovina na produção de alface em cultivo protegido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 12, 2012. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- ANUÁRIO HORTIFRUTI 2020/2021. Retrospectiva 2020 e Perspectiva 2021. **CEPEA USP/ESALQ**, 2020, 54p. <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/retrospectiva-2020-perspectivas-2021.aspx>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.02.004>
- BASSACO, A. C.; BRUM JÚNIOR, B. D. S.; FERRERA, T. S.; BASSACO, G. P.; SANTANA, N. A.; & ANTONIOLLI, Z. I. Substratos alternativos na produção de mudas de alface. **Caderno de Pesquisa**, v. 31, n. 2, p. 30-39, 2019. <https://online.unisc.br/seer/index.php/cadpesquisa/article/view/14318>
- BENÍCIO, L. P. F.; SILVA, L. L.; LIMA, S. O. Formação de mudas de couve sob diferentes concentrações de biofertilizante foliar. **Acta Tecnológica**, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2011. <https://periodicos.ifma.edu.br/index.php/actatecnologica/article/view/67>

- 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**. 3<sup>rd</sup> ed. Londres: Academic Press, p. 191-248, 2012. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8>
- CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LÜBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; ALVES, A. F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 77-84, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v42i1.26302>
- CLEMENS, S. How metal hyperaccumulating plants can advance Zn biofortification. **Plant and Soil**, v. 411, n. 1, p. 111-120, 2017. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-016-2920-3>
- CLEMENS, S. Zn and Fe biofortification: the right chemical environment for human bioavailability. **Plant Science**, v. 225, p. 52-57, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.05.014>
- CORREA, B. A.; PARREIRA, M. C.; MARTINS, J. S.; RIBEIRO, R. C.; SILVA, E. M. Reaproveitamento de resíduos orgânicos regionais agroindustriais da Amazônia Tocantina como substratos alternativos na produção de mudas de alface. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 97-104, 2019. <https://doi.org/10.21206/rbas.v9i1.7970>
- COSTA, E; DURANTE, L. G. Y; NAGEL, P. L; FERREIRA, C. R; SANTOS, A. S. Qualidade de mudas de berinjela submetida a diferentes métodos de produção. **Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 1017-1025, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400026>
- COSTA, K. D.; DE CARVALHO, I. D. E.; FERREIRA, P. V.; DA SILVA, J.; TEIXEIRA, J. S. Avaliação de substratos alternativos para a produção de mudas de alface. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 21, 2012. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7424627>
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, n. 8, p. 10-13, 1960.
- EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2<sup>a</sup> ed., Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2009, 627p.
- FERRAREZI, R. S.; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; MEDINA, C. L. Manejo de micronutrientes em cultivo protegido. **Revista HFF & Campo Brasil**, v. 26, p. 10-14, 2008. [https://www.academia.edu/download/33801679/Artigo\\_HFF\\_\(Manejo\\_de\\_Micronutrientes\\_no\\_Cultivo\\_Protegido\).pdf](https://www.academia.edu/download/33801679/Artigo_HFF_(Manejo_de_Micronutrientes_no_Cultivo_Protegido).pdf)
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p.1039-1042, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- FREITAS, G. A. D.; SILVA, R. R. D.; BARROS, H. B.; VAZ-DE-MELO, A.; ABRAHÃO, W. A. P. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 159-163, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000100020>
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais** (propagação sexuada). Viçosa: UFV, 2011, 116p.
- GONÇALVES, E. D. V.; DARTORA, J.; MENDONÇA, H. F.; RISSATO, B. B.; DILDEY, O. D. F.; RONCATO, S.; TSUTSUMI, C. Y. Crescimento e produtividade de cultivares de alface em ambiente protegido com e sem tela termorrefletora. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 2, p. 193-199, 2017. <https://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v16n1p193-199>
- GRACIANO, P. D. **Biofortificação agrônômica com zinco em cultivares de alface cresspa**. 36p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/25094>

- GUIRRA, K. S.; DA SILVA, J. E. S. B.; DA SILVA, G. C. S. B.; DANTAS, B. F.; ARAGÃO, C. A. Germinação de sementes de tomateiro tratadas com fontes de ferro e zinco para biofortificação agrônômica. **Scientia Plena**, v. 11, n. 10, 2015. <https://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2015.100201>
- KACHINSKI, W. D.; VIDIGAL, J. C. B.; ÁVILA, F. W. Zinco no solo, na planta e a saúde humana: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e827973544-e827973544, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3544>
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate Der Erde*. **Gotha**: Verlag Justus Perthes, 1928.
- LANA, R. M. Q.; DE ANDRADE SILVA, A.; NICCHIO, B.; PEIXOTO, J. V. M.; DE MORAES, E. R. Micronutrientes catiônicos: fontes, doses e ambientes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 332-339, 2017. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119052986011>
- LI, M.; AHAMMED, G. J.; LI, C.; BAO, X.; YU, J.; HUANG, C.; ZHOU, J. Brassinosteroid ameliorates zinc oxide nanoparticles-induced oxidative stress by improving antioxidant potential and redox homeostasis in tomato seedling. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 615, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00615>
- LIMA, M. V. G.; DOS SANTOS FILHO, C. A.; FERREIRA, J. V. V.; DE SOUZA, K. G.; SHOCKNESS, L. D. S. F.; BENTO, G. F. Vermicompostos como substratos no desempenho de mudas de alface e rúcula. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 3, p. 374-381, 2019. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7155657>
- LIMA, T. J. L. **Desempenho de mudas de alface produzidas nos diferentes volumes de células em bandejas e cultivadas em sistema hidropônico**. 59 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2017. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/9175>
- LÓPEZ-RAYO, S.; CORREAS, C.; LUCENA, J. J. Novel chelating agents as manganese and zinc fertilizers: characterization, theoretical speciation and stability in solution. **Chemical Speciation and Bioavailability**, v. 24, n. 3, p. 147-158, 2012. <https://doi.org/10.3184/095422912X13409631969915>
- MORAES, C. C. **Biofortificação agrônômica com zinco em alface**. 78 p. Tese (Doutorado). Instituto Agrônômico, Campinas, São Paulo, 2020. <http://www.iac.agricultura.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/repositorio/storage/1027.pdf>
- OLIVEIRA, R. C.; SILVA, J. E. R.; AGUILAR, A. S.; LUZ, J. M. Q. Uso de fertilizante organomineral no desenvolvimento de mudas de rúcula. **ACSA**, v. 14, n. 1, p. 1-6, 2018. <http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/811>
- PAULA, L. I. S.; MONACO, P. A. V. L.; KRAUSE, M. R.; SALLA, P. H.; NANDORF, R. J.; MOREIRA, C. Produção de mudas de alface (*Lactuca sativa L.*) em substrato composto por húmus e resíduos do beneficiamento dos grãos de pimenta-do-reino. **Revista Ifes Ciência**, v. 6, n. 4, p. 105-113, 2020. <https://doi.org/10.36524/ric.v6i4.731>
- REYES, S. M. R. **Aplicação foliar de zinco na biofortificação de rúcula**. 40p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Filho, Jaboticabal, 2017. <http://hdl.handle.net/11449/152410>
- RODRIGUES, L. U.; SILVA, R. R. DA; FREITAS, G. A. DE; SANTOS, A. C. M. DOS; TAVARES, R. DE. C. Ácidos húmicos no desenvolvimento inicial de alface. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava-PR, v. 11, n. 2, p. 101-109, 2018. <https://doi.org/10.5935/PAeT.V11.N2.11>
- SILVA, E. C.; QUEIROZ, R. L. Formação de mudas de alface em bandejas preenchidas com diferentes substratos. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 725-729, 2014. <http://hdl.handle.net/11449/111578>

- SILVA, M. H. DA; DE LIMA, M. S.; FERREIRA, A. B.; SOUZA, R. B.; DO NASCIMENTO, M. M. Cultivo de alface utilizando substratos alternativos. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 2, p. 819-827, 2020. <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/4249>
- SILVEIRA, A. L.; NETO, A. P., DE OLIVEIRA, A. R. C.; DE SOUZA, L. N.; DE OLIVEIRA CHARLO, H. C. Doses de fósforo para a produção de alface americana com e sem aplicação foliar de zinco. **Biotemas**, v. 28, n. 1, p. 31-35, 2015. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2015v28n1p31>
- SIMÕES A. C.; ALVES, G. K. E. B.; FERREIRA, R. L. F.; ARAUJO NETO, S. E. Qualidade da muda e produtividade de alface orgânica com condicionadores de substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 4, p. 521-526, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000400019>
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017, 888p.
- UDEIGWE, T. K.; EICHMANN, M. B.; MENKITI, M. C. Examining the fixation kinetics of chelated and non-chelated copper micronutrient and the applications to micronutrient management in semi-arid alkaline soils. **Solid Earth**, v. 7, p. 311-321, 2016. <https://doi.org/10.5194/sed-7-2875-2015>
- WATTHIER, M.; SCHWENGBER, J. E.; DA FONSECA, F. D.; DA SILVA, M. A. S. Húmus de minhoca e casca de arroz carbonizada como substratos para produção de mudas de alface. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 5, p. 2065-2071, 2019. <https://doi.org/10.34115/basrv3n5-011>
- YURI, J. E.; MOTA, J. H.; DE RESENDE, G. M.; DE SOUZA, R. J. Nutrição e adubação da cultura da alface. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**. Jaboticabal: FCAV/CAPES, p. 559-577, 2016. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1044447/1/Milanez20162.pdf>

Recebido em 14 de junho de 2022  
Retornado para ajustes em 5 de julho de 2022  
Recebido com ajustes em 7 de julho de 2022  
Aceito em 4 de agosto de 2022