



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA  
DOUTORADO EM FITOTECNIA

NUBIA MARISA FERREIRA BERTINO

**DESEMPENHO AGRONÔMICO, QUALIDADE E BIOFORTIFICAÇÃO DA  
CEBOLA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES**

Mossoró-RN

2020

NUBIA MARISA FERREIRA BERTINO

**DESEMPENHO AGRONÔMICO, QUALIDADE E BIOFORTIFICAÇÃO DA  
CEBOLA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-árido, em cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do grau de Doutora em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição de Hortaliças

Orientador: Prof. Dr. Leilson Costa Grangeiro

Mossoró-RN

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B544d Bertino, Nubia Marisa Ferreira .  
Desempenho agrônomo, qualidade e  
biofortificação da cebola em função da adubação com  
micronutrientes / Nubia Marisa Ferreira Bertino.  
- 2020.  
70 f. : il.

Orientador: Leilson Costa Grangeiro.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural  
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em  
Fitotecnia, 2020.

1. Allium cepa L.. 2. Nutrição. 3. Crescimento.  
4. Produtividade. 5. Qualidade. I. Costa  
Grangeiro, Leilson , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

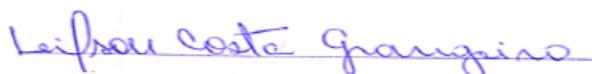
NUBIA MARISA FERREIRA BERTINO

**DESEMPENHO AGRONÔMICO, QUALIDADE E BIOFORTIFICAÇÃO DA  
CEBOLA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em  
Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-  
Árido, em cumprimento parcial dos requisitos para o  
grau de Doutora em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição de Hortaliças

**APROVADA EM:** 30 de agosto de 2020



Leilson Costa Grangeiro, Prof. Dr. (UFERSA)  
Presidente



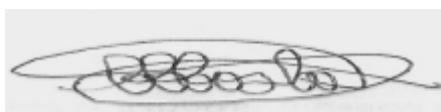
Maria Zuleide de Negreiros, Prof<sup>ª</sup>. Dra. (UFERSA)  
Membro Examinador



Arthur Bernardes Cecílio Filho, Prof. Dr. (UNESP)  
Membro Examinador



Valdívnia de Fátima Lima de Sousa, Dra. (Agrícola Famosa)  
Membro Examinador



Caciana Cavalcanti Costa, Prof<sup>ª</sup>. Dra. (UFCEG)  
Membro Examinador

*Aos meus pais, Maria Raimunda e Antonino Neto,  
pelo amor e confiança em mim depositados.*

*Ao meu irmão, César, pelo incentivo.*

*Ao meu esposo, Antonio Michael, pelo apoio,  
compreensão e amor.*

### **Dedico**

*A DEUS, por me proporcionar esta  
conquista, me orientar a seguir sempre o  
caminho do amor, da sabedoria e por estar  
ao meu lado em todos os momentos.*

**Ofereço**

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, pela dádiva da vida, saúde, paz e amor que me faz ser forte, perseverante e nunca deixar de acreditar no meu potencial.

Aos meus pais, Maria Raimunda e Antonino Neto, pelo amor, confiança e por me ensinarem a ser perseverante e resiliente. Ao meu irmão, César, pelo apoio.

Ao meu amado esposo, Antonio Michael, pelo amor, companheirismo, paciência, confiança e respeito.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de cursar o doutorado e me qualificar profissionalmente.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo, pois não seria possível realizar o curso sem o auxílio financeiro.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leilson Costa Grangeiro, pela confiança, paciência, dedicação, ensinamentos e me proporcionar crescer profissionalmente.

Aos membros da banca examinadora: Prof. Dr. Leilson Costa Grangeiro, Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Zuleide de Negreiros, Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, Prof<sup>a</sup>. Dra. Caciana Cavalcanti Costa e Dra. Valdívia de Fátima Lima de Sousa, por aceitar o convite e contribuir para melhorar o trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, por me proporcionarem crescer e buscar novos conhecimentos.

Ao Prof. Dr. Glauber pela paciência, compromisso e ajuda durante a interpretação das análises estatísticas.

Aos funcionários do Centro de Pesquisas Vegetais do Semiárido Nordeste (CPVSA) da UFERSA, Paulo Sérgio, Bruno Fernandes, Lidiane Martins, Cristiane Noronha e Juliana Silva, por estarem sempre dispostos a ajudar durante as análises.

À Prof<sup>a</sup>. Dra. Carolina Malala Martins, por permitir usar o Laboratório de Química e Mineralogia do Solo.

Ao Dr. Chagas Gonçalves, por todo o apoio durante a condução dos experimentos na Fazenda Experimental da UFERSA, e por estar sempre à disposição quando precisei.

Aos membros do grupo de pesquisa em Nutrição e Adubação de Hortaliças, coordenado pelo professor Leilson Costa Grangeiro, pela ajuda na condução dos experimentos, pelos

momentos de companheirismo, amizade e compromisso durante as longas horas de trabalho e análise em laboratório: Rodolfo Lacerda, Romualdo Cortez, João Paulo Costa, Henrique Nogueira, Anna Kézia, Laíza Gomes, Natali Almeida, Jorge Luiz, Santiago Alves, Ana Paula, Larissa, Régis Vieira, Anderson Alves, Valdívia Sousa, Priscila Modesto, Victor Gomes, Fabrício Almeida, Jefferson Venâncio e Gerlani Alves.

Aos funcionários da Horta Didática e da Fazenda Experimental da UFERSA: Nanan, Alderi, Flabenio, Pepeta, Fabrício e ao Sr. Antônio.

E àqueles que não foram mencionados, mas que contribuíram direto ou indiretamente para realização deste trabalho.

**Muito obrigada!**

“Caminharás sobre a cobra e a víbora, pisarás sobre leões e dragões. Eu o salvarei, porque a mim se confiou; eu o exaltarei, pois conhece o meu nome. Ele me invocará, e lhe darei resposta; perto dele estarei na desgraça, vou salvá-lo e torná-lo glorioso”.

(Salmo 91, 13-15)

## RESUMO

BERTINO, Nubia Marisa Ferreira. **Desempenho agrônômico, qualidade e biofortificação da cebola em função da adubação com micronutrientes**. 2020. 70f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2020.

Os micronutrientes contribuem com o crescimento e desenvolvimento das culturas, sendo importante em diversas funções enzimáticas e metabólicas das plantas, com isso contribuem com aumento da produtividade e qualidade dos produtos. No Brasil, estudos com adubação de micronutrientes em cebola são recentes. Dessa forma, diante da importância dos micronutrientes para a cultura é necessário o estudo da adubação, em especial para as condições semiáridas. Com o objetivo de avaliar o desempenho agrônômico, qualidade de bulbos e a biofortificação agrônômica de cebola, sob adubação com micronutrientes, dois experimentos foram realizados no período de junho a novembro de 2018 (Experimento 1) e de junho a novembro de 2019 (Experimento 2). O delineamento experimental foi em blocos casualizados completos com 15 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas doses de B, Cu e Zn isoladas e combinadas. Foram avaliadas as características de crescimento, teores de B, Cu e Zn na folha diagnose, massa seca de folhas, bulbo e total, acúmulo de micronutrientes, classificação, produtividade, qualidade e biofortificação agrônômica. Os resultados encontrados mostram que a aplicação de B, Cu e Zn não influenciaram no número de folhas, relação de formato de bulbo, massa seca de folha, bulbo, total e produtividade da cebola. A aplicação de B, Cu e Zn nas doses de 1-2-1 kg ha<sup>-1</sup> favoreceu maior acúmulo de micronutrientes na cebola. A diferença de pH do solo entre os experimentos interferiu na absorção de B, Cu e Zn e, conseqüentemente, na resposta da cultura à adubação. A aplicação combinada de B, Cu e Zn, nas doses de 2-4-2 kg ha<sup>-1</sup> contribuiu para aumentar a pungência no experimento 2. Aplicação de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B contribuiu com maior firmeza do bulbo no experimento 1. A adubação com micronutrientes não aumentou os sólidos solúveis, acidez titulável, relação SS/AT e coloração dos bulbos. A cebola apresentou potencial para biofortificação em B>Cu >Zn.

**Palavras-chave:** *Allium cepa* L., nutrição, crescimento, produtividade, qualidade.

## ABSTRACT

BERTINO, Nubia Marisa Ferreira. **Agronomic performance, quality and biofortification of onion as a function of fertilization with micronutrients**. 2020. 70p. Thesis (D.Sc. in Plant Science) – Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA), Mossoró-RN, 2020.

Micronutrients contribute to the growth and development of crops, being important in various enzymatic and metabolic functions of plants, thereby contributing to increased productivity and product quality. In Brazil, studies on the fertilization of micronutrients in onion are recent, so in view of the importance of micronutrients for the crop, it is necessary to study fertilization, especially for semiarid conditions. In order to evaluate agronomic performance, bulb quality and agronomic biofortification of onion, under fertilization with micronutrients, two experiments were carried out from June to November 2018 (Experiment 1) and from June to November 2019 (Experiment 2). The experimental design was in randomized blocks complete with 15 treatments and four replications. The treatments consisted of the doses of B, Cu and Zn isolated and combined. Growth characteristics, B, Cu and Zn levels in the diagnostic leaf, dry leaf weight, bulb and total, micronutrient accumulation, classification, productivity, quality and agronomic biofortification were evaluated. The results found show that the application of B, Cu and Zn did not influence the number of leaves, ratio of bulb shape, dry leaf mass, bulb, total and yield of onion. The application of B, Cu and Zn at doses of 1-2-1 kg ha<sup>-1</sup> favored a greater accumulation of micronutrients in the onion. The difference in soil pH between the experiments interfered in the absorption of B, Cu and Zn, and consequently in the crop response to fertilization. The combined application of B, Cu and Zn, at doses of 2-4-2 kg ha<sup>-1</sup>, contributed to increase the pungency in experiment 2. Application of 1 kg ha<sup>-1</sup> of B contributed to greater bulb firmness in experiment 1. Fertilization with micronutrients did not increase soluble solids, titratable acidity, SS/AT ratio and bulb color. The onion showed potential for biofortification in B > Cu > Zn.

**Keywords:** *Allium cepa* L., nutrition, growth, productivity, quality.

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, Mossoró, RN, 2020.....	26
Tabela 2. Descrição dos tratamentos. Mossoró-RN. UFERSA. 2020.....	28
Tabela 3. Manejo da irrigação na área experimental. Mossoró-RN. UFERSA, 2020.....	29
Tabela 4. Resumo da análise de variância para teores de boro (TB), cobre (TCu), zinco (TZn) na folha diagnóstica, altura de planta (AP), número de folha por planta (NF), relação de formato de bulbo (RF), massa seca de folha (MSF), massa seca de bulbo (MSB) e massa seca total (MST) de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.....	32
Tabela 5. Teores de B, Cu e Zn na folha diagnóstica de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.....	33
Tabela 6. Altura da planta de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn em duas épocas de cultivo (experimentos).....	35
Tabela 7. Número de folhas (NF), relação de formato de bulbo (RF), massa seca de folha (MSF), de bulbo (MSB) e total (MST) de cebola, em função da aplicação de micronutrientes B, Cu e Zn.....	36
Tabela 8. Resumo da análise de variância para acúmulo de boro na folha, bulbo e total (ABF; ABB; ABT), acúmulo de cobre na folha, bulbo e total (ACuF; ACuB; ACuT) e acúmulo de zinco na folha, bulbo e total (AZnF; AZnB; AZnT) de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.....	38
Tabela 9. Acúmulo de boro na folha, bulbo e planta total de cebola, em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.....	38
Tabela 10. Acúmulo de cobre na folha, bulbo e planta total de cebola, em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.....	39
Tabela 11. Acúmulo de zinco na folha, bulbo e total em cebola, em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.....	40
Tabela 12. Resumo da análise de variância para classificação de bulbos (C1, C2, C3 e C4), produtividade comercial (PC), produtividade não comercial (PNC) e produtividade total (PT) de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn.....	42
Tabela 13. Percentagens de bulbos de cebola nas classes 1, 2, 3 e 4 em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.....	43
Tabela 14. Produtividade comercial (PC), produtividade não comercial (PNC) e produtividade total (PT) de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.....	43

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, Mossoró, RN, 2020.....	54
Tabela 2. Descrição dos tratamentos. Mossoró-RN. UFERSA 2020.....	55
Tabela 3. Manejo da irrigação na área experimental. Mossoró-RN. UFERSA, 2020.....	56
Tabela 4. Resumo da análise de variância para sólidos solúveis (SS), açúcares solúveis totais (AST), pungência, firmeza, relação SS/AT, acidez titulável (AT) e coloração de bulbos (L, a e b) de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.....	59
Tabela 5. Sólidos solúveis (SS), açúcares solúveis totais (AST), pungência e firmeza, de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.....	60
Tabela 6. Relação SS/AT, acidez titulável (AT), cor (L), cor (a) e cor (B), de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.....	62
Tabela 7. Teores de B, Cu e Zn em bulbo de cebola em função da aplicação de micronutrientes (B, Cu e Zn) e experimentos.....	63
Tabela 8. Teores médios de micronutrientes e valores diários de referência para uma dieta padrão, proporcionada pelo consumo de cebola crua (porção de 10g).....	64

## **LISTA DE FIGURAS**

### **CAPÍTULO I**

Figura 1. Temperatura (A, B) e umidade relativa do ar (C, D), no período de condução dos respectivos experimentos 1 (2018) e 2 (2019), no município de Mossoró, RN, 2020.....27

## **LISTA DE FIGURAS**

### **CAPÍTULO II**

Figura 1. Temperatura (A, B) e umidade relativa do ar (C, D), no período de condução dos respectivos experimentos 1 (2018) e 2 (2019), no município de Mossoró, RN, 2020.....54

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>14</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO I - CRESCIMENTO, ACÚMULO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE CEBOLA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES.....</b>	<b>23</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>23</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>24</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1 Localização e características da área experimental.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3 Implantação e condução dos experimentos.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 Variáveis Analisadas.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.1 Teor de B, Cu e Zn na folha diagnose do estado nutricional.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.2 Crescimento .....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.3 Acúmulo de B, Cu e Zn na folha, bulbo e total.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.4 Classificação de bulbos.....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.5 Produtividade de bulbos comerciais, não comerciais e total.....</b>	<b>31</b>
<b>2.5 Análise estatística.....</b>	<b>31</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Teor de B, Cu e Zn na folha diagnose e Crescimento.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Acúmulo de B, Cu e Zn na folha, bulbo e total.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Classificação e Produtividade de bulbos.....</b>	<b>42</b>
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO II - QUALIDADE E BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE CEBOLA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES.....</b>	<b>50</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>50</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>51</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>53</b>
<b>2.1 Localização e características da área experimental.....</b>	<b>53</b>
<b>2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....</b>	<b>54</b>

<b>2.3 Implantação e condução dos experimentos.....</b>	<b>55</b>
<b>2.4 Variáveis Analisadas.....</b>	<b>57</b>
<b>2.4.1 Firmeza.....</b>	<b>57</b>
<b>2.4.2 Coloração.....</b>	<b>57</b>
<b>2.4.3 Sólidos Solúveis (SS) .....</b>	<b>57</b>
<b>2.4.4 Acidez titulável (AT).....</b>	<b>57</b>
<b>2.4.5 Relação SS/AT.....</b>	<b>57</b>
<b>2.4.6 Açúcares solúveis totais.....</b>	<b>57</b>
<b>2.4.7 Pungência.....</b>	<b>58</b>
<b>2.4.8 Biofortificação.....</b>	<b>58</b>
<b>2.5 Análise estatística.....</b>	<b>58</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>3.1 Qualidade de bulbos.....</b>	<b>59</b>
<b>3.2 Biofortificação agrônômica do bulbo de cebola.....</b>	<b>62</b>
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A cebola (*Allium cepa* L.) está presente na culinária não só como um condimento, como também por sua ação nutracêutica. Também é considerada um alimento funcional, trazendo benefícios à saúde por ser rica em compostos sulfurados (alicina), antioxidantes e flavonoides (quercetina), eficazes no tratamento de doenças, como diabetes, cânceres, doença cardíaca coronária, obesidade, hipertensão e distúrbios do trato gastrointestinal (LANZOTTI et al., 2006; KIM et al., 2013; VEER et al., 2018).

A cebolicultura é uma atividade praticada mundialmente e os três maiores produtores são a China, Índia e EUA, produzindo, em 2017, 97 milhões de toneladas. O Brasil é o 12º maior produtor, com produção de 1.549.597 t, em 48.494 ha, e se coloca como a terceira hortaliça de maior valor econômico, após o tomate e a batata (FAOSTAT, 2020). A região Nordeste brasileira participa com 18% do total produzido, sendo os estados mais produtores Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Norte, com produção de 123.918, 12.201 e 4.526 t, respectivamente (IBGE, 2017).

O cultivo de cebola possui importância socioeconômica, não apenas em virtude do volume produzido, como também por ser uma cultura que demanda grande mão de obra, contribui com a geração de empregos, viabilização de pequenas propriedades e fixação dos produtores na zona rural (RESENDE et al., 2015).

O aumento na produtividade da cebola, assim como melhor sanidade e qualidade dos bulbos, é influenciado pela nutrição das plantas (KURTZ; ERNANI, 2010). De acordo com Aske et al. (2017), os micronutrientes atuam como constituinte estrutural de enzimas e contribuem para a eficiência dos macronutrientes, e em deficiência comprometem o crescimento, produtividade e a qualidade dos bulbos.

As funções do B estão relacionadas ao transporte de açúcares, síntese e estabilidade da membrana plasmática, estruturação da parede celular, no metabolismo de carboidratos, de N e Ca (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; TRANI et al., 2014). O Cu constitui a estrutura de proteínas e de enzimas que atuam nos processos de fotossíntese, respiração, mecanismo de resistência a doenças, regulação hormonal, fixação simbiótica de N e no metabolismo de compostos secundários (TRANI et al., 2014).

O Cu, através das enzimas polifenol-oxidase e ascorbato-oxidase, também é responsável pela formação de compostos fenólicos precursores da lignina, que tornam as paredes celulares mais firmes. Esses compostos são precursores ainda da melanina e fitoalexinas, fundamentais

na resistência às doenças foliares, firmeza e coloração dos bulbos de cebola (FERREIRA; MINAMI, 2000; KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

O Zn atua como catalizador na síntese de auxina a partir do triptofano, influenciando na biossíntese da auxina e no transporte e acúmulo de fotossintatos (MAURYA et al., 2018). Atua no aumento da fotossíntese, atividade enzimática e no metabolismo de carboidratos e proteínas (ACHARYA et al., 2015).

O B é absorvido pelas plantas predominantemente na forma de  $H_3BO_3$ . Em condições de teores adequados, o transporte do elemento ocorre de forma passiva. Na maioria das culturas, o B é imóvel no floema, porque a sacarose é o principal produto da fotossíntese, todavia para cebola o principal produto da fotossíntese são póliois, com isso o B é considerado móvel no floema (BRDAR-JOKANOVIĆ, 2020).

O Cu é absorvido na forma iônica  $Cu^{2+}$ . No xilema, o Cu é transportado por compostos solúveis nitrogenados, como aminoácidos. É um elemento que possui baixa mobilidade no floema. Assim como o Cu, a absorção de Zn ocorre na forma iônica  $Zn^{2+}$ , possuindo baixa mobilidade no floema (MALAVOLTA et al., 1989).

Desse modo, para o crescimento e desenvolvimento da cultura da cebola é importante que os teores de micronutrientes nos tecidos das plantas estejam adequados. Os teores de micronutrientes na massa seca da cebola considerados adequados variam entre 30-50  $mg\ kg^{-1}$  de B, 10-30  $mg\ kg^{-1}$  de Cu e 30-100  $mg\ kg^{-1}$  de Zn (TRANI et al., 2014).

A adubação com micronutrientes é realizada via solo em pré-plantio junto com NPK, via foliar no período entre 40 a 60 dias após a semeadura, ou via fertirrigação com aplicações parceladas ao longo do ciclo de cultivo. As doses recomendadas, de acordo com Trani et al. (2014), são de 1 a 2  $kg\ ha^{-1}$  de B, 2 a 4  $kg\ ha^{-1}$  de Cu e 1 a 4  $kg\ ha^{-1}$  de Zn. Dessa forma, o conhecimento do manejo adequado da adubação da cebola é importante, pois a faixa entre a deficiência e a toxicidade de micronutrientes é estreita (GUPTA et al., 2008; BRDAR-JOKANOVIĆ, 2020).

A deficiência de B interfere na absorção iônica, atividade enzimática, processos fisiológicos como o metabolismo de proteínas e carboidratos, síntese de lignina, celulose e ácidos nucleicos, reduzindo o crescimento das plantas e desenvolvimento do bulbo. Deficiência de Cu interfere no metabolismo do N e compostos secundários, reduzindo a solidez e firmeza do bulbo, ao passo que em Zn reduz a atividade enzimática, o conteúdo de proteínas, o desenvolvimento dos cloroplastos e de ácidos nucleicos (TRANI et al., 2014; ACHARYA et

al., 2015; VERR et al., 2018; DECHEN, et al., 2018), reduzindo a produtividade e qualidade do bulbo.

Os estudos com adubação de B, Cu e Zn são necessários, tendo em vista a importância desses micronutrientes no crescimento, produtividade e qualidade da cebola. Avaliando a resposta da cebola à adubação com micronutrientes na Índia, Veer et al. (2018) verificaram que a aplicação de NPK combinado com bórax, sulfato de zinco e sulfato de cobre aumentou o crescimento, massa seca de folhas, bulbo e produção. Em Bangladesh, Abedin et al. (2012) obtiveram maior crescimento, massa fresca, seca e produtividade da cebola com aplicação de óxido de zinco + ácido bórico na proporção 3:3 kg ha<sup>-1</sup>, com produtividade de 13,38 t ha<sup>-1</sup>, um aumento de 49,66% em relação à testemunha.

Goyal et al. (2017) relataram que aplicação de Zn 0,5 + Mn 1,0 + B 0,25 + Cu 1,0% contribuiu com maior crescimento, diâmetro de bulbo e teor de sólidos solúveis de 11,90%. Em estudo realizado no Egito em cebola, El-Tohamy et al. (2009) observaram que a aplicação com Zn na concentração de 0,3 g L<sup>-1</sup> aumentou altura de plantas, número de folhas, diâmetro do bulbo e produtividade em 60 e 43% em duas safras estudadas.

Na Índia, Aske et al. (2017) avaliaram produtividade e qualidade de cebola, observando que a aplicação de 10 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de zinco + bórax + sulfato de cobre aumentaram o crescimento, produtividade comercial e sólidos solúveis de 14,53 °Brix. Em Santa Catarina, Kurtz; Ernani (2010) estudaram doses de Zn, Mn e B em cebola, obtendo incremento de 13,5% na produtividade em três safras estudadas em relação à testemunha com aplicação via solo de 3,5 kg ha<sup>-1</sup> de Zn, não obtendo resposta significativa com aplicação de B e Mn.

Síntese do ácido pirúvico em bulbos de cebola foi observada por Denre et al. (2016) com aplicação de B a 0,25 e 0,5% (10,51 e 13,31 µmolg<sup>-1</sup>, respectivamente). Estudando a qualidade de bulbos de cebola em tratamento pré-colheita, Ferreira et al. (2000) observaram aumento na resistência da casca e coloração de bulbos com aplicação foliar de 250 g L<sup>-1</sup> de oxiclreto de cobre e ácido bórico.

Pelos estudos realizados, pode-se perceber resposta positiva da adubação de micronutrientes no crescimento, na produtividade e na qualidade dos bulbos. Todavia, um fator importante que deve ser levado em consideração é a qualidade nutricional do produto, que influencia diretamente na quantidade de nutrientes que a população deve ou estará ingerindo diariamente. Nesse sentido, não ingerir quantidades adequadas de micronutriente causa diversos problemas à saúde humana.

A deficiência de B causa artrite, perda óssea e osteoporose (NIELSEN et al., 2014; MOGAŞANU et al., 2016), problemas cardiovasculares e neurológicos (NIELSEN, 2020). Deficiência em Cu reduz atividade enzimática que provoca desequilíbrio oxidativo (MŁYNIEC et al., 2015), alterações neurológicas, hepáticas e cardiovasculares (TASIĆ et al., 2015), interfere ainda na atividade da enzima Cu/Zn-SOD, responsável por transportar 90 a 95% do Cu total do plasma. Esse elemento é transportado ao fígado ligado à albumina e incorporado na proteína ceruloplasmina (SALLES et al., 2013).

A deficiência em Zn retarda o crescimento infantil, anorexia e hipuguesia (BROWN, 2002), ineficiência do sistema imunológico, alterações no DNA e câncer (LEVENSON; MORRIS, 2011). Reduz o desenvolvimento mental, interfere no metabolismo da vitamina A, no sistema imunológico e antioxidante (MAFRA; COZOLLINO, 2004; CRUZ; SOARES, 2011).

Nesse sentido, a técnica da biofortificação é importante para reduzir a deficiência de micronutrientes, consistindo no aumento da concentração de micronutrientes nas plantas cultivadas, em pré-colheita, por meios agronômicos ou modificação genética (CAKMAK, 2008). A biofortificação agronômica é realizada por meio da fertilização no solo, foliar ou sementes (SALTZMAN et al., 2013).

O estudo da biofortificação tem se destacado nos últimos anos, tendo como uma das principais causas a redução do consumo domiciliar de alimentos. Em decorrência disso, a população tem aumentado a ingestão de alimentos ricos em gordura e com baixo valor nutricional, o que tem favorecido a “fome oculta”, provocando desnutrição, ocasionado pela baixa ingestão de nutrientes, em especial de micronutrientes.

A baixa ingestão de nutrientes pelos seres humanos é um problema sério que traz riscos à saúde. No mundo, 151 milhões de crianças apresentam problemas no crescimento devido à subnutrição. No Brasil, a desnutrição atinge 2,5% da população e 22,1% encontram-se com problema de obesidade (ONU, 2019). A ingestão diária recomendada de Cu e Zn é 0,9 e 7 mg dia<sup>-1</sup>, respectivamente (ANVISA, 2001), e de 3,5 mg dia<sup>-1</sup> de B (NIELSEN; MEACHAM, 2011).

De acordo com Tureck et al. (2017), 34,8 e 23,6% da população brasileira ingerem quantidades insuficientes de Zn e Cu. Sendo assim, para mitigar esse problema, a biofortificação agronômica tem sido eficaz no enriquecimento nutricional de diversas hortaliças, incluindo alface, rúcula, couve, cenoura, beterraba e batata (LIMA et al., 2015; RUGELES-REYES et al., 2019; ALMEIDA et al., 2020; CARMONA et al., 2020),

contribuindo com a ingestão diária recomendada de micronutrientes. Os estudos relacionados à biofortificação agrônômica com B, Cu e Zn em cebola ainda são recentes.

A partir dessas informações, é imprescindível pesquisar os efeitos da adubação com micronutrientes na cultura da cebola, tendo em vista que no Brasil ainda são incipientes os estudos de adubação com micronutrientes, principalmente porque existem poucas recomendações para cultura da cebola. A recomendação de adubação de micronutrientes existente é para as regiões Sul e Sudeste do país.

No entanto, as condições de clima, de solo e de manejo da cultura diferem da região semiárida brasileira. Nos últimos anos, o cultivo de cebola no Nordeste tem aumentado, o que provocou modernização do manejo da cultura, como semeadura direta, espaçamento adensado, irrigação por gotejamento e adubações via fertirrigação, resultando em produtividades superiores à média nacional (SILVA, 2018; GONÇALVES et al., 2019 a, b).

Nesse sentido, o conhecimento da resposta da cebola à adubação com micronutrientes será uma ferramenta fundamental na otimização da produção e qualidade dos bulbos, especialmente para os produtores da região Oeste do Rio Grande do Norte. Diante do exposto, o objetivo desse estudo é avaliar o desempenho agrônômico da cebola, a qualidade e a biofortificação do bulbo sob adubação com micronutrientes.

## REFERÊNCIAS

- ABEDIN, MD. J.; ALAM, MD. N.; HOSSAIN, MD. J.; ARA, N. A.; HAQUE, K. MD. F. Effect of micronutrients on growth and yield of onion under calcareous soil environment. **International Journal of Biosciences**, Índia, v. 2, n. 8, p. 95-101, 2012.
- ACHARYA, U.; VENKATESAN, K.; SARASWATHI, T.; SUBRAMANIAN, K. S. Effect of Zinc and Boron Application on Growth and Yield Parameters of Multiplier Onion (*Allium cepa* L. var *aggregatum* Don.) var. CO (On)5. **International Journal of Research**, Índia, v.2, n. 1, p. 757-765, 2015.
- ALMEIDA, H. J.; CARMONA, V. M. V.; INOCÊNCIO, M. F.; FURTINI NETO, A. E.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MAUAD, M. Soil Type and Zinc Doses in Agronomic Biofortification of Lettuce Genotypes. **Agronomy**, v. 10, n. 124, p. 1-9, 2020.
- ANVISA. Rotulagem Nutricional Obrigatória Manual de Orientação aos Consumidores Educação para o Consumo Saudável. Brasília, DF 45p, 2001
- ASKE, V.; JAIN, P. K.; LAL, N.; SHIURKAR, G. Effect of Micronutrients on Yield, Quality and Storability of Onion cv. Bhima Super. **Trends in Biosciences**, n. 10, v. 6, n. p. 1354-1358, 2017.
- BRDAR-JOKANOVIĆ, M. Boron Toxicity and Deficiency in Agricultural Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, p. 1-20, 2020.
- BROWN, K. H.; PEERSON, J. M.; RIVERA, J.; ALLEN, L. H. Effect of supplemental zinc on the growth and serum zinc concentrations of prepubertal children: a meta-analysis of randomized controlled trials. **The American journal of clinical nutrition**, v. 75, n. 6, p. 1062-1071, 2002.
- CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, v. 302, p. 1-17, 2008.
- CARMONA, V. M. V.; CECÍLIO FILHO, A. B.; ALMEIDA, H. J.; SILVA, G. C.; REIS, A. R. Agronomic biofortification of beet plants with zinc via seed priming. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 1, p. 116-123, 2020.
- CRUZ, F. B. F.; SOARES, H. F. Uma revisão sobre o zinco. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande v. 15, n. 1, p. 207-222, 2011.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R.; CARMELLO, Q. A. C.; SANTOS, L. A.; SPERANDIO, M. V. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A (org.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2018. p. 492-538.
- DENRE, M.; BHATTACHARYA, A.; PAL, S.; CHAKRAVARTY, A.; CHATTOPADHYAY, A.; MAZUMDAR, D. Effect of Foliar Application of Micronutrients on Antioxidants and Pungency in Onion. **Notulae Scientia Biologicae**, Índia, v. 8, n.1, p. 373-379, 2016.

EL-TOHAMY, W.A.; KHALID, A. K.; EL-ABAGY, H. M.; ABOU-HUSSEIN, S. D. Essential oil, growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) in response to application of some micronutrients. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Austrália, v. 3, n. 1, p. 201-205, 2009.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. Disponível em: <[www.fao.org/faostat/en/#compare](http://www.fao.org/faostat/en/#compare)>. Acesso em: 10 jun. 2020.

FERREIRA, M. D.; MINAMI, K. Qualidade de bulbos de cebola em consequência de tratamentos pré-colheita. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 693-701, 2000.

GONÇALVES, F. C.; GRANGEIRO, L. C.; SOUSA, V. F. L.; SANTOS, J. P.; SOUZA, F. I.; SILVA, L. R. R. Yield and quality of densely cultivated onion cultivars as function of nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 11, p. 847-851, 2019a.

GONÇALVES, F. C.; GRANGEIRO, L. C.; SOUSA, V. F. L.; JESUS, P. M. M.; SILVA, G. A. Agronomic and qualitative performance of densely cultivated onion cultivars as affected by potassium fertilization. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 4, p.889-896, 2019b.

GOYAL, R.; UIKE, V.; VERMA, H. Effect of foliar application of micronutrients on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) c.v. Agri found dark red. **Agricultural Science Digest**, Índia, v. 37, n. 2, 2017 p. 160-162, 2017.

GUPTA, U. C.; KENING, W.; SIYUAN, L. Micronutrients in Soils, Crops, and Livestock. **Earth Science Frontiers**, v. 15, n. 5, p. 110-125, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agro Produção 2017. Disponível em: <[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.html](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html)>. Acesso em: 10 jan. 2020.

KIM, J.; CHA, Y. J.; LEE, K. H.; PARK, E. Effect of onion peel extract supplementation on the lipid profile and antioxidative status of healthy young women: a randomized, placebo-controlled, double-blind, crossover trial. **Nutrition Research and Practice**, Korea, n. 7, v. 5, p. 373-379, 2013.

KURTZ, C.; ERNANI, P. R. Produtividade de cebola influenciada pela aplicação de micronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 133-142, 2010.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. **Micronutrients in plant physiology**: functions, uptake and mobility. Reino Unido: The International Fertilizer Society, 2007.

LANZOTTI, V. The analysis of onion and garlic. **Journal of chromatography A**, v. 3, n. 22, p. 3-22, 2006.

LEVENSON, C. W.; MORRIS, D. Zinc and neurogenesis: making new neurons from nevelopment to adulthood. **American Society of Nutrition**, Bethesda, v. 2, n. 2, p. 96-100, 2011.

LIMA, F. S.; NASCIMENTO, W. A.; SOUSA, C. S. Zinc fertilization as an alternative to increase the concentration of micronutrients in edible parts of vegetables. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 10, n. 3, p. 403-408, 2015.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. Importância do zinco na nutrição humana: Revisão. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 79-87, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira Para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989.

MŁYNIĘC, K.; GAWEŁ, M.; DOBOSZEWSKA, U.; STAROWICZ, G.; PYTKA, K.; DAVIES, C. L.; BUDZISZEWSKA, B. Essential elements in depression and anxiety. Part II. **Pharmacological Reports**, v. 67, n. 2, p. 187-194, 2015.

MOGAŞANU, G. D.; BITA, A.; BEJENARU, L. E.; BEJENARI, C.; CROITORU, O.; RĂU, G.; ROGOVEANU, O. C.; FLORESCU, D. N.; NEAMŢU, J.; SCOREI, I. D.; SCOREI, R. I. Calcium fructoborate for bone and cardiovascular health. **Biol. Trace Elem. Res.**, v. 172, p. 277–281, 2016.

NIELSEN, F. H.; MEACHAM, S. L. Growing Evidence for Human Health Benefits of Boron. **Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine**, v. 16, n. 3, p. 169-180, 2011.

NIELSEN, F. H. Update on human health effects of boron, *Journal*. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 28, p. 383–387, 2014.

NIELSEN, F. H.; ECKHERT, C. D. Boron. **Adv. Nutr.**, v.11, p. 461-462, 2020.

ONU - Organização Nacional das Nações Unidas, 2019. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2020/07/1719961>>. Acesso em: 16 jul. 2020.

RESENDE, G. M.; ASSIS, R. P.; SOUZA, R. J.; ARAÚJO, J. C. Importância econômica. In: SOUZA, R. J.; ASSIS, R. P.; ARAÚJO, J. C (org.). **Cultura da cebola: tecnologias de produção e comercialização**. Lavras: Ed. UFLA, 2015. p. 21-29.

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

SALLES, B. S.; RODRIGUES, B. L.; COELHO, S. C. A importância do zinco na desnutrição humana e seus benefícios na infância. **Rev Bras Nutr Clin**, Porto Alegre, v. 28, n. 3, p. 245-250, 2013.

SALTZMAN, A.; BIROL, E.; BOUIS, H. E.; BOY, E.; MOURA, F. F.; ISLAM, Y.; PFEIFFER, W. H. Biofortification: Progress toward a more nourishing future. **Global Food Security**, v. 2, n. 1, p. 9-17, 2013.

SILVA, L. R. R. **Desempenho agrônômico de cebola em função da adubação fosfatada**. 2018. 70 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

TASIĆ, N. M.; TASIĆ, D.; OTAŠEVIĆ, P.; VESELINOVIĆ, M.; JAKOVLJEVIĆ, V.; DJURIĆ, D.; RADAK, D. Copper and zinc concentrations in atherosclerotic plaque and serum in relation to lipid metabolism in patients with carotid atherosclerosis. **Vojnosanitetski Pregled**, v.72, n. 9, p. 801-806, 2015.

TRANI, P. E.; BREDAJÚNIOR, L. M.; FACTOR, T. L. Calagem e adubação da cebola (*Allium cepa* L.). **Instituto Agrônômico de Campinas**, São Paulo, p. 1-35, 2014.

TURECK, C.; LOCATELI, G.; CORRÊA, V. G.; KOEHNLEIN, E. A. Avaliação da ingestão de nutrientes antioxidantes pela população brasileira e sua relação com o estado nutricional. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 30-42, 2017.

VEER, I.; DAS, M. P.; VIJAYVERGIYA, D.; GHADAY, P.; UIKEY, S.; RAMGIRY, P.; PRADHAN, J.; PARMAR, U.; ALI, S. A. Effect of zinc, boron and copper on growth characters of onion (*Allium cepa* L.). **International Journal of Chemical Studies**, Índia, v. 6, n. 5, p. 3384-3387, 2018.

## CAPÍTULO I

### CRESCIMENTO, ACÚMULO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DE CEBOLA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES

**RESUMO:** Os micronutrientes constituem estruturalmente diversas enzimas e atuam como cofatores de proteínas importantes para manter o funcionamento celular, com isso contribuem com o crescimento e aumento da produtividade das culturas. Objetivou-se avaliar o teor foliar, o crescimento, o acúmulo de micronutrientes, a classificação e a produtividade de cebola em função da adubação com boro (B), cobre (Cu) e zinco (Zn). Os experimentos foram realizados nos períodos de junho a novembro de 2018 (Experimento 1) e junho a novembro de 2019 (Experimento 2). O delineamento experimental foi em blocos casualizados completos com 15 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas doses de B, Cu e Zn isoladas e combinadas. Foram avaliados: teores de B, Cu e Zn na folha diagnose, crescimento, acúmulo de B, Cu e Zn na folha, bulbo e total, classificação e produtividade comercial, não comercial e total. A aplicação de B, Cu e Zn não influenciou o número de folhas, relação de formato de bulbo, massa seca de folha, bulbo, total e produtividade da cebola. A aplicação de B, Cu e Zn nas doses de 1-2-1 kg ha<sup>-1</sup> favoreceu maior acúmulo de micronutrientes na cebola. A diferença de pH do solo entre os experimentos interferiu na absorção de B, Cu e Zn, e, consequentemente, na resposta da cultura à adubação.

**Palavras-chave:** *Allium cepa* L., nutrição de plantas, diagnose foliar.

## CHAPTER I

### **GROWTH, ACCUMULATION OF NUTRIENTS AND ONION PRODUCTIVITY AS A FUNCTION WITH MICRONUTRIENT FERTILIZATION**

**ABSTRACT:** Micronutrients structurally constitute several enzymes and act as a cofactor of important proteins to maintain cell function, thereby contributing to the growth and increase of crop productivity. The objective was to evaluate the leaf content, growth, accumulation of micronutrients, classification and productivity of onion as a function of fertilization with boron (B), copper (Cu) and zinc (Zn). The experiments were carried out from June to November 2018 (Experiment 1) and June to November 2019 (Experiment 2). The experimental design was in randomized blocks complete with 15 treatments and four replications. The treatments consisted of the doses of B, Cu and Zn isolated and combined. Contents of B, Cu and Zn in the leaf diagnosis, growth, accumulation of B, Cu and Zn in the leaf, bulb and total, classification and commercial, non-commercial and total productivity were evaluated. The application of B, Cu and Zn did not influence the number of leaves, bulb shape ratio, dry leaf mass, bulb, total and onion yield. The application of B, Cu and Zn at doses of 1-2-1 kg ha<sup>-1</sup> favored greater accumulation of micronutrients in the onion. The difference in soil pH between the experiments interfered in the absorption of B, Cu and Zn, and consequently in the crop response to fertilization.

**Keywords:** *Allium cepa* L., plant nutrition, leaf diagnostic.

## 1 INTRODUÇÃO

Os micronutrientes desempenham papel ativo no processo metabólico de diversas reações enzimáticas que controlam vias biossintéticas nas plantas, além de comporem a estrutura de carboidratos e açúcares-P, atuam na divisão celular, no aumento da atividade enzimática, interferindo no metabolismo de carboidratos e proteínas, nos processos de absorção iônica, síntese de lignina e celulose, fotossíntese, respiração, regulação hormonal e metabólitos secundários (MALAVOLTA et al., 1989; ACHARYA et al., 2015; TRIVEDI; DHUMAL, 2017), interferindo no crescimento e na produtividade das culturas.

A resposta da cultura da cebola à adição de micronutrientes depende da disponibilidade dos micronutrientes no solo, pH, teor de matéria orgânica, material de origem e interação com outros elementos químicos. A aplicação de Zn, Mn, B, Cu e Fe tem proporcionado aumento da concentração dos nutrientes nas folhas, desencadeando ativação enzimática, aumento no metabolismo de carboidratos, no diâmetro, peso e produtividade comercial e total de bulbos (EL-TOHAMY et al., 2009; ALMENDROS et al., 2015; ACHARYA, et al., 2015; ASKE et al., 2017).

Avaliando a aplicação foliar de micronutrientes em cebola em solo arenoso no Egito, El-Tohamy et al. (2009) observaram que a aplicação de Zn na concentração de  $0,3 \text{ g L}^{-1}$  aumentou altura de plantas, número de folhas e a produtividade em 60 e 43% nas duas safras estudadas. Em solo alcalino deficiente em Zn e B, Acharya et al. (2015) estudaram aplicação via solo e foliar de Zn e B em cebola, na Índia, observando aumento no diâmetro de bulbos com aplicação de  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de bórax e aumento de 60% na produtividade com pulverização foliar de sulfato de zinco a 0,5%, em relação à testemunha.

Ainda na Índia, Babaleshwar et al. (2017) observaram aumento na produtividade comercial,  $30,35 \text{ t ha}^{-1}$ , e total,  $36,04 \text{ t ha}^{-1}$ , com aplicação no solo de  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn. Em estudo realizado em Santa Catarina, Kurtz; Ernani (2010) verificaram que a aplicação via solo estimada de 2,7 e  $4,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn em cebola produziu 22,3 e  $35,6 \text{ t ha}^{-1}$  em relação à testemunha, em duas safras. Os autores não observaram aumento da produtividade com aplicação de B e Mn.

Percebe-se que a literatura dispõe de poucos estudos aplicando B, Cu e Zn via solo. No Brasil, há poucos estudos com micronutrientes em cebola, predominando nas regiões Sul e Sudeste. Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar o teor foliar, o crescimento, o acúmulo de micronutrientes, a classificação e a produtividade da cebola em função da adubação com B, Cu e Zn.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e características da área experimental

Os experimentos foram realizados nos períodos de junho a novembro de 2018 (Experimento 1) e junho a novembro de 2019 (Experimento 2), na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada no distrito de Alagoinha, zona rural do município de Mossoró-RN (latitude de 5°3'37"S, 37°23'50"W e altitude de 72 metros), em solo classificado como Argissolo (EMBRAPA et al., 2018).

A classificação climática da região, segundo Thornthwaite (1948), é semiárido, megatérmico com déficit hídrico durante o ano. A precipitação média anual é de 674 mm, dos quais cerca de 550 mm ocorrem entre fevereiro e maio. A umidade relativa média anual é de 68,9%, enquanto a temperatura média anual é de 27,7 °C (VANOMARK et al., 2018). Foram coletadas amostras de solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade para a realização da análise química e física, e os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 2. Caracterização química e física do solo da área experimental, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, Mossoró, RN, 2020.

Atributos Químicos													
	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	M.O	B	Cu	Zn
Experimento	H <sub>2</sub> O	--mg dm <sup>-3</sup> --		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					%	g kg <sup>-1</sup>	-----mg dm <sup>-3</sup> -----		
1 (2018)	4,80	5,00	29,64	0,41	0,13	1,57	0,63	2,2	29	5,59	0,18	0,20	0,70
2 (2019)	6,30	3,20	51,00	0,55	0,25	0,33	0,97	1,30	75	4,14	0,19	0,10	0,50
Atributos Físicos													
Experimento	AG		AF		Areia total		Silte		Argila				
	-----g kg <sup>-1</sup> -----												
1 (2018)	618,00		288,00		906,00		24,00		70,00				
2 (2019)	620,00		280,00		900,00		30,00		70,00				

H+Al: Acidez potencial; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases; M.O.: Matéria orgânica; AG: Areia grossa; AF: Areia fina.

Os teores de B, Cu e Zn são considerados baixos, de acordo com Rajj et al. (1997). O solo é classificado como muito-arenoso, segundo a EMBRAPA et al. (2018). Os dados de temperatura e umidade relativa do ar durante a condução dos experimentos encontram-se na Figura 1.

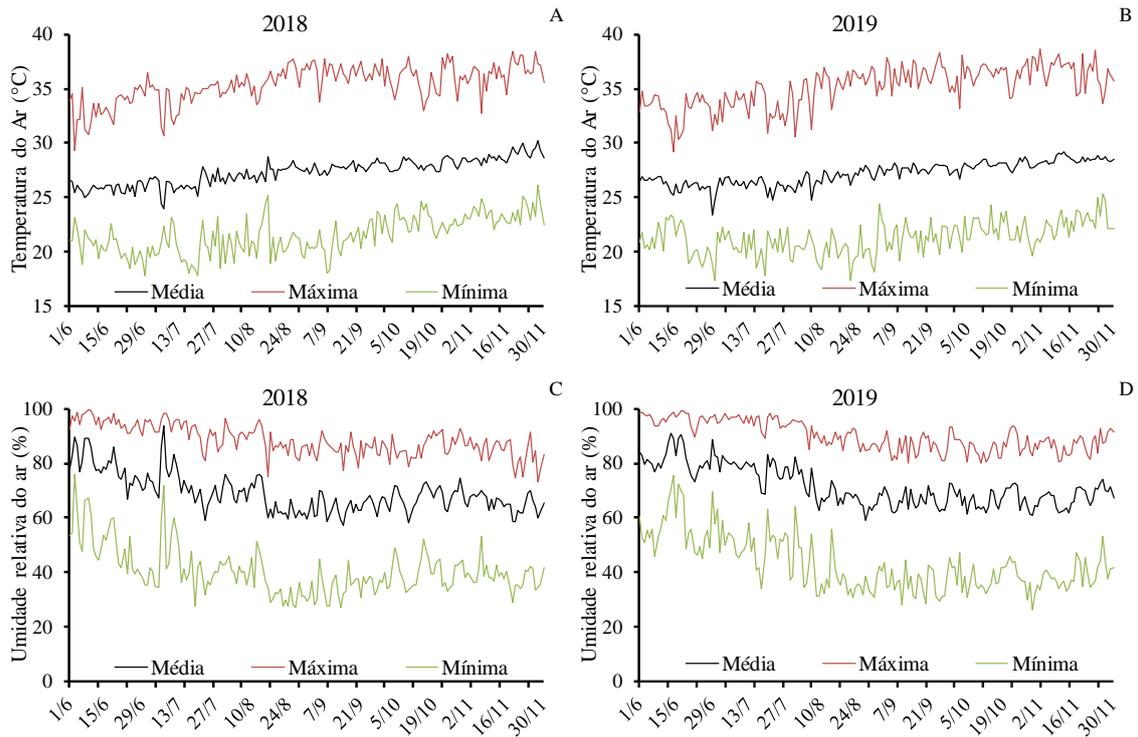


Figura 1. Temperatura (A, B) e umidade relativa do ar (C, D), no período de condução dos experimentos 1 (2018) e 2 (2019), no município de Mossoró, RN, 2020.

## 2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados completos com 15 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela aplicação isolada e/ou combinada dos micronutrientes B, Cu e Zn (Tabela 2). Cada parcela foi constituída por 3,5 m de canteiro com 1,0 m de largura, contendo oito fileiras de plantas no espaçamento de 0,10 x 0,06 m. Considerou-se como área útil as seis fileiras centrais de plantas do canteiro, desprezando-se duas plantas de cada extremidade das fileiras.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos. Mossoró-RN, UFRSA 2020.

Tratamentos	Micronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Boro	Cobre	Zinco
1	0	0	0
2	1	0	0
3	2	0	0
4	0	2	0
5	0	4	0
6	0	0	1
7	0	0	2
8	1	2	1
9	1	2	2
10	2	2	1
11	2	2	2
12	1	4	1
13	1	4	2
14	2	4	1
15	2	4	2

### 2.3 Implantação e condução dos experimentos

O preparo do solo constou de aração, gradagem e confecção dos canteiros. A adubação de plantio foi realizada com base na análise do solo, utilizando-se 210 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (SILVA, 2018), nos experimentos 1 e 2, na forma de superfosfato simples.

A semeadura foi realizada manualmente, colocando-se 2 a 3 sementes por cova de 2,0 cm de profundidade, espaçadas de 0,10 x 0,06 m. O desbaste foi realizado 20 dias após a semeadura (DAS), deixando uma planta por cova. A cultivar utilizada foi o híbrido Rio das Antas.

O sistema de irrigação utilizado foi por microaspersão até os 22 DAS, e no restante do ciclo, o gotejamento, com quatro mangueiras por canteiro, espaçadas em 0,20 m, com gotejadores do tipo autocompensante e vazão média de 1,5 L h<sup>-1</sup>, distanciados de 0,30 m entre si. As irrigações foram realizadas diariamente e as lâminas foram determinadas com base na evapotranspiração da cultura (ALLEN et al., 2006), aplicando-se uma lâmina total de 904,51 mm ha<sup>-1</sup> e 1102,62 mm ha<sup>-1</sup> nos experimentos 1 e 2, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Manejo da irrigação na área experimental. Mossoró-RN. UFERSA, 2020.

Experimento 2018				
Estádio	Kc aj	ETo (mm)	Período	Volume de Irrigação (mm/ha)
Inicial (1)	1,10	4,45	14/06 a 03/07	97,63
Vegetativo (2)	0,94	4,92	04/07 a 02/08	138,01
Bulbificação (3)	1,80	5,94	03/08 a 11/09	426,79
Maturação (4)	1,43	6,97	12/09 a 08/10	242,08
Total				904,51
Experimento 2019				
Inicial (1)	1,61	4,27	12/06 a 01/07	137,79
Vegetativo (2)	1,47	4,51	02/07 a 31/07	198,71
Bulbificação (3)	1,98	5,37	01/08 a 09/09	424,50
Maturação (4)	1,30	6,12	10/09 a 22/10	341,62
Total				1102,62

A água utilizada na irrigação foi oriunda de um poço tubular profundo, do aquífero arenito Açú, apresentando as seguintes características: pH 7,1; CE = 0,61 dS m<sup>-1</sup>; 0,65; 1,73; 2,50; 1,90; 1,60; 0,0; e 4,00 mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup> de K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e RAS de 1,2 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

As adubações de cobertura foram realizadas semanalmente via fertirrigação, iniciando aos 22 DAS e finalizando aos 84 DAS. No experimento 1, foram aplicados 99,04 kg ha<sup>-1</sup> de N; 40,51 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 213,94 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 13,77 de kg ha<sup>-1</sup> de Mg e 47,5 kg ha<sup>-1</sup> de Ca. No experimento 2, foram aplicados 86,53 kg ha<sup>-1</sup> de N; 40,51 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 213,94 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 13,77 de kg ha<sup>-1</sup> de Mg e 47,5 kg ha<sup>-1</sup> de Ca. As doses de N e K foram estabelecidas de acordo com a recomendação para a cultura, segundo Gonçalves et al. (2019a; 2019b).

As fontes dos adubos utilizadas foram MAP purificado, ureia, nitrato de potássio, nitrato de cálcio, cloreto de potássio e sulfato de magnésio. As doses de B, Cu e Zn foram propostas com base na análise de solo e recomendação de adubação para cultura da cebola, segundo Trani et al. (2014). Como fontes de micronutrientes, foram usados ácido bórico; sulfato de cobre e sulfato de zinco.

Durante a condução dos experimentos, foram realizadas capinas manuais e controle fitossanitário de acordo com a necessidade da cultura. A irrigação foi suspensa aos 114 (Experimento 1) e 130 DAS (Experimento 2), quando 70% das plantas se encontravam tombadas, e iniciou-se o processo de cura. Após 26 e 10 dias da suspensão da irrigação, respectivamente, no experimento 1 e 2, os bulbos foram colhidos e limpos.

## 2.4 Variáveis Analisadas

### 2.4.1 Teor de B, Cu e Zn na folha diagnose do estado nutricional

Realizou-se a coleta da folha mais alta de 20 plantas da área útil da parcela, aos 60 DAS (MALAVOLTA et al., 1989). As folhas foram lavadas em água corrente e destilada, em seguida secas em estufa com ventilação forçada a 65 °C, até atingir massa constante. Após a secagem, as amostras foram moídas e foi realizada digestão úmida em forno de micro-ondas (EMBRAPA, 2009). O teor de B foi determinado por espectrofotometria com Azometina-H. O Cu e Zn por espectrofotometria de absorção atômica de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (2009).

### 2.4.2 Crescimento

As análises de crescimento foram realizadas em oito plantas na área útil da parcela aos 120 dias após a semeadura.

**Altura da planta (cm):** Determinada com auxílio de régua, medindo-se a partir do pseudocaule até a folha mais alta das plantas.

**Número de folhas por planta:** foram contadas todas as folhas completamente expandidas.

**Relação formato de bulbo:** obtida pelo cálculo da relação entre o diâmetro longitudinal e o diâmetro transversal do bulbo.

**Massa seca de folha, bulbo e total (g planta<sup>-1</sup>):** Por ocasião da colheita, foram coletadas oito plantas da área útil da parcela, separadas em folha e bulbo e lavados. As folhas foram acondicionadas em saco de papel e os bulbos em bandeja de alumínio, e colocadas em estufa de circulação de ar forçada, com temperatura regulada a 65 °C, até atingir massa constante. A massa seca total da planta foi calculada pela soma das massas secas de folha e bulbo.

**2.4.3 Acúmulo de B, Cu e Zn na folha, bulbo e total:** Foram coletadas oito plantas na área útil da parcela, aos 140 DAS. As plantas foram separadas em folhas e bulbo, lavadas e acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação de ar forçada, com temperatura regulada a 65 °C, até atingir massa constante. Após a secagem, procedeu-se à moagem do material em moinho de aço inoxidável tipo Willey, com peneira de malha 1 mm. As análises químicas para a determinação dos teores de micronutrientes presentes em cada fração da planta (folha e bulbo) foram realizadas nos extratos obtidos pela digestão úmida em

forno micro-ondas (EMBRAPA, 2009). O boro foi determinado por espectrofotometria com Azometina-H, o cobre e o zinco por espectrofotometria de absorção atômica de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (2009). Os resultados das análises forneceram os teores dos micronutrientes, e para se determinar a quantidade destes acumulados em cada fração da planta foi multiplicado o teor do micronutriente pela massa seca da referida fração. Os acúmulos totais de cada micronutriente foram calculados somando-se os acúmulos na folha e bulbo, os resultados foram expressos em  $\text{mg planta}^{-1}$ .

**2.4.4 Classificação de bulbos (%):** A classificação foi realizada em função do diâmetro transversal, de acordo com as normas do Ministério da Agricultura e do Abastecimento (BRASIL, 1995) em: Classe 1: Bulbos com diâmetro  $< 35$  mm e bulbos duplos; Classe 2: Bulbos com diâmetro 35-50 mm; Classe 3: Bulbos com diâmetro 50-75 mm e Classe 4: Bulbos com diâmetro 75-90 mm. As quantidades de bulbos em cada classe foram expressas em porcentagem do total de bulbos obtidos em cada unidade experimental.

**2.4.5 Produtividade de bulbos comerciais, não comerciais e total ( $\text{t ha}^{-1}$ ):** através do peso total de bulbos com diâmetro  $> 35$  mm. Não comerciais corresponderam aos bulbos com diâmetro  $< 35$  mm (classe 1) e bulbos duplos e produtividade total à soma de comerciais e não comerciais.

## 2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F individualmente para cada experimento e, posteriormente, foi realizada análise conjunta. Quando houve efeito significativo para os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade erro, e para os experimentos as médias foram comparadas pelo teste de t a 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o *software* SISVAR v5.3 (FERREIRA, 2011).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Teor de B, Cu e Zn na folha diagnose e Crescimento

Houve efeito significativo da interação tratamentos e experimentos, para as características teor de B, Cu e Zn na folha diagnose do estado nutricional e altura de plantas. Houve efeito isolado para experimento nas variáveis número de folhas, relação de formato de bulbo e massa seca de folhas, bulbo e total (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para teores de boro (TB), cobre (TCu), zinco (TZn) na folha diagnóstica, altura de planta (AP), número de folha por planta (NF), relação de formato de bulbo (RF), massa seca de folha (MSF), massa seca de bulbo (MSB) e massa seca total (MST) de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.

FV	Quadrado Médio			
	GL	TB	TCu	TZn
Bloco (Experimento)	6	19,38 <sup>ns</sup>	2,53 <sup>ns</sup>	23,71 <sup>ns</sup>
Experimento (E)	1	991,88 <sup>**</sup>	594,08 <sup>**</sup>	2150,53 <sup>**</sup>
Tratamento (T)	14	748,01 <sup>**</sup>	12,90 <sup>**</sup>	19,96 <sup>*</sup>
T x E	14	1954,89 <sup>**</sup>	8,31 <sup>**</sup>	24,10 <sup>**</sup>
Erro	84	72,01	0,85	9,13
CV (%)		13,35	16,66	11,39

Continuação

FV	GL	Quadrado médio					
		AP	NF	RF	MSF	MSB	MST
Bloco(Experimento)	6	17,360 <sup>ns</sup>	0,644 <sup>ns</sup>	0,009 <sup>*</sup>	0,156 <sup>ns</sup>	0,601 <sup>ns</sup>	0,900 <sup>ns</sup>
Experimento (E)	1	63,817 <sup>**</sup>	2,809 <sup>*</sup>	0,234 <sup>**</sup>	30,070 <sup>**</sup>	34,726 <sup>**</sup>	129,42 <sup>**</sup>
Tratamentos (T)	14	31,501 <sup>**</sup>	0,709 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,119 <sup>ns</sup>	4,536 <sup>ns</sup>	4,780 <sup>ns</sup>
E x T	14	34,191 <sup>**</sup>	0,385 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,063 <sup>ns</sup>	3,523 <sup>ns</sup>	4,060 <sup>ns</sup>
Erro	84	8,817	0,482	0,004	0,070	2,498	2,901
CV (%)		5,41	8,69	6,10	12,36	12,65	11,63

ns: não significativo; \*, \*\*: Significativo a  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,05$  pelo teste F, respectivamente.

Os TB, no experimento 1 variaram de 30,5 a 115,5 mg kg<sup>-1</sup>, sendo que os maiores valores estão associados à aplicação de 1 e 2 kg ha<sup>-1</sup> de B. No experimento 2, os teores variaram de 48,50 a 83,50 mg kg<sup>-1</sup> de B, e os maiores teores estão relacionados à aplicação de T9, T4, T12 e T13 (Tabela 5).

Tabela 5. Teores de B, Cu e Zn na folha diagnóstica de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.

Tratamentos	B (mg kg <sup>-1</sup> )		Cu (mg kg <sup>-1</sup> )		Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	
	Experimentos					
	1	2	1	2	1	2
1	40,50 dB	66,00 bA	4,50 dA	2,25 cB	30,00 cA	21,00 bB
2	106,50 aA	53,25 cB	5,25 dA	1,75 cB	28,75 cA	21,50 bB
3	115,75 aA	48,50 cB	6,00 cA	1,25 cB	30,25 cA	19,75 bB
4	66,75 bB	81,00 aA	8,25 bA	5,75 aB	31,50 bA	21,25 bB
5	52,50 cA	61,75 cA	7,25 cA	6,00 aA	25,25 cA	23,75 aA
6	65,25 bA	53,25 cB	6,75 cA	5,00 aB	32,00 aA	25,75 aB
7	54,50 cA	66,00 bA	9,00 bA	4,75 aB	31,50 aA	24,50 aB
8	42,00 dB	66,25 bA	8,25 bA	2,75 bB	31,50 aA	26,00 aB
9	30,50 dB	83,50 aA	7,00 cA	3,00 bB	28,00 cA	22,50 bB
10	55,75 cA	66,50 bA	8,00 bA	2,50 bB	29,75 cA	22,00 bB
11	58,25 cA	52,25 cA	7,00 cA	3,00 bB	37,00 aA	19,75 bB
12	51,50 cB	79,50 aA	10,75 aA	3,50 bB	33,00 aA	22,25 bB
13	69,75 bA	78,75 aA	9,50 aA	3,75 bB	30,00 cA	20,50 bB
14	64,00 bA	68,50 bA	9,25 aA	3,25 bB	30,00 cA	20,25 bB
15	37,00 dB	72,75 bA	9,75 aA	1,25 cB	32,75 aA	23,50 aB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna pertencem ao mesmo grupo, e letras maiúsculas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

Todos os tratamentos dos experimentos 1 (30,50 a 115,75 mg kg<sup>-1</sup>) e 2 (52,25 a 83,50 mg kg<sup>-1</sup>), apresentaram teores de B dentro ou acima da faixa considerada adequada (30 a 50 mg kg<sup>-1</sup>), segundo Trani et al. (2014), no entanto não foi verificado sintomas de toxicidade em nenhum dos tratamentos.

Esses resultados revelam que, nas condições em que foram desenvolvidos esses experimentos, a absorção do B em solo com pH ácido independe da relação desse com os teores de Cu e Zn no solo. Entretanto, em solo com pH superior a 6,0 a relação do B com esses nutrientes pode influenciar na sua disponibilidade e, conseqüentemente, na sua absorção pelas plantas.

O B pode ser encontrado no solo como ácido bórico ou borato, e o equilíbrio entre essas duas formas depende do pH do solo. Em pH ácido, predomina o ácido bórico, forma na qual o B pode ser absorvido pela planta por difusão passiva, além de ficar menos propenso à adsorção pela matéria orgânica, óxidos e minerais argilosos (BARKER; PILBEN, 2015), o que explica os maiores teores de boro no experimento 1.

No entanto, para algumas culturas, como é o caso da cebola, que utilizam polióis como metabólitos fotossintéticos primários (BROWN; SHELPS, 1997; BRDAR-JOKANOVIĆ, 2020), sob suprimento limitado de B, predomina absorção ativa, razão pela qual não se observa

nenhum gradiente de concentração acentuado nas folhas (REID; HAYES, 2003; BRDARJOKANOVIĆ, 2020), explicando, assim, a diferença entre os teores nos experimentos 1 e 2.

Shaaban et al. (2004) avaliaram a relação entre Zn e B no desenvolvimento do trigo, sob níveis baixos e alto de carbonato de cálcio no solo, constatando que a aplicação da dose adequada da combinação desses dois nutrientes resultou na concentração ideal de ambos nos tecidos da parte aérea. Ainda segundo esses mesmos autores, isso se deve à essencialidade do B e do Zn na atividade da ATPase na membrana plasmática e do papel do B na estabilidade dessa membrana.

Os teores de Cu no experimento 1 variaram de 4,50 a 10,75 mg kg<sup>-1</sup>, sendo que os maiores valores estão associados à aplicação de 4 kg ha<sup>-1</sup> de Cu, combinado com B e Zn. No experimento 2, os teores variaram de 1,25 a 6,00 mg kg<sup>-1</sup>; maiores teores estão relacionados à aplicação isolada de 2 e 4 ha<sup>-1</sup> de Cu (Tabela 5).

A concentração do Cu considerada adequada para cebola varia de 10 a 30 mg kg<sup>-1</sup> (TRANI et al., 2014). Os teores encontrados estão abaixo do recomendado para cultura, exceto o T12 (10,75 mg kg<sup>-1</sup>), no experimento 1. Baixo teor de Cu pode estar relacionado à forma de aplicação, velocidade de absorção pelas plantas, competitividade com Zn e pH do solo (MALAVOLTA et al., 1989; BARKER; PILBEAM, 2015).

O teor de Cu no solo é baixo nos dois experimentos ao comparar com a literatura, no entanto no experimento 2 é mais baixo do que no experimento 1 (Tabela 1). Com isso, além dos fatores já citados, a dose aplicada pode não ter sido suficiente para proporcionar teor de Cu necessário, o que resultou em teores abaixo do recomendado para cultura, principalmente no experimento 2. No entanto, não foram observados sintomas de deficiência de Cu nas plantas de nenhum dos experimentos.

Os teores de Zn, no experimento 1, variaram de 25,25 a 37,00 mg kg<sup>-1</sup>, estando os maiores valores associados à aplicação do tratamento 11. No experimento 2, os teores variaram de 19,75 a 26,00 mg kg<sup>-1</sup>, e os maiores teores estão relacionados à aplicação do tratamento 8 em relação à testemunha (T1). Os teores de Zn considerados adequados de acordo com Trani et al. (2014), para cebola, variam de 30 a 100 mg kg<sup>-1</sup>. Os teores encontrados estão adequados no experimento 1, exceto nos tratamentos 2, 5, 9 e 10. No experimento 2, os teores estão abaixo do relatado como ideal para cultura. Assim como para o Cu, também não foi verificado sintoma de deficiência de Zn.

Os resultados deste estudo diferem dos encontrados por Kurtz; Ernani (2010), que, estudando a aplicação de Zn via foliar e solo, não observaram aumento dos teores de Zn na

folha (os teores variaram de 14,1 a 15,1 mg kg<sup>-1</sup>). Os autores verificaram diferença entre as formas de aplicação e afirmam que aplicação via solo é mais eficaz em relação do que aplicação via foliar.

Para altura das plantas de cebola, houve aumento de crescimento das plantas com aplicação de B, Cu e Zn em relação à testemunha no experimento 1; as aplicações isoladas de 2 kg ha<sup>-1</sup> de Cu e 1 kg ha<sup>-1</sup> de Zn contribuíram para maior altura de plantas 60,36 e 60,73 cm, seguido dos tratamentos 8, 10, 14 e 15, os valores variaram de 57,19 a 59,00 cm (Tabela 5). No experimento 2, houve formação de dois grupos de médias, com altura de plantas variando de 50,56 a 58,09 cm (Tabela 6). Resultados do experimento 1 foram semelhantes aos obtidos por Abedin et al. (2012), que observaram altura da planta de 61,30 cm com aplicação combinada de 3 kg ha<sup>-1</sup> de Zn + B.

Tabela 6. Altura da planta de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn em duas épocas de cultivo (experimentos).

Tratamentos	Altura de plantas (cm)	
	Experimento 1	Experimento 2
1	49,48 cB	58,09 aA
2	55,36 bA	51,89 bA
3	53,60 bA	55,37 aA
4	60,36 aA	53,63 bB
5	55,20 bA	55,18 aA
6	60,73 aA	53,82 bB
7	53,14 bA	51,41 bA
8	57,19 aA	53,67 bA
9	49,95 cA	50,56 bA
10	59,00 aA	55,43 aA
11	54,85 bA	55,37 aA
12	54,47 bA	55,73 aA
13	55,55 bA	51,94 bA
14	57,55 aA	56,60 aA
15	58,09 aA	52,91 bB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Skott-Knott ( $p > 0,05$ ).

Manna; Maity (2016), que observaram maior altura de plantas 63,93 e 67,25 cm, com aplicação foliar de B e Zn a 0,5%, atribuem maior crescimento das plantas ao efeito benéfico da aplicação desses micronutrientes, devido ao papel envolvido em processos fisiológicos e funções celulares. Nesse sentido, estes contribuem com o aumento da atividade fotossintética, formação de clorofila, metabolismo de nitrogênio e conteúdo de auxina nas plantas, influenciando maior altura da planta (VEER et al., 2018).

As variações do número de folhas (NF) entre os tratamentos foram pequenas, sendo que

o grupo de maiores médias formado pelos tratamentos com aplicação isolada de B e Zn e dos tratamentos 9, 10, 14 e 15. O NF variou de 8,03 a 8,43 (Tabela 7). Para as variáveis RF, MSF, MSB e MST, houve efeito isolado para experimentos, observando-se que, com exceção da relação de formato de bulbo (RF), as maiores médias foram obtidas no experimento 1. Os valores médios para MSF, MSB e MST foram de 2,65; 13,03 e 15,68 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

Tabela 7. Número de folhas (NF), relação de formato de bulbo (RF), massa seca de folha (MSF), de bulbo (MSB) e total (MST) de cebola, em função da aplicação de micronutrientes B, Cu e Zn.

Tratamentos	NF	RF	MSF	MSB	MST
			g planta <sup>-1</sup>		
1	7,65 b	1,05	2,15	13,10	15,26
2	8,13 a	1,09	2,00	12,54	14,51
3	8,43 a	1,02	2,14	12,90	15,04
4	7,81 b	1,03	2,03	12,08	14,11
5	7,67 b	1,05	2,08	10,54	12,62
6	8,39 a	1,07	2,14	13,13	15,26
7	8,03 a	1,07	2,22	13,52	15,75
8	7,53 b	1,03	2,24	12,4	14,66
9	8,17 a	1,08	2,00	12,07	14,07
10	8,30 a	1,08	2,12	12,76	14,88
11	7,81 b	1,06	2,00	12,59	14,57
12	7,70 b	1,04	2,42	11,97	14,40
13	7,81 b	1,06	2,26	11,67	13,93
14	8,22 a	1,07	2,22	12,87	15,09
15	8,21 a	1,05	2,20	13,27	15,47
Média	7,99	1,06	2,15	12,49	14,64
Experimento					
1	8,14 a	1,01 b	2,65 a	13,03 a	15,68 a
2	7,83 b	1,10 a	1,65 b	11,96 b	13,60 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Skott-Knott ( $p > 0,05$ ).

Os resultados observados divergem de Backes et al. (2018), que obtiveram massa seca dos bulbos de 27,4 g planta<sup>-1</sup> e massa seca total de 31,7 g planta<sup>-1</sup> aos 140 dias após o transplântio. Os autores explicam que o acúmulo de massa seca é influenciado pela cultivar e método de implementação da cultura.

O maior resultado observado no experimento 1 pode ter sido influenciado pelas características do solo, apesar de nos dois experimentos os teores de B, Cu e Zn estarem baixos (RAIJ et al., 1997), apresentarem baixo teor de matéria orgânica (M.O) e se tratar de um solo de textura arenosa, o fator pH difere entre os experimentos, e essa diferença, aliada às outras condições, interfere na disponibilidade dos micronutrientes para as plantas.

A disponibilidade de B, Cu e Zn é reduzida em pH maior que 6,0 (MALAVOLTA et al., 1989; ZENG et al., 2011; NIAZ et al., 2016). Como é observado, o pH do solo no experimento 1 é mais ácido (4,8), ao passo que no experimento 2, mais básico (6,3), isso pode ter influenciado na disponibilidade de B, Cu e Zn na solução do solo e interferiu na resposta da cultura à adubação com micronutrientes, sendo observados menores AP, NF, MSF, MSB e MST no experimento 2. Gupta et al. (2008) e Maurya et al. (2018) afirmam que, à exceção do Mo, o aumento do pH do solo reduz a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas.

A deficiência de B é predominante em solos de textura arenosa (ALAM, 2007), baixo teor de matéria orgânica (NIAZ et al., 2016) e alta porcentagem de  $\text{CaCO}_3$  (DRIDI et al., 2018), e sua disponibilidade é reduzida com aumento do pH do solo (AHMAD et al., 2012; NIAZ et al., 2016; DRIDI et al., 2018), podendo ser ainda complexado com a matéria orgânica (DRIDI et al., 2018) adsorvido a argila (AHMAD et al., 2012) e precipitado com  $\text{CaCO}_3$  (NIAZ et al., 2016).

RASHID; RYAN (2004) explicam que solos que apresentam baixo teor de matéria orgânica, textura arenosa e pH maior que 6,0 são deficientes em Zn. Ao avaliar a influência do pH e da matéria orgânica na disponibilidade e absorção de Cr, Cu, Zn e Pb, Zeng et al. (2011) afirmam que o pH do solo tem maior efeito do que na matéria orgânica, sendo verificada menor concentração de minerais na palha de arroz com o aumento do pH do solo.

### 3.2 Acúmulo de B, Cu e Zn na folha, bulbo e total

A análise de variância revelou efeito significativo da interação entre os fatores, experimentos e tratamentos para as características acúmulo de B, Cu e Zn nas folhas, bulbo e total (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância para acúmulo de boro na folha, bulbo e total (ABF; ABB; ABT), acúmulo de cobre na folha, bulbo e total (ACuF; ACuB; ACuT) e acúmulo de zinco na folha, bulbo e total (AZnF; AZnB; AZnT) de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.

FV	GL	Quadrado médio					
		ABF	ABB	ABT	ACuF	ACuB	ACuT
Bloco(Experimento)	6	0,002 <sup>ns</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>ns</sup>	0,000 <sup>ns</sup>
Experimento (E)	1	0,014**	0,559**	0,752**	0,064**	0,070**	0,270**
Tratamentos (T)	14	0,006**	0,043**	0,058**	0,005**	0,002**	0,007**
E x T	14	0,003**	0,028**	0,036**	0,002**	0,003**	0,006**
Erro	84	0,001	0,003	0,005	0,00007	0,0002	0,0003
CV (%)		15,78	16,37	12,49	24,17	17,69	15,28

		AZnF	AZnB	AZnT
Bloco(Experimento)	6	0,0000 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>
Experimento (E)	1	0,0006**	0,827**	0,783**
Tratamentos (T)	14	0,0010**	0,028**	0,022**
E x T	14	0,0007**	0,016**	0,018**
Erro	84	0,00003	0,0023	0,0024
CV (%)		20,54	15,99	15,04

ns: não significativo; \*, \*\*: Significativo a  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,05$  pelo teste F, respectivamente.

O maior acúmulo de B na folha foi obtido com aplicação de T3, representando aumento de 31,08% em comparação à testemunha. No bulbo e total, maiores acúmulos foram obtidos com aplicação de T2, T4 e T8, com aumento no acúmulo de B de 16,25; 13,32 e 28,89%, e total de 15,04; 8,72 e 21,80% em relação à testemunha, no experimento 1 (Tabela 9).

Tabela 9. Acúmulo de boro na folha, bulbo e total de cebola, em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.

Tratamento	B (mg planta <sup>-1</sup> )					
	Experimento 1			Experimento 2		
	Folha	Bulbo	Total	Folha	Bulbo	Total
1	0,222bA	0,443bA	0,665bA	0,183aA	0,378aA	0,561aB
2	0,225bA	0,515aA	0,765aA	0,178aB	0,424aB	0,603aB
3	0,291aA	0,366cA	0,657bA	0,235aB	0,407aA	0,642aA
4	0,222bA	0,502aA	0,723aA	0,171aB	0,321aB	0,492aB
5	0,152cA	0,498aA	0,651bA	0,180aA	0,277bB	0,458bB
6	0,147cB	0,372cA	0,519cA	0,196aA	0,413aA	0,608aA
7	0,150cA	0,347cB	0,497cB	0,168aA	0,439aA	0,607aA
8	0,239bA	0,571aA	0,810aA	0,160aB	0,386aB	0,546aB
9	0,156cA	0,442bA	0,598cA	0,151aA	0,245bB	0,396bB
10	0,194cA	0,302cA	0,496cA	0,178aA	0,194bB	0,372bB
11	0,164cA	0,324cA	0,488cA	0,168aA	0,144cB	0,313cB
12	0,250bA	0,434bA	0,684bA	0,180aB	0,117cB	0,298cB
13	0,178cA	0,394cA	0,572cA	0,185aA	0,193bB	0,379bB
14	0,171cA	0,485aA	0,656bA	0,178aA	0,210bB	0,396bB
15	0,217bA	0,439bA	0,655bA	0,162aB	0,237bB	0,399bB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Skott-Knott ( $p > 0,05$ ).

No experimento 2, maiores acúmulos na folha, bulbo e total foram obtidos em T1, T2, T3, T4, T6, T7 e T8. Apesar dos tratamentos que formaram o mesmo grupo de médias serem semelhantes à testemunha, houve incremento entre 2,12 a 16,14% com aplicação de micronutrientes em relação à testemunha (Tabela 9).

O acúmulo de B variou nas partes vegetativas da planta, o que pode ser explicado pela diferença nos teores absorvidos, acúmulo de massa, disponibilidade do nutriente na solução do solo e a mobilidade no interior da planta (MORAES et al., 2016). Os autores explicam que

maior acúmulo de B nos bulbos é importante para formação das catáfilas. Efeito positivo para maior acúmulo se deve ao aumento da matéria seca nos bulbos e à redistribuição dos micronutrientes das folhas para os bulbos, que pode ter se intensificado durante o processo de cura, com maior acúmulo estimado no período da colheita (ACHARYA et al., 2015; TRIVEDI; DHUMAL, 2017).

A aplicação dos micronutrientes contribuiu para o aumento do acúmulo de Cu em relação à testemunha nos dois experimentos. No experimento 1, os tratamentos 13 e 15 apresentaram maiores acúmulos, 0,137 e 0,142 mg planta<sup>-1</sup> de Cu na folha. Maior acúmulo no bulbo foi obtido em T4, T9, T10, T11 e T13, com acúmulos entre 0,144 e 0,163 mg planta<sup>-1</sup>. Para o acúmulo na planta, a aplicação combinada de T13 favoreceu maior acúmulo, 0,285 g planta<sup>-1</sup>, em relação à testemunha (Tabela 10).

Tabela 10. Acúmulo de cobre na folha, bulbo e total de cebola, em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.

Tratamento	Cu (mg planta <sup>-1</sup> )					
	Experimento 1			Experimento 2		
	Folha	Bulbo	Total	Folha	Bulbo	Total
1	0,006fA	0,050dA	0,057fA	0,003bA	0,065aA	0,068aA
2	0,009fA	0,107bA	0,116eA	0,002bA	0,067aB	0,069aB
3	0,010fA	0,113bA	0,123eA	0,004bA	0,072aB	0,076aB
4	0,060dA	0,144aA	0,204bA	0,009bB	0,061aB	0,070aB
5	0,066dA	0,082cA	0,149dA	0,024aB	0,055aB	0,079aB
6	0,029eA	0,115bA	0,144dA	0,002bB	0,067aB	0,069aB
7	0,031eA	0,072cA	0,104eA	0,002bB	0,056aA	0,058aB
8	0,036fA	0,108bA	0,145dA	0,009bB	0,054aB	0,063aB
9	0,058cA	0,163aA	0,221bA	0,009bB	0,058aB	0,067aB
10	0,047dA	0,146aA	0,193cA	0,010bB	0,062aB	0,072aB
11	0,065dA	0,160aA	0,226bA	0,012bB	0,059aB	0,071aB
12	0,097dA	0,078cA	0,175cA	0,030aB	0,056aA	0,086aB
13	0,137aA	0,147aA	0,285aA	0,021aB	0,047aB	0,068aB
14	0,089bA	0,080cA	0,169cA	0,025aB	0,067aA	0,092aB
15	0,142aA	0,075cA	0,217bA	0,026aB	0,071aA	0,097aB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Skott-Knott ( $p > 0,05$ ).

No experimento 2, os tratamentos 5, 12, 13, 14 e 15 contribuíram com maior acúmulo de Cu na folha. As quantidades acumuladas variaram de 0,021 a 0,030 mg planta<sup>-1</sup>. Para o acúmulo no bulbo e na planta, não houve efeito significativo entre os tratamentos, os acúmulos variaram entre 0,52 a 0,97 mg planta<sup>-1</sup> (Tabela 10).

Em geral, a aplicação combinada dos três micronutrientes com maior dose de Cu (4 kg ha<sup>-1</sup>) favoreceu maior acúmulo de Cu em cebola. A concentração desse nutriente no solo é baixa

(Tabela 1) e a cebola possui alta responsividade ao Cu (MANNA; MAITY, 2016), com isso a adubação com dose mais alta de Cu pode ter contribuído para este resultado.

Os tratamentos 13 e 15 acumularam mais Zn na folha, 0,065 e 0,061 mg planta<sup>-1</sup>. No bulbo, maiores acúmulos foram obtidos com aplicação isolada de B, Cu e Zn e dos tratamentos 8, 9, 10 e 12, variando de 0,224 a 0,285 mg planta<sup>-1</sup>, representando incremento de 11,44 a 41,79% em relação à testemunha. Os tratamentos 4, 6, 7, 8, 9, 10 e 12 contribuíram com maior acúmulo total de Zn, variando de 0,254 a 0,315 mg planta<sup>-1</sup>, com aumento de 23,30 a 52,91% em relação à testemunha, no experimento 1 (Tabela 11).

Tabela 11. Acúmulo de zinco na folha, bulbo e total em cebola, em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.

Tratamento	Zn (mg planta <sup>-1</sup> )					
	Experimento 1			Experimento 2		
	Folha	Bulbo	Total	Folha	Bulbo	Total
1	0,004eB	0,201bB	0,206bB	0,020cA	0,410cA	0,430cA
2	0,004eB	0,240aB	0,243bB	0,020cA	0,530bA	0,550bA
3	0,002eB	0,257aB	0,259aB	0,021cA	0,494bA	0,512bA
4	0,002eB	0,270aB	0,272aB	0,017cA	0,611aA	0,632aA
5	0,011dB	0,192bA	0,204b	0,027bA	0,254dA	0,280dA
6	0,030cA	0,224aB	0,254aB	0,026bA	0,414cA	0,440cA
7	0,037bA	0,234aB	0,271aB	0,037aA	0,381cA	0,419cA
8	0,041bA	0,267aB	0,308aB	0,027bB	0,358cA	0,386cA
9	0,040bA	0,252aA	0,292aA	0,034aA	0,311dA	0,345dA
10	0,025cA	0,250aB	0,275aB	0,021cA	0,348cA	0,369dA
11	0,038bA	0,176bB	0,214bB	0,022cB	0,346cA	0,369dA
12	0,030cA	0,285aA	0,315aA	0,019cB	0,322dA	0,342dA
13	0,065aA	0,133bB	0,199bB	0,018cB	0,304dA	0,321dA
14	0,031cA	0,186bB	0,217bB	0,020cB	0,349cA	0,368dA
15	0,061aA	0,149bB	0,209bB	0,026bB	0,373cA	0,400cA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Skott-Knott ( $p > 0,05$ ).

No experimento 2, maior acúmulo de Zn na folha foi 0,037 e 0,034 mg planta<sup>-1</sup>, representado pelos tratamentos 7 e 9, com incremento de 85 e 70% em relação à testemunha. Maior acúmulo de Zn no bulbo e total foi obtido na dose de 4 kg ha<sup>-1</sup> de Cu, os acúmulos foram de 0,611 e 0,632 mg planta<sup>-1</sup>, o incremento em relação à testemunha foi de 49,02 e 46,98% no bulbo e total, respectivamente (Tabela 11).

Maior acúmulo de Zn no bulbo se deve à maior massa seca no período da colheita e, embora o Zn seja pouco móvel na planta (MALAVOLTA et al., 1989), a cebola é exigente e responsiva ao Zn (KURTZ; ENANI, 2010), influenciando no teor nutricional, massa seca e, como consequência, maior acúmulo de Zn pela cultura.

Pode-se observar ainda que, apesar da cebola ser mais responsiva ao Zn e ao Cu, houve redução no acúmulo de Zn, quando foram aplicadas doses máximas combinadas de Cu e Zn

com B, que pode se dever à inibição entre Cu e Zn, decorrente da competição pelo mesmo sítio de troca (MARSCHNER, 1995).

Os resultados corroboram Santos et al. (2009), que, estudando Cu e Zn, em diferentes classes de solo, observaram que maiores teores de potássio nos grãos de sorgo foram obtidos com a combinação da maior dose de Cu com a menor dose de Zn. Os autores atribuíram a isso o efeito antagônico entre os nutrientes, representando resultados inferiores quando combinadas doses máximas de Cu e Zn.

Menor acúmulo de nutrientes nas folhas ocorre devido à perda da posição de fonte para dreno principal dos bulbos (MORAES et al., 2016). Isto acontece porque ao iniciar o desenvolvimento do bulbo é maior a redistribuição de nutrientes para este órgão, e no final do ciclo há redução de massa da parte vegetativa e aumento de massa nos bulbos (BREWSTER, 2008). Maior massa seca no bulbo contribuiu para maior acúmulo dos micronutrientes nesse órgão no período da colheita. A sequência decrescente do acúmulo de micronutrientes em cebola no experimento 1 foi:  $B > Zn > Cu$ , e no experimento 2 foi:  $Zn > B > Cu$ .

Neste estudo, as características químicas do solo nos experimentos 1 e 2 (Tabela 1) diferiram quanto ao pH, matéria orgânica (M.O), saturação por bases e disponibilidade dos micronutrientes no solo. Isso faz supor que pode ter interferido em menor ou maior capacidade de absorção e desenvolvimento das plantas, afetando a qualidade do bulbo nos dois experimentos. Na área do experimento 1, não havia sido cultivada, ao passo que na área do experimento 2 existia histórico de cultivos em anos anteriores com cebola, beterraba e cenoura, conseqüentemente, pH e saturação por base mais elevados e menor teor de B, Cu, Zn e M.O (Tabela 1).

Estas informações ajudam a explicar os resultados inferiores obtidos no experimento 2. De acordo com Malavolta et al. (1989), valores de pH próximos a 7,0 reduzem a disponibilidade de Cu e Zn na solução do solo. Como o solo do experimento 2 tem histórico de cultivo e apresenta pH maior que o experimento 1, isso pode estar relacionado à adição de cálcio via fertirrigação, carbonato e bicarbonato via água de irrigação, que ao longo do tempo tende a contribuir com aumento do pH (MAIA et al., 2001), precipitando o B com  $CaCO_3$ , reduzindo a disponibilidade para as plantas.

A saturação por bases nos experimentos 1 e 2 foi de 29 e 75% e o pH do solo foi de 4,8 e 6,3, respectivamente. Essas características contribuem com a redução de micronutrientes na solução do solo, interferindo na absorção pelas plantas. Como explica Resende (2005), solos

com pH acima de 6,0 e saturação por base maior que 50% reduzem a disponibilidade de Cu, Fe, Mn e Zn na solução do solo.

### 3.3 Classificação e Produtividade de bulbos

Houve efeito isolado para experimento nas variáveis classe de bulbo 1 e 2 e produtividade não comercial. Não houve efeito significativo para as classes de bulbo 3, 4, produtividade comercial e total de cebola (Tabela 12).

Tabela 12. Resumo da análise de variância para classificação de bulbos (C1, C2, C3 e C4), produtividade comercial (PC), produtividade não comercial (PNC) e produtividade total (PT) de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn.

FV	Quadrado Médio							
	GL	C1 (%)	C2 (%)	C3 (%)	C4 (%)	PC	PNC	PT
Bloco (Experimento)	6	10,56 <sup>ns</sup>	21,11 <sup>ns</sup>	196,84*	111,68 <sup>ns</sup>	110,50 <sup>ns</sup>	12,08 <sup>ns</sup>	119,63 <sup>ns</sup>
Experimento (E)	1	57,41**	102,68*	97,20 <sup>ns</sup>	43,20 <sup>ns</sup>	16,00 <sup>ns</sup>	49,78**	110,34 <sup>ns</sup>
Tratamento (T)	14	2,54 <sup>ns</sup>	15,83 <sup>ns</sup>	73,54 <sup>ns</sup>	50,43 <sup>ns</sup>	183,88 <sup>ns</sup>	3,03 <sup>ns</sup>	187,49 <sup>ns</sup>
T x E	14	5,16 <sup>ns</sup>	18,73 <sup>ns</sup>	67,61 <sup>ns</sup>	104,50 <sup>ns</sup>	257,87 <sup>ns</sup>	6,40 <sup>ns</sup>	294,26 <sup>ns</sup>
Erro	84	5,17	18,57	79,53	96,77	213,30	5,84	225,70
CV (%)		53,82	51,97	12,80	55,01	15,30	58,15	15,09

\*, \*\* Significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. <sup>ns</sup> Não significativo

Na classificação e produtividade comercial, não-comercial e total, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 13 e 14). Porém, entre os experimentos foram verificadas diferenças no percentual de bulbos nas classes 1 e 2, com maiores valores da classe 1 no primeiro experimento e da classe 2 no segundo (Tabela 13).

Tabela 13. Percentagens de bulbos de cebola nas classes 1, 2, 3 e 4 em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.

Tratamentos	Classe 1 (%)		Classe 2 (%)		Classe 3 (%)		Classe 4 (%)	
	Experimentos							
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	4,75	2,00	8,00	5,00	72,25	73,50	15,00	19,75
2	5,50	2,00	6,00	11,25	72,50	75,50	16,25	11,00
3	4,00	4,00	7,50	9,50	70,75	65,00	18,00	21,75
4	6,25	3,25	7,75	12,50	70,50	65,00	16,00	19,00
5	4,25	5,75	9,50	7,00	79,00	66,25	7,50	21,00
6	4,75	4,00	6,00	6,25	67,00	70,00	22,00	19,50
7	6,50	2,50	10,50	12,00	71,75	66,75	11,00	18,75
8	3,50	3,75	6,00	10,00	67,75	70,00	23,00	16,25
9	4,75	4,00	6,75	12,00	66,75	68,25	22,00	15,75
10	5,25	4,75	7,25	11,50	59,50	66,25	28,00	17,25
11	6,00	4,00	7,50	9,25	68,00	68,00	18,75	19,00
12	4,75	4,25	9,25	6,25	71,25	65,50	14,75	24,25
13	5,25	2,25	6,25	6,50	72,25	75,25	16,25	15,75
14	3,75	3,75	6,75	7,75	78,75	66,25	11,00	22,25
15	4,50	2,75	5,50	11,50	70,25	69,75	19,75	16,00
Experimento								
1	4,92 a		7,37 b		70,55 a		17,28 a	
2	3,53 b		9,22 a		68,75 a		18,48 a	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Skott-Knott ( $p > 0,05$ ).

Tabela 14. Produtividade comercial (PC), produtividade não comercial (PNC) e produtividade total (PT) de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.

Tratamentos	PC (t ha <sup>-1</sup> )		PNC (t ha <sup>-1</sup> )		PT (t ha <sup>-1</sup> )	
	Experimentos					
	1	2	1	2	1	2
1	90,95	111,96	4,81	2,52	95,77	114,48
2	100,48	89,48	5,39	1,81	105,88	91,30
3	98,15	100,79	3,72	4,12	101,87	104,91
4	90,91	87,17	5,59	2,86	96,51	90,04
5	85,64	99,32	3,71	7,06	87,86	106,38
6	105,69	99,73	5,18	4,21	110,87	103,94
7	82,04	91,78	5,47	2,23	87,50	94,00
8	105,10	89,32	3,69	3,30	108,79	92,62
9	98,31	82,44	4,59	3,21	102,89	85,65
10	97,79	88,00	5,78	4,11	103,57	92,10
11	94,15	94,58	5,95	3,68	100,10	98,25
12	92,82	105,95	4,80	4,80	97,62	110,76
13	92,73	94,68	4,70	2,36	97,43	97,04
14	101,46	101,83	3,86	4,06	105,31	105,90
15	100,79	89,01	4,76	2,35	105,54	91,36
Experimento						
1	95,80 a		4,80 a		100,50 a	
2	95,07 a		3,51 b		98,58 a	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Skott-Knott ( $p > 0,05$ ).

Resultado divergente do obtido nesse estudo tem sido verificado em diversas pesquisas, mostrando a influência positiva do Zn (KURTZ; ERNANI, 2010; MAURYA et al., 2018; RASHID; ISLAM, 2019; BISWAS et al., 2020), do B (MAURYA et al., 2018; RASHID; ISLAM, 2019; BISWAS et al., 2020) e Cu (EL-HADIDI et al., 2016; RASHID; ISLAM, 2019), nas características relacionadas à produtividade da cebola.

A influência positiva desses micronutrientes na produtividade da cebola encontrada na literatura pode estar relacionada às condições de solo onde são realizados os estudos, bem como as doses aplicadas. Os estudos são realizados em sua maioria em regiões da Índia, os solos são calcários, pH alcalino, textura média, baixo teor de M.O, e são aplicadas doses altas de B e Zn, como verificado por Acharya et al. (2015); Manna; Maity (2016); Babaleshwar et al. (2017); Maurya et al. (2018).

A falta de resposta às aplicações dos B, Cu e Zn neste experimento pode estar relacionada à aplicação das doses, que podem não ter sido suficientes e por fatores como pH, baixo teor de matéria orgânica e solo arenoso, que podem ter influenciado na resposta à adubação com micronutrientes (ZENG et al., 2011; ADAMEZIK-SZABELA et al., 2015; TLILI et al., 2019), assim como fatores genéticos (RASHID; ISLAM, 2019; BRDAR-JOKANOVIĆ, 2020).

Apesar dos tratamentos não influenciarem significativamente na produtividade da cebola, os resultados obtidos são superiores aos observados na literatura: Babaleshwar et al. (2017) obtiveram rendimento comercial de 30,35 t ha<sup>-1</sup> e total de 36,04 t ha<sup>-1</sup> com aplicação de 10 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de Zn, em comparação à testemunha; Manna; Maity (2016) produziram 25,89 e 30,74 t ha<sup>-1</sup> de cebola comercial e total com aplicação foliar de B 0,5%; Maurya et al. (2018) aplicaram NPKS + 50 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de zinco, obtendo rendimento comercial e total de 24,10 e 24,6 t ha<sup>-1</sup>; Acharya et al. (2015) produziram 16 t ha<sup>-1</sup> com aplicação foliar de sulfato de zinco 0,5% aos 30 e 45 DAT.

Portanto, a produtividade superior a 80 t ha<sup>-1</sup> obtida nesse estudo possivelmente foi influenciada pelas condições climáticas favoráveis, baixa variação de temperatura e umidade relativa do ar (Figura 1), ausência de chuvas, baixa incidência de pragas e doenças, uso de tecnologias adequadas, como irrigação por gotejamento, fertirrigação, semeadura direta e cultivo adensado (SANTOS et al., 2018).

Além desses fatores, a adubação estabelecida de acordo com análise de solo e recomendação para cultura contribuiu para o aumento da produtividade, ficando superior à média do país, 31,95 t ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2020), e da região Nordeste, 28,00 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2017).

Diversos fatores possivelmente interferiram nos resultados obtidos neste trabalho. As características do solo que diferiram entre os anos de cultivo, principalmente o pH, interferem na disponibilidade dos micronutrientes na solução do solo. Os micronutrientes estudados encontram-se mais disponíveis em condições de pH mais ácido. O pH do solo próximo à neutralidade tende a reduzir a disponibilidade para as plantas, principalmente quando associado a solos arenosos e baixo teor de matéria orgânica, influenciando na resposta da planta no crescimento, teor e acúmulo de B, Cu e Zn e na produtividade da cultura.

#### **4 CONCLUSÕES**

A aplicação de B, Cu e Zn não influenciou no número de folhas, relação de formato de bulbo, massa seca de folha, bulbo, total e produtividade da cebola;

A aplicação de B, Cu e Zn nas doses de 1-2-1 kg ha<sup>-1</sup> favoreceu maior acúmulo de micronutrientes na cebola;

A diferença de pH do solo entre os experimentos interferiu na absorção de B, Cu e Zn e, conseqüentemente, na resposta da cultura à adubação.

## REFERÊNCIAS

- ABEDIN, MD. J.; ALAM, MD. N.; HOSSAIN, MD. J.; ARA, N. A.; HAQUE, K. MD. F. Effect of micronutrients on growth and yield of onion under calcareous soil environment. **International Journal of Biosciences**, Índia, v. 2, n. 8, p. 95-101, 2012.
- ACHARYA, U.; VENKATESAN, K.; SARASWATHI, T.; SUBRAMANIAN, K. S. Effect of Zinc and Boron Application on Growth and Yield Parameters of Multiplier Onion (*Allium cepa* L. var *aggregatum* Don.) var. CO (On)5. **International Journal of Research**, Índia, v. 2, n. 1, p. 757-765, 2015.
- ADAMCZYK-SZABELA, D.; MARKIEWICZ, J.; WOLF, W. M. Heavy Metal Uptake by Herbs. IV. Influence of Soil pH on the Content of Heavy Metals in *Valeriana officinalis* L. **Water Air Soil Pollut**, v. 226, p. 1-8, 2015.
- AHMAD, M.; ZIA, M. H.; MALHI, S. S.; NIAZ, A, SAIFULLAH. Boron Deficiency in Soils and Crops: A Review, **Crop Plant**, Aakash Goyal, Intech, p. 1-40, 2012.
- ALAM, M. N. Effect of boron levels on growth and yield of cabbage in calcareous soils of Bangladesh. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, n. 3, v. 6, p. 858-865, 2007.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. **FAO**, v. 56, p. 300, 2006.
- ALMENDROS, P.; OBRADOR, A.; GONZALEZ, 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.
- ASKE, V.; JAIN, P. K.; LAL, N.; SHIURKAR, G. Effect of Micronutrients on Yield, Quality and Storability of Onion cv. Bhima Super. **Trends in Biosciences**, n. 10, v. 6, n. p. 1354-1358, 2017.
- BABALESHWAR, S. B.; KOPPAD, S. R.; DHARMATTI, P. R.; MATH, K. K. Impact of Micronutrients on Growth, Yield and Quality of Onion (*Allium cepa* L.). **International Journal of Pure & Applied Bioscience**, Índia, v. 5, n. 6, p. 1205-1209, 2017.
- BACKES, C.; BÔAS, R. L. V.; GODOY, L. J. G.; VARGAS, P. F.; SANTOS, A. J. M. Determination of growth and nutrient accumulation in bella vista onion, **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 1, p. 246-254, 2018.
- BARKER, A. V; PILBEAM, D. J. **Handbook of Plant Nutrition**. 2 ed. Londres: CRC Press, 2015.
- BISWAS, P.; DAS, S.; BAR, A.; MAITY, T. K.; MANDAL, A. R.; Effect of Micronutrient Application on Vegetative Growth and Bulb Yield Attributes of *Rabi* Onion (*Allium cepa* L.). **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, v. 9, n. 3, p. 556-565, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Abastecimento e Reforma Agrária, Portaria n. 529 de 18 ago. 1995. Brasília: **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF 1 set. 1995. Seção 1, p.13513.

BREWSTER, J. L. **Onions and Other Vegetable Alliums**. Wallingford: CAB International, 2008.

BRDAR-JOKANOVIĆ, M. Boron Toxicity and Deficiency in Agricultural Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, p. 1-20, 2020.

BROWN, P. H.; SHELP, B. Boron mobility in plants. **Plant and Soil**, v. 193, p. 85-101, 1997.

DRIDI, I.; TLILIL, A.; FATNASSIL, S.; HAMROUNI, H.; GUEDDARIL, M. Effects of boron distribution on sugar beet crop yield in two Tunisian soils. **Arabian Journal of Geosciences**, Tunísia, v. 11, n. 15, p. 1-7, 2018.

EL-HADIDI, E. M.; EL-SHAZLY, M. M.; HEGAZY, H. M. M. Effect of N, P and Cu fertilization on onion yield, quality and nutrientes uptake. **J. Soil Sci. and Agric. Eng., Mansoura Univ.**, v. 7, n. 2, p. 231-236, 2016.

EL-TOHAMY, W. A.; KHALID, A. K.; EL-ABAGY, H. M.; ABOU-HUSSEIN, S. D. Essential oil, growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) in response to application of some micronutrients. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Austrália, v. 3, n. 1, p. 201-205, 2009.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas se solos, plantas e fertilizantes**. SILVA, F. C. (ed). 2. ed. Brasília, DF, 2009.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. SANTOS, H. G. et al. 5. ed. Brasília, DF, 2018.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <[www.fao.org/faostat/en/#compare](http://www.fao.org/faostat/en/#compare)>. Acesso em: 1º jun. 2020.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: programa estatístico: versão 5.3. Lavras: UFLA, p. 445-451, 2011.

GONÇALVES, F. C.; GRANGEIRO, L. C.; SOUSA, V. F. L.; JESUS, P. M. M.; SILVA, G. A. Agronomic and qualitative performance of densely cultivated onion cultivars as affected by potassium fertilisation. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 4, p.889-896, 2019a.

GONÇALVES, F. C.; GRANGEIRO, L. C.; SOUSA, V. F. L.; SANTOS, J. P.; SOUZA, F. I.; SILVA, L. R. R. Yield and quality of densely cultivated onion cultivars as function of nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 11, p. 847-851, 2019b.

GUPTA, U. C.; KENING, W.; SIYUAN, L. Micronutrients in Soils, Crops, and Livestock. **Earth Science Frontiers**, v. 15, n. 5, p. 110-125, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agro Produção 2017. Disponível em:

<[https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.html](https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html)>. Acesso em: 10 jan. 2020.

KURTZ, C.; ERNANI, P. R. Produtividade de cebola influenciada pela aplicação de micronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 133-142, 2010.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. Estimativa de carbonato de cálcio aplicado via água de irrigação nas regiões da Chapada do Apodi e Baixo Açu, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 71-75, 2001.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira Para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989.

MANNA, D.; MAITY, T. K. Growth, Yield and Bulb Quality of Onion (*Allium cepa* L.) in Response to Foliar Application of Boron and Zinc. **Journal of Plant Nutrition**, Índia, v.39, n. 3, p. 438-441, 2016.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995.

MAURYA, P. K.; YADAV, L. M.; THAKUR, G.; PATEL, P. Effect of Micronutrient Application on Growth and Yield of *Kharif* Onion (*Allium cepa* L.). **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, v. 7, n. 3, p. 601-608, 2018.

MORAES, C. C.; ARAUJO, H. S.; FACTOR, T. L.; PURQUERIO, L. F. V. Fenologia e acumulação de nutrientes por cebola de dia curto em semeadura direta. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v. 39, n. 2, p. 281-290, 2016.

NIAZ, A.; NAWAZ, A.; EHSAN, S.; SALEEM, I.; ILYAS, M.; MAJEED, A.; MUHMOOD, A.; RANJHA, A. M.; RAHMATULLAH.; AHMED, N. Impacts of residual boron on wheat applied to previous cotton crop under alkaline calcareous soils of Punjab. **Science Letters**, Paquistão, v. 4, n. 1, p. 33-39, 2016.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, (Boletim Técnico 100), 1997. p. 157-185.

RASHID, A.; RAYAN, J. Micronutrient constraints to crop production in soils with Mediterranean type characteristics: A review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, n. 6, p. 959-975, 2004.

RASHID, Md. H.; ISLAM, Md. T. Effects of micronutrients on bulb growth, yield and quality of local and high yielding onion (*Allium cepa* L.) cultivars in Bangladesh. **Archives of Agriculture and Environmental Science**, v. 4, n. 3, p. 281-287, 2019.

REID, R.; HAYES, L. Mechanisms and Control of Nutrient Uptake in Plants, **International Review of Cytology**, v. 229, p. 73-114, 2003.

RESENDE, A. V. **Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas**. CETEM / MCT, p. 37, 2005.

SANTOS, H. C.; FRAGA, V. S.; RAPOSO, R. W. C.; PEREIRA, W. E. Cu e Zn na cultura do sorgo cultivado em três classes de solos. II. Composição mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 131-136, 2009.

SANTOS, J. P.; GRANGEIRO, L. C.; SOUSA, V. F. L.; GONÇALVES, F. C.; FRANCA, F. D. CORDEIRO, C. J. X. Performance of onion cultivars as a function of spacing between plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 3, p. 212-217, 2018.

SILVA, L. R. R. **Desempenho agrônômico de cebola em função da adubação fosfatada**. 2018. 70f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

SHAABAN, M. M.; EL-FOULY, M. M.; ABDEL-MAGUID, A. W. A. Zinc-boron relationship in wheat plants grown under low or high levels of calcium carbonate in the soil. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, Paquistão, v. 7, n. 4, p. 633-639, 2004.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.

TLILI, A.; DRIDI, I.; ATTAYA, R.; GUEDDARI, M. Boron Characterization, Distribution in Particle-Size Fractions, and Its Adsorption-Desorption Process in a Semiarid Tunisian Soil. **Journal of Chemistry**, p. 1-8, 2019.

TRANI, P. E.; BREDÁ JÚNIOR, L. M.; FACTOR, T. L. Calagem e adubação da cebola (*Allium cepa* L.). **Instituto Agrônômico de Campinas**, São Paulo, p. 1-35, 2014.

TRIVEDI, A.; DHUMAL, K. N. Effect of Micronutrients, Growth Regulators and Organic Manures on Yield, Biochemical and Mineral Component of Onion (*Allium cepa* L.) Grown in Vertisols. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Índia, v. 6, n. 5, p. 1759-1771, 2017.

VANOMARK, G. M. M. S.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; BEZERRA, J. R. C.; SANTOS, C. A. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, S. T. A.; BEZERRA, B. G. Energy balance partitioning and evapotranspiration from irrigated Muskmelon under Semi-Arid Conditions. **Bragantia**, Campinas, v. 77, n. 1, p. 168-180, 2018.

VEER, I.; DAS, M. P.; VIJAYVERGIYA, D.; GHADAY, P.; UIKEY, S.; RAMGIRY, P.; PRADHAN, J.; PARMAR, U.; ALI, S. A. Effect of zinc, boron and copper on growth characters of onion (*Allium cepa* L.). **International Journal of Chemical Studies**, Índia, v. 6, n. 5, p. 3384-3387, 2018.

ZENG, F.; ALI, S.; ZHANG, H.; OUYANG, Y.; QIU, B.; WU, F.; ZHANG, G. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. **Environmental Pollution**, n. 159, p. 84-91, 2011.

## CAPÍTULO II

### QUALIDADE E BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE CEBOLA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES

**RESUMO:** A adubação com micronutrientes em cebola é importante para o aumento da qualidade do bulbo e sua biofortificação agronômica contribuirá para maior ingestão desses nutrientes na dieta, reduzindo o risco de desnutrição e doenças em humanos. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da adubação com B, Cu e Zn na qualidade e biofortificação agronômica de cebola. Os experimentos foram realizados nos períodos de junho a novembro de 2018 (Experimento 1) e junho a novembro de 2019 (Experimento 2). O delineamento experimental foi em blocos casualizados completos com 15 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas doses de B, Cu e Zn isoladas e combinadas. Foram avaliados: qualidade e biofortificação agronômica de bulbos. A aplicação combinada de B, Cu e Zn, nas doses de 2-4-2 kg ha<sup>-1</sup>, contribuiu para aumentar a pungência no experimento 2. Aplicação de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B contribuiu com maior firmeza do bulbo no experimento 1. A adubação com micronutrientes não aumentou os sólidos solúveis, acidez titulável, relação SS/AT e coloração dos bulbos. A cebola apresentou potencial para biofortificação em B>Cu >Zn.

**Palavras-chave:** *Allium cepa* L., valor nutricional, pós-colheita.

## CHAPTER II

### QUALITY AND AGRONOMIC BIOFORTIFICATION OF ONION AS A FUNCTION OF FERTILIZATION WITH MICRONUTRIENTS

**ABSTRACT:** Fertilization with micronutrients in onion is important to increase the quality of the bulb and its agronomic biofortification will contribute to a greater intake of these nutrients in the diet, reducing the risk of malnutrition and diseases in humans. The aim of this study was to evaluate the influence of fertilization with B, Cu and Zn on the quality and agronomic biofortification of onion. The experiments were carried out from June to November 2018 (Experiment 1) and from June to November 2019 (Experiment 2). The experimental design was in randomized blocks complete with 15 treatments and four replications. The treatments consisted of the doses of B, Cu and Zn isolated and combined. Bulk agronomic quality and biofortification were evaluated. The combined application of B, Cu and Zn, at doses of 2-4-2 kg ha<sup>-1</sup>, contributed to increase the pungency in experiment 2. Application of 1 kg ha<sup>-1</sup> of B contributed to greater bulb firmness in experiment 1. Fertilization with micronutrients did not increase soluble solids, titratable acidity, SS / AT ratio and bulb color. The onion showed potential for biofortification in B> Cu> Zn.

**Keywords:** *Allium cepa* L., plant nutrition, postharvest.

## 1 INTRODUÇÃO

A demanda nutricional das culturas por micronutrientes é inferior à de macronutrientes; todavia, esses desempenham importantes funções para o melhor desenvolvimento das plantas. B, Cu e Zn estão envolvidos em diversas reações enzimáticas (DENRE et al., 2016) e funções biológicas (MORALEJO; ACEBAL, 2014), aspectos fisiológicos como aumento da atividade fotossintética, respiração, síntese e conservação de auxinas, translocação de açúcares, metabolismo e conservação da parede celular e dos carboidratos são influenciados pela ação desses micronutrientes (DECHEN et al., 2018).

A deficiência em boro causa limitação na massa seca de folhas, teor de matéria seca, taxa fotossintética líquida, baixa eficiência fotossintética da clorofila e integridade da membrana celular (ZHAO; OOSTERHUIS, 2003). Deficiência em zinco causa redução do crescimento das plantas (ACHARYA et al., 2015), em cobre causa desbalanço nutricional, interfere na regulação hormonal, respiração e reduz a firmeza (TRANI et al., 2014).

Deficiências de micronutrientes no solo são mais comumente observadas em solos arenosos, com baixa matéria orgânica e pH neutro ou alcalino, as quais são geralmente encontradas em áreas de produção de cebola, contribuindo para baixos teores dos micronutrientes nos órgãos da planta e, como consequência, menor ingestão desses nutrientes pelos seres humanos.

O B, Cu e Zn são essenciais para os humanos, e sua deficiência pode causar diversos problemas. A deficiência em B afeta a manutenção do tecido ósseo, o crescimento e causa osteoporose. Deficiência em Zn provoca retardo cognitivo, afeta a função imunológica, o sistema reprodutivo (HEFFERON, 2019), aumenta a pressão arterial (PRASAD, 2014), aterosclerose e doença cardiovascular (FOSTER; SAMMAN 2012). A deficiência de Cu causa anemia, meliopatía, produção inadequada de colágeno e elastina (CARRI; CARRI, 2013), diabetes, hipertrofia cardíaca, doença cardíaca isquêmica e redução da produção de anticorpos pelas células T (NUNES; FIORESI, 2016).

Estima-se que no Brasil 2,5% da população estejam desnutridos e que 22,1% estão obesos, o que é ocasionado principalmente pela má alimentação, alto consumo de alimentos calóricos com baixo índice nutricional (ONU, 2019). Tureck et al. (2017) afirmam que 34,8 e 23,6% da população brasileira ingerem quantidades inferiores de Zn e Cu.

Nesse sentido, pesquisas têm sido realizadas visando a desenvolver tecnologias para melhoria da qualidade nutricional dos produtos sem precisar aumentar a produção (NIAZ et al.,

2016). Dentre elas, a biofortificação agrônômica é uma opção, a qual consiste no enriquecimento nutricional dos alimentos via adubação da cultura (GARCIA NETO, 2018).

Portanto, a fertilização com micronutrientes é uma boa estratégia para biofortificar os produtos agrícolas, contribuindo com o aumento da ingestão diária de nutrientes, e melhorando a qualidade de vida da população. De acordo Nielsen; Meacham (2011), a ingestão diária recomendada de B é 3,5 mg dia<sup>-1</sup> e de 0,9 e 7 mg dia<sup>-1</sup> para Cu e Zn (ANVISA, 2001).

A cebola é um alimento funcional, rico em flavonóides e saponinas, os quais contribuem na ação hipolipidêmica e na redução de triglicerídeos e doenças cardiovasculares (LANZOTTI et al., 2006; ALMEIDA; SUYENAGA, 2009), além de contribuir para o controle de diabetes mellitus (ZAPAROLLI et al., 2013). Nesse caso, sabe-se do potencial nutracêutico da cebola, mas ainda são restritos os estudos da influência de B, Cu e Zn no aumento da qualidade e biofortificação do bulbo. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da adubação com B, Cu e Zn na qualidade e biofortificação agrônômica de cebola.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização e características da área experimental**

Os experimentos foram realizados nos períodos de junho a novembro de 2018 (Experimento 1) e de junho a novembro de 2019 (Experimento 2), na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada no distrito de Alagoinha, zona rural do município de Mossoró-RN (latitude de 5°3'37"S, 37°23'50"W e altitude de 72 metros), em solo classificado como Argissolo (EMBRAPA et al., 2018).

A classificação climática da região, segundo Thornthwaite (1948), é semiárido, megatérmico com déficit hídrico durante o ano. A precipitação média anual é de 674 mm, dos quais cerca de 550 mm ocorrem entre fevereiro e maio. A umidade relativa média anual é de 68,9%, enquanto a temperatura média anual é de 27,7 °C (VANOMARK et al., 2018). Foram coletadas amostras de solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade para a realização da análise química e física, estando os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, Mossoró, RN, 2020.

Atributos Químicos													
	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	M.O	B	Cu	Zn
Experimento	H <sub>2</sub> O	--mg dm <sup>-3</sup> --				-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%	g kg <sup>-1</sup>	-----mg dm <sup>-3</sup> -----		
1 (2018)	4,80	5,00	29,64	0,41	0,13	1,57	0,63	2,2	29	5,59	0,18	0,20	0,70
2 (2019)	6,30	3,20	51,00	0,55	0,25	0,33	0,97	1,30	75	4,14	0,19	0,10	0,50

Atributos Físicos					
Experimento	AG	AF	Areia total	Silte	Argila
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				
1 (2018)	618,00	288,00	906,00	24,00	70,00
2 (2019)	620,00	280,00	900,00	30,00	70,00

H+Al: Acidez potencial; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca catiônica; V: Saturação por bases; M.O.: Matéria orgânica; AG: Areia grossa; AF: Areia fina.

Os teores de B, Cu e Zn são considerados baixos, de acordo com Rajj et al. (1997). O solo é classificado como muito-arenoso, segundo a EMBRAPA et al. (2018). Os dados de temperatura e umidade relativa do ar durante a condução dos experimentos encontram-se na Figura 1.

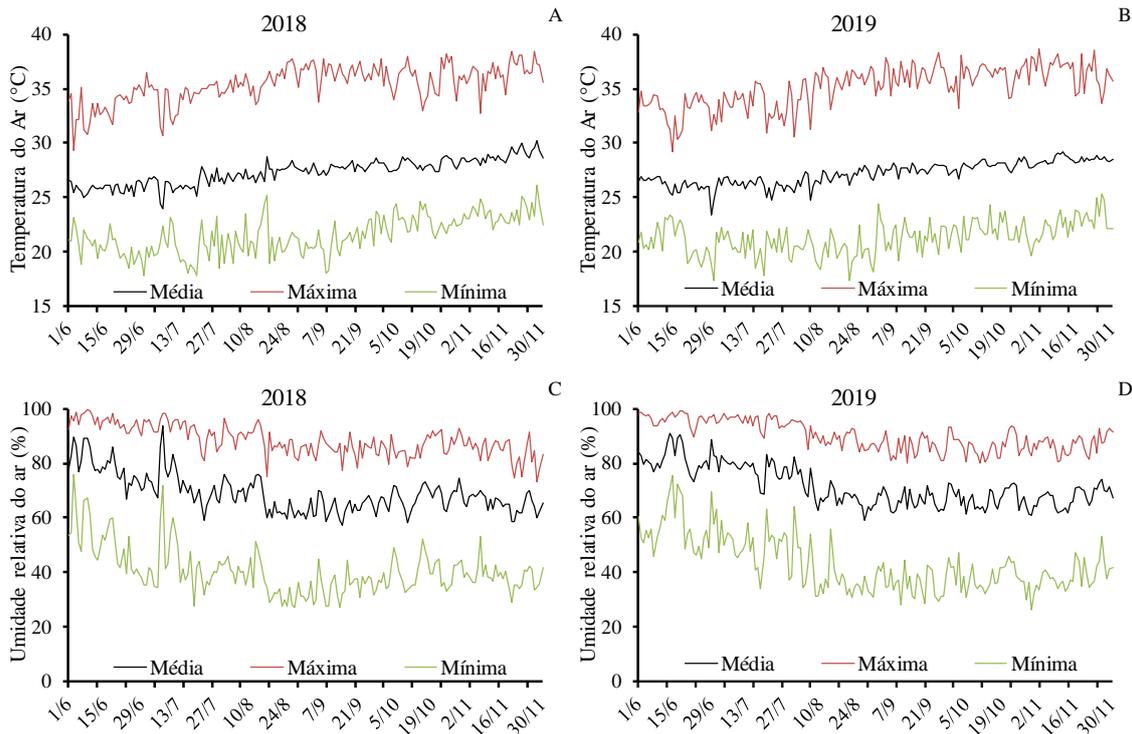


Figura 1. Temperatura (A, B) e umidade relativa do ar (C, D), no período de condução dos respectivos experimentos 1 (2018) e 2 (2019), no município de Mossoró, RN, 2020.

## 2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados completos com 15 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela aplicação isolada e/ou combinada

dos micronutrientes B, Cu e Zn (Tabela 2). Cada parcela foi constituída por 3,5 m de canteiro com 1,0 m de largura, contendo oito fileiras de plantas no espaçamento de 0,10 x 0,06 m. Considerou-se como área útil as seis fileiras centrais de plantas do canteiro, desprezando-se duas plantas de cada extremidade das fileiras.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos, Mossoró-RN, UFRSA 2020.

Tratamentos	Micronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Boro	Cobre	Zinco
1	0	0	0
2	1	0	0
3	2	0	0
4	0	2	0
5	0	4	0
6	0	0	1
7	0	0	2
8	1	2	1
9	1	2	2
10	2	2	1
11	2	2	2
12	1	4	1
13	1	4	2
14	2	4	1
15	2	4	2

### 2.3 Implantação e condução dos experimentos

O preparo do solo constou de aração, gradagem e confecção dos canteiros. A adubação de plantio foi realizada com base na análise do solo, utilizando-se 210 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (SILVA, 2018), nos experimentos 1 e 2, na forma de superfosfato simples. A semeadura foi realizada manualmente, colocando-se 2 a 3 sementes por cova de 2,0 cm de profundidade, espaçadas de 0,10 x 0,06 m. O desbaste foi realizado 20 dias após a semeadura (DAS), deixando uma planta por cova. A cultivar utilizada foi o híbrido Rio das Antas.

O sistema de irrigação utilizado foi por microaspersão até os 22 DAS, e no restante do ciclo, o gotejamento, com quatro mangueiras por canteiro, espaçadas em 0,20 m, com gotejadores do tipo autocompensante e vazão média de 1,5 L h<sup>-1</sup>, distanciados de 0,30 m entre si. As irrigações foram realizadas diariamente e as lâminas foram determinadas com base na evapotranspiração da cultura (ALLEN et al., 2006), aplicando-se uma lâmina total de 904,51 mm ha<sup>-1</sup> e 1102,62 mm ha<sup>-1</sup> nos experimentos 1 e 2, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Manejo da irrigação na área experimental. Mossoró-RN. UFERSA, 2020.

Experimento 2018				
Estádio	Kc aj	ET <sub>o</sub> (mm)	Período	Volume de Irrigação (mm/ha)
Inicial (1)	1,10	4,45	14/06 a 03/07	97,63
Vegetativo (2)	0,94	4,92	04/07 a 02/08	138,01
Bulbificação (3)	1,80	5,94	03/08 a 11/09	426,79
Maturação (4)	1,43	6,97	12/09 a 08/10	242,08
Total				904,51
Experimento 2019				
Inicial (1)	1,61	4,27	12/06 a 01/07	137,79
Vegetativo (2)	1,47	4,51	02/07 a 31/07	198,71
Bulbificação (3)	1,98	5,37	01/08 a 09/09	424,50
Maturação (4)	1,30	6,12	10/09 a 22/10	341,62
Total				1102,62

A água utilizada na irrigação foi oriunda de um poço tubular profundo, do aquífero arenito Açú, apresentando as seguintes características: pH 7,1; CE = 0,61 dS m<sup>-1</sup>; 0,65; 1,73; 2,50; 1,90; 1,60; 0,0; e 4,00 mmolc L<sup>-1</sup> de K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e RAS de 1,2 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

As adubações de cobertura foram realizadas semanalmente via fertirrigação, iniciando aos 22 DAS e finalizando aos 84 DAS. No experimento 1, foram aplicados 99,04 kg ha<sup>-1</sup> de N; 40,51 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 213,94 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 13,77 de kg ha<sup>-1</sup> de Mg e 47,5 kg ha<sup>-1</sup> de Ca. No experimento 2, foram aplicados 86,53 kg ha<sup>-1</sup> de N; 40,51 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 213,94 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 13,77 de kg ha<sup>-1</sup> de Mg e 47,5 kg ha<sup>-1</sup> de Ca. As doses de N e K foram estabelecidas de acordo com a recomendação para a cultura, segundo Gonçalves et al. (2019 a; 2019b).

As fontes dos adubos utilizadas foram MAP purificado, ureia, nitrato de potássio, nitrato de cálcio, cloreto de potássio e sulfato de magnésio. As doses de B, Cu e Zn foram propostas com base na análise de solo e recomendação de adubação para cultura da cebola, segundo Trani et al. (2014). Como fontes de micronutrientes, foram usados ácido bórico, sulfato de cobre e sulfato de zinco.

Durante a condução dos experimentos, foram realizadas capinas manuais e controle fitossanitário de acordo com a necessidade da cultura. A irrigação foi suspensa aos 114 (Experimento 1) e 130 DAS (Experimento 2), quando 70% das plantas se encontravam tombadas, e iniciou-se o processo de cura. Após 26 e 10 dias da suspensão da irrigação, respectivamente, no experimento 1 e 2, os bulbos foram colhidos e limpos.

## 2.4 Variáveis analisadas

Foram utilizados cinco bulbos da área útil da parcela, por ocasião da colheita, para as seguintes análises.

**2.4.1 Firmeza (N):** Determinada com a utilização do penetrômetro de operação manual, que mede a resistência do bulbo à penetração de um pistilo até o rompimento da casca dos dois lados opostos no ponto mediano dos bulbos. Foram realizadas duas leituras por bulbo.

**2.4.2 Coloração:** Determinada por colorímetro modelo CR-410, com medição na parte mediana interna e externa do bulbo, usando-se um diagrama tridimensional analisando-se a luminosidade pelo parâmetro L, no qual o valor '0' corresponde ao escuro (preto) e o valor '100' ao opaco (branco). O valor de "a" indica a tendência para colorir, que varia de verde (valores negativos) a vermelho (valores positivos), e o valor de "b" tende de azul (valores negativos) a amarelo (valores positivos).

**2.4.3 Sólidos solúveis (SS):** Determinados diretamente no suco homogeneizado, por leitura em refratômetro digital, com resultado expresso em °Brix (AOAC, 2002).

**2.4.4 Acidez titulável ( $\text{mEq H}_3\text{O}^+ 100 \text{ g}^{-1}$ ) (AT):** Determinada utilizando-se uma alíquota de 1 ml do suco diluída para 49 ml de  $\text{H}_2\text{O}$ , posteriormente adicionadas três gotas de fenolftaleína 1%, e realizada titulação até o ponto de viragem com solução de NaOH (0,1N), previamente padronizada (AOAC, 2002).

**2.4.5 Relação SS/AT:** Determinada dividindo-se os valores de SS (°Brix) pela AT ( $\text{mEq H}_3\text{O}^+ 100 \text{ g}^{-1}$ ).

**2.4.6 Açúcares solúveis totais (AST):** Quantificados em triplicata, por meio do método da Antrona (solução de antrona + ácido sulfúrico), descrito por Yemm; Willis (1954). Diluiu-se 1,0 ml do extrato de cebola em 100 ml água destilada, em balão volumétrico, até o volume de 100 ml. Em um tubo de ensaio, foram adicionados 50  $\mu\text{L}$  da amostra e 950  $\mu\text{L}$  de água destilada. Posteriormente, os tubos foram levados para banho de gelo, onde permaneceram enquanto se adicionava a solução de antrona (2 ml). Em seguida, os tubos foram agitados e retornados imediatamente para o banho de gelo, sendo posteriormente submetidos ao banho-maria em ebulição por oito minutos; resfriou-se em água gelada. Utilizou-se solução de glicose nas concentrações de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50  $\mu\text{g L}^{-1}$  para obtenção da curva padrão. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 620 nm e os resultados foram expressos em (%).

**2.4.7 Pungência:** Estimada por meio da determinação do ácido pirúvico, utilizando-se o reagente 2,4-dinitrofenilhidrazina (DNPH), pelo método colorímetro descrito por Schwimmer; Weston (1961). Em erlenmeyer, adicionou-se 0,5 ml do suco da cebola, 1,5 ml de ácido tricloroacético a 5% e 18 ml de água destilada, para obtenção do extrato. Agitou-se o material. Em tubo de ensaio, adicionou-se 1 ml do extrato, 1 ml da solução de 2,4-dinitrofenilhidrazina (DNPH) e 1 ml de água destilada. O material foi agitado em vórtex. Posteriormente, os tubos de ensaio foram levados ao banho-maria a 37 °C durante 10 minutos. Resfriou-se a amostra em banho de gelo e adicionaram-se 5 ml de NaOH 0,6 N, por tubo de ensaio. Agitou-se em vórtex e manteve-se em repouso por cinco minutos para desenvolver a coloração amarela. As absorbâncias foram lidas em espectrofotômetro a 420 nm. O piruvato de sódio foi usado como padrão. O cálculo de pungência foi realizado a partir da elaboração da curva padrão do piruvato de sódio em seis concentrações (0,0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 mmol L<sup>-1</sup>). Os resultados foram obtidos em mmol de ácido pirúvico ml<sup>-1</sup> de suco de cebola. A pungência foi classificada como cebola fraca (2 a 4 µmol g<sup>-1</sup>), intermediária (8 a 10 µmol g<sup>-1</sup>) e forte (15 a 20 µmol g<sup>-1</sup>).

#### 2.4.8 Biofortificação

Foram determinados os teores de B, Cu e Zn no bulbo (mg kg<sup>-1</sup>), na colheita. Com base nos valores de consumo médio *per capita* de cebola no Brasil, segundo Canella et al. (2018), foi determinada a quantidade média ingerida dos micronutrientes B, Cu e Zn, e quanto eles representam em relação aos valores diários de referência, com base em uma dieta de 2.000 kcal, de acordo com a ANVISA (2001) e Nielsen; Meacham (2011).

#### 2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância isoladamente para cada experimento, depois procedeu-se à análise conjunta. Quando houve efeito significativo para os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade e para os experimentos, as médias foram comparadas pelo teste de t a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas com o auxílio do *software* SISVAR v5.3 (FERREIRA, 2011).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Qualidade de bulbos

Para as variáveis açúcares solúveis totais, pungência e acidez titulável, houve efeito significativo da interação tratamentos e experimentos. A firmeza do bulbo, relação sólidos solúveis/acidez titulável, luminosidade e cor a e b foram influenciados pelos fatores isolados, e o teor de sólidos solúveis totais não foi influenciado por nenhum dos fatores estudados (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para sólidos solúveis (SS), açúcares solúveis totais (AST), pungência, firmeza, relação SS/AT, acidez titulável (AT) e coloração de bulbos (L, a e b) de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.

FV	GL	Quadrado Médio			
		SS	AST	Pungência	Firmeza
Bloco (Experimento)	6	0,86**	1,64 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	10,35 <sup>ns</sup>
Experimento (E)	1	0,53 <sup>ns</sup>	252,30**	43,20**	1333,33**
Tratamento (T)	14	0,49 <sup>ns</sup>	3,91 <sup>ns</sup>	1,51**	40,10*
T x E	14	0,26 <sup>ns</sup>	10,25**	1,88**	26,26 <sup>ns</sup>
Erro	84	0,37	2,39	0,65	20,47
CV (%)		7,65	23,57	14,78	8,96

Continuação

FV	GL	Quadrado Médio				
		SS/AT	AT	Cor (L)	Cor (a)	Cor (b)
Bloco (Experimento)	6	0,08 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	23,20 <sup>ns</sup>	6,82 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>
Experimento (E)	1	7,50**	14,70**	1178,13**	672,13**	27,08**
Tratamento (T)	14	0,52**	0,17 <sup>ns</sup>	12,64 <sup>ns</sup>	3,97 <sup>ns</sup>	2,85*
T x E	14	0,23 <sup>ns</sup>	0,27*	12,74 <sup>ns</sup>	1,97 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>
Erro	84	0,14	0,12	12,68	4,36	1,41
CV (%)		11,64	13,87	4,74	47,63	4,66

ns: não significativo; \*, \*\*: Significativo a  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,05$  pelo teste F, respectivamente.

Os teores de SS dos bulbos variaram de 7,50 a 8,25 °Brix no experimento 1, e de 7,25 a 8,50 °Brix no experimento 2 (Tabela 5). Estes resultados divergem do estudo realizado por Pramanik et al. (2018), que, em cebola com aplicação isolada de Zn e B e combinações de Fe+B+Zn+Cu+Mn, obtiveram aumento do teor de SS em relação à testemunha. Os autores observaram 11,37 °Brix com aplicação via solo de 10 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de zinco.

Tabela 5. Sólidos solúveis (SS), açúcares solúveis totais (AST), pungência e firmeza, de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.

Tratamento	SS (°Brix)		AST (%)		Pungência ( $\mu\text{molg}^{-1}$ ácido pirúvico)		Firmeza (N)	
	Experimentos							
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	7,50 aA	8,00 aA	6,50 cA	8,25 aA	4,25 aB	5,75 bA	55,25 aA	45,75 aB
2	8,25 aA	7,50 aA	7,00 cA	5,75 bA	5,00 aA	5,00 bA	61,75 aA	45,75 aB
3	8,00 aA	7,75 aA	7,75 cA	5,50 bB	5,00 aA	5,50 bA	56,00 aA	49,50 aB
4	8,25 aA	8,25 aA	8,25 cA	7,25 aA	5,25 aA	5,75 bA	53,00 bA	46,75 aA
5	7,75 aA	7,50 aA	7,00 cA	5,00 bA	4,75 aA	4,50 bA	53,00 bA	49,75 aA
6	8,25 aA	8,50 aA	8,25 cA	5,00 bB	5,00 aA	5,25 bA	58,25 aA	49,25 aB
7	8,00 aA	8,00 aA	8,25 cA	5,00 bB	5,00 aA	5,25 bA	50,75 bA	46,50 aA
8	8,25 aA	8,25 aA	7,25 cA	5,00 bB	5,00 aA	5,75 bA	49,25 bA	45,75 aA
9	8,00 aA	7,25 aA	7,50 cA	6,00 bA	4,50 aB	7,25 aA	48,75 bA	45,50 aA
10	7,75 aA	7,75 aA	12,00 aA	3,50 bB	5,25 aB	6,50 aA	58,25 aA	48,00 aB
11	8,00 aA	8,00 aA	8,75 cA	4,25 bB	5,00 aB	6,75 aA	52,75 bA	50,50 aA
12	7,75 aA	8,00 aA	9,50 bA	4,50 bB	4,75 aB	6,50 aA	54,25 bA	48,00 aA
13	8,00 aA	8,00 aA	8,00 cA	4,00 bB	4,75 aB	6,50 aA	52,50 bA	43,50 aB
14	7,75 aA	7,25 aA	7,25 cA	3,75 bB	4,75 aB	7,00 aA	51,75 bA	45,25 aB
15	8,25 aA	7,75 aA	7,00 cA	4,00 bB	4,75 aB	7,50 aA	52,25 bA	48,00 aA
Experimento								
1	7,98 a		8,01 a		4,85 b		53,85 a	
2	7,85 a		5,11 b		6,05 a		47,18 b	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna pertencem ao mesmo grupo, e letras maiúsculas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

Maiores teores de AST foram obtidos pela aplicação combinada dos tratamentos no experimento 1, o T10 apresentou maior teor (12,00%), seguido pelo T12 (9,50%), nos demais tratamentos, os teores variaram de 6,50 a 8,75%. No experimento 2, os teores variaram de 3,50 a 8,25%, sendo maiores teores obtidos em T1 e T4. O teor de AST, no experimento 1, foi superior ao experimento 2 (Tabela 5).

O fornecimento adequado de micronutrientes favorece o aumento dos teores de açúcares e carboidratos, podendo contribuir para aumentar a síntese de fenóis, que atuam no mecanismo de defesa como antifúngicos e antibacteriano (TRIVEDI; DHUMAL, 2017; DRIDI et al., 2018). Os micronutrientes cobre, ferro, manganês e zinco atuam ativando o mecanismo de defesa, sendo cofatores de superóxido dismutases (SODs) que atuam na desintoxicação de espécies reativas de oxigênio (EROs) e resistência sistêmica adquirida (SAR), contribuindo para melhor qualidade pós-colheita e armazenamento de bulbos (EL-TOHAMY et al., 2009).

No experimento 1, os teores de pungência variaram de 4,25 a 5,25  $\mu\text{mol g}^{-1}$  e no experimento 2, com exceção do T8, os tratamentos com aplicação combinada dos micronutrientes formaram o grupo de maior pungência, e os teores variaram de 6,50 a 7,50

$\mu\text{mol g}^{-1}$  (Tabela 5). De acordo com a classificação da pungência de cebola proposta por Schwimmer; Weston (1961), os valores ficaram entre pungência fraca e intermediária.

Os micronutrientes desempenham diversas funções nas células, sendo constituinte de enzimas antioxidantes, como Cu/Zn-SOD (BARBOSA et al., 2014). Dessa forma, bulbos enriquecidos com Zn e B contribuem com o aumento na atividade do desenvolvimento do ácido pirúvico, como observado por Denre et al. (2016), com aplicação combinada de Zn+B, obtiveram pungência de 7,42 a 9,41  $\mu\text{mol g}^{-1}$  e também aumento dos antioxidantes enzimáticos (SOD e CAT) e não enzimáticos (ascorbato).

A firmeza apresentou diferenças significativas entre tratamentos apenas no experimento 1, onde as aplicações isoladas de B (T2 e T3), da dose mínima de Zn (T6), bem como dos tratamentos combinados desses elementos na proporção 2-2-1  $\text{kg ha}^{-1}$  de B, Cu e Zn (T10), favoreceu bulbos mais firmes (Tabela 5).

A aplicação de B reduz os espaços intercelulares, aumentando a compactação dos tecidos, o que se deve à função do B, que, quando incorporado às células, afeta a síntese celular, levando à ligação da pectina, estruturando a parede celular, o que contribui com aumento da firmeza e reduz a taxa de transpiração (ISLAM et al., 2016). Aplicações de B e Cu contribuem com o aumento da resistência da casca à perfuração em bulbos de cebola (FERREIRA et al., 2000), podendo prolongar a vida útil pós-colheita dos produtos.

Para relação SS/AT, houve efeito significativo entre os tratamentos apenas no experimento 2, sendo maiores valores obtidos com aplicação de T1, T2, T3, T7, T8, T10, T13 e T15. As médias dos experimentos 1 e 2 foram de 2,93 e 3,43, respectivamente (Tabela 6). Para acidez titulável, determinada por meio da porcentagem de ácido pirúvico, no experimento 1 a aplicação de 2  $\text{kg ha}^{-1}$  de B apresentou menor acidez, 2,25%. No experimento 2, os tratamentos 6, 11 e 12 formaram o grupo de maior acidez, e as médias variaram de 2,50 a 2,75% (Tabela 6).

Tabela 6. Relação SS/AT, acidez titulável (AT), cor (L), cor (a) e cor (B), de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.

Tratamento	Relação SS/AT		AT (% ácido pirúvico)		Cor (L)		Cor (a)		Cor (b)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	2,75 aB	3,50 aA	3,00 aA	2,25 bB	80,50 aA	67,25 aB	1,75 aB	7,25 aA	25,25 aB	28,00 aA
2	2,75 aB	3,50 aA	3,00 aA	2,00 bB	78,50 aA	75,25 aA	2,00 aA	4,50 aA	24,75 aA	26,00 bA
3	3,25 Aa	3,50 aA	2,25 bA	2,00 bA	77,75 aA	73,25 aA	1,50 aB	6,50 aA	25,00 aA	25,25 bA
4	3,00 aA	3,25 bA	3,00 aA	2,25 bB	77,00 aA	69,00 aB	2,75 aB	7,00 aA	25,75 aA	24,75 bA
5	2,25 aB	3,00 bA	3,25 aA	2,00 bB	79,00 aA	69,75 aB	2,00 aB	7,00 aA	24,75 aA	24,75 bA
6	3,00 aA	3,25 bA	2,75 aA	2,50 aA	77,75 aA	71,75 aB	3,50 aB	6,50 aA	26,25 aA	26,75 aA
7	3,25 aA	3,75 aA	2,75 aA	2,25 bB	78,00 aA	72,25 aB	2,00 aB	6,50 aA	24,50 aA	25,50 bA
8	3,00 aB	4,00 aA	3,00 aA	2,00 bB	80,50 aA	74,50 aB	1,00 aB	6,25 aA	25,50 aA	26,00 bA
9	3,00 aA	3,00 bA	3,00 aA	2,00 bB	78,50 aA	74,25 aA	1,50 aB	6,00 aA	25,00 aA	26,50 aA
10	3,00 aB	4,00 bA	3,00 aA	2,00 bB	76,50 aA	70,50 aB	3,00 aB	8,25 aA	25,50 aA	26,00 bA
11	3,00 aA	3,00 bA	2,75 aA	2,75 aA	77,50 aA	70,50 aB	2,75 aB	7,50 aA	24,75 aA	25,50 bA
12	3,00 aA	3,25 bA	2,75 aA	2,50 aA	77,50 aA	72,50 aA	2,00 aB	7,25 aA	24,50 aB	26,75 aA
13	3,00 aB	3,75 aA	2,75 aA	2,00 bB	77,00 aA	72,25 aA	2,50 aB	8,00 aA	25,25 aB	27,00 aA
14	2,75 aA	3,00 bA	3,00 aA	2,25 bB	79,25 aA	72,00 aB	0,50 aB	7,00 aA	24,25 aA	25,50 bA
15	3,00 aB	3,75 aA	3,00 aA	2,00 bB	77,75 aA	74,00 aA	1,50 aB	5,75 aA	24,25 aA	25,25 bA
<b>Experimento</b>										
1	2,93 b		2,88 a		78,20 a		2,02 b		25,02 b	
2	3,43 a		2,18 b		71,93 b		6,75 a		25,97 a	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna pertencem ao mesmo grupo, e letras maiúsculas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p > 0,05$ ).

Os resultados das cores L, a e b diferiram entre os experimentos. Para o parâmetro L, que indica luminosidade, o cultivo em 2019 (experimento 2) produziu bulbos com cores mais intensas. Os valores de a indicam bulbos avermelhados e os valores de b indicam que os bulbos apresentaram coloração amarelo claro, pois quanto maiores forem os valores de a e b mais intensa será a coloração (Tabela 6).

Em cebola, a coloração mais intensa pode indicar maior concentração de flavonoides, como a quercetina, que atua na eliminação de radicais livres do organismo (BOTREL et al., 2012) e, conseqüentemente, contribui com maiores benefícios a saúde do ser humano.

### 3.2 Biofortificação agrônômica do bulbo de cebola

No experimento 1, os incrementos nos teores de B no bulbo, em relação à testemunha, foram proporcionados pelos tratamentos 2, 4, 5, 8 e 14. Houve aumento nos teores de Cu no bulbo em relação à testemunha para todos os tratamentos. Com exceção dos tratamentos 11, 13, 14 e 15, a aplicação de micronutrientes favoreceu o incremento de Zn no bulbo em relação à

testemunha (Tabela 7).

A aplicação isolada de B, Cu e Zn e do tratamento 8 aumentaram os teores de B no bulbo, em relação à testemunha no experimento 2. Com exceção dos tratamentos 7, 11 e 13, a aplicação de micronutrientes favoreceu maior teor de Cu no bulbo. O incremento de Zn no bulbo em relação à testemunha foi proporcionado pelos tratamentos 2, 3, 4, 6 e 8 (Tabela 7).

Tabela 7. Teores de B, Cu e Zn no bulbo de cebola em função da aplicação de B, Cu e Zn e experimentos.

Tratamento	Teores no bulbo (mg kg <sup>-1</sup> )					
	Experimento 1			Experimento 2		
	B	Cu	Zn	B	Cu	Zn
1	35,43bA	4,01fA	16,28bB	27,60bB	4,76aA	29,93dA
2	39,70aA	8,27cA	18,27bB	35,24aA	5,52aB	43,71aA
3	28,52cA	8,80cA	19,92aB	31,57bA	5,49aB	47,21aA
4	37,75aA	10,88bA	20,19aB	29,69bB	5,64aB	45,58aA
5	42,56aA	6,96dA	16,34bB	29,82bB	5,83aA	27,27dA
6	29,13cA	8,91cA	17,63bB	30,83bA	5,02aB	30,98cA
7	27,75dB	5,37eA	17,48bB	32,30bA	4,09aB	28,02dA
8	39,64aA	7,49dA	18,61bB	36,64aA	5,07aB	34,06bA
9	34,71bA	12,81aA	19,92aB	21,52cB	5,09aB	27,30dA
10	22,13dA	10,74bA	18,39bB	16,30cB	5,21aB	29,25dA
11	24,56dA	12,17aA	13,37cB	12,02dB	4,89aB	29,24dA
12	32,58bA	6,07eA	22,18aB	10,75dB	5,16aA	29,34dA
13	32,23bA	12,19aA	11,04dB	17,21cB	4,17aB	27,11dA
14	36,78aA	6,00eA	14,41cB	16,73cB	5,38aA	27,79dA
15	32,30bA	5,53eA	10,94dB	18,37cB	5,48aA	28,95dA
Média	33,05	8,41	17,00	24,44	5,12	32,38
TACO*	-	4,50	18,01			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Skott-Knott ( $p > 0,05$ ).

\*Teores na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2011).

Observa-se que, dentre os experimentos, os tratamentos 2 e 8 contribuíram com maior aumento no teor de B no bulbo, com incremento de 12,05 e 11,88% no experimento 1, e 27,65 e 32,75% no experimento 2, respectivamente, em relação à testemunha. Com exceção dos tratamentos 7 e 13 no experimento 2, a aplicação de micronutrientes aumentou os teores de Cu no bulbo, em relação à testemunha (Tabela 7). Os tratamentos 3 e 4 nos dois experimentos, contribuíram com maior incremento dos teores de Zn no bulbo, representando aumento em relação à testemunha de 22,36 e 24,02% no experimento 1, e 57,73 e 52,29% no experimento 2, respectivamente (Tabela 7).

O aumento dos teores de B, Cu e Zn favorecido pelos tratamentos apresentados anteriormente no bulbo de cebola foi superior aos descritos na tabela brasileira de composição de alimentos (TACO, 2011), o que representa o enriquecimento nutricional ou biofortificação

agronômica, conforme Mobini et al. (2019). A técnica da biofortificação agrônômica tem aumentado nos últimos anos, tendo em vista que muitas pessoas vivem em situações precárias, em muitos casos com sintomas de desnutrição pela baixa ingestão de nutrientes em sua dieta, essa técnica é importante para reduzir a desnutrição de micronutrientes.

Na tabela 8, pode-se observar que os tratamentos com maiores teores de B, Cu e Zn no bulbo de cebola contribuíram com maior ingestão diária desses micronutrientes. De acordo com Canella et al. (2018), o consumo médio *per capita* de cebola fresca é de 10 g, de maneira que ocorre o consumo médio de cebola contendo entre 37,47 e 38,14 mg kg<sup>-1</sup> de B (T2 e T8); 8,53 e 8,95 mg kg<sup>-1</sup> de Cu (T9 e T11) e 33,57 e 32,88 mg kg<sup>-1</sup> de Zn (T3 e T4), e considerando a matéria seca do bulbo de 11,1% (TACO, 2011), a ingestão de cebola com os teores encontrados resultaria na ingestão de 0,042 mg de B; 0,009 mg de Cu e 0,03 mg de Zn.

A ingestão dessas quantidades de B, Cu e Zn é equivalente a 1,22 e 1,29% da ingestão diária de B, equivalente a 1,04 e 1,09% da ingestão diária de Cu, e a 0,52 e 0,53% da ingestão diária de Zn, que, de acordo com Nielsen; Meacham (2011), é de 3,25 mg dia<sup>-1</sup> para B, e 0,9 e 7,00 mg dia<sup>-1</sup> de Cu e Zn, respectivamente, de acordo com a Anvisa (2001) (Tabela 8).

Tabela 8. Teores médios de micronutrientes e valores diários de referência para uma dieta padrão, proporcionada pelo consumo de cebola crua (porção de 10g).

Tratamento	Teor (mg/kg) <sup>1</sup>			Quantidade (mg/10g de cebola crua) <sup>2</sup>			VD (%) <sup>3</sup>		
	B	Cu	Zn	B	Cu	Zn	B <sup>4</sup>	Cu	Zn
1	31,51	4,39	23,10	0,035	0,005	0,025	1,07	0,54	0,36
2	37,47	6,89	30,99	0,042	0,008	0,034	1,27	0,84	0,49
3	30,07	7,14	33,57	0,033	0,008	0,037	1,02	0,87	0,53
4	33,72	8,26	32,88	0,037	0,009	0,036	1,14	1,01	0,52
5	36,19	6,4	21,80	0,040	0,007	0,024	1,22	0,78	0,34
6	29,98	6,97	24,30	0,033	0,008	0,027	1,01	0,85	0,38
7	29,03	4,73	22,75	0,032	0,005	0,025	0,98	0,58	0,36
8	38,14	6,28	26,33	0,042	0,007	0,029	1,29	0,77	0,41
9	28,12	8,95	23,61	0,032	0,010	0,026	0,95	1,09	0,37
10	19,22	7,98	23,82	0,021	0,009	0,026	0,65	0,98	0,37
11	18,34	8,53	21,30	0,020	0,009	0,023	0,62	1,04	0,33
12	22,14	5,61	25,73	0,025	0,006	0,028	0,75	0,69	0,40
13	24,73	8,18	19,07	0,027	0,009	0,021	0,84	1,00	0,30
14	26,75	5,69	21,10	0,030	0,006	0,023	0,91	0,70	0,33
15	25,34	5,50	19,94	0,028	0,006	0,022	0,86	0,67	0,31

<sup>1</sup> Teor médio dos dois experimentos

<sup>2</sup> Considerando a matéria seca de bulbo com 11,1% (TACO, 2011)

<sup>3</sup> Valores diários de referência com base em uma dieta de 2.000kca. Cu = 0,9 mg/dia, Zn = 7mg/dia (Anvisa, 2001)

<sup>4</sup> Valores de B para dieta de 2000 kcal B = 3,25 mg/dia (Nielsen; Meacham, 2011).

A cebola é uma hortaliça de importância econômica e nutracêutica em todo o mundo. O incremento de B, Cu e Zn no bulbo de cebola contribuirá com a maior ingestão dos

micronutrientes citados. Portanto, como a ingestão de cebola diária ainda é baixa, o seu consumo, associado a outros alimentos ricos em micronutrientes, poderá atingir a ingestão média diária recomendada desses nutrientes.

Nesse contexto, pelos resultados houve biofortificação agrônômica, sendo maior a biofortificação em B e Cu. Com relação à biofortificação em Zn, pode-se observar nas tabelas 7 e 8 que os maiores teores de Zn no bulbo foram obtidos com as aplicações isoladas de B (T2 e T3) e Cu (T4), ou seja, as aplicações das doses isoladas de Zn não foram suficientes para incrementar maiores teores no bulbo, com isso a biofortificação com aplicação de Zn foi menor quando comparado com B e Cu.

O potencial de biofortificação depende de diversos fatores, incluindo a espécie, parte vegetativa, disponibilidade e a mobilidade do nutriente na planta. Maiores teores de B no bulbo se devem à maior disponibilidade deste nutriente no solo em relação ao Cu e ao Zn, devido principalmente à diferença do pH solo, que interfere mais na disponibilidade de Cu e Zn do que em B (MALAVOLTA et al., 1989).

Outro fator importante é a mobilidade dos micronutrientes, em cebola o B é considerado móvel; por sua vez, o Cu e o Zn são pouco móveis. A partir dessas observações, pode-se explicar maiores teores de B e maior biofortificação do bulbo, quando comparado ao Cu e ao Zn. Isso contribui com a ingestão desses nutrientes, conseqüentemente beneficiando a saúde humana.

O consumo de alimentos enriquecidos com B contribui com aumento no catabolismo da enzima 25-hidroxivitamina D, favorecendo aumento da vitamina D, prevenindo a osteoporose (MILJKOVIC et al., 2004), e no aumento hormonal de estrogênio, importante no tratamento pós-menopausa (MILJKOVIC et al., 2004; LIU et al., 2015). De acordo com Nielsen (2014), pacientes em tratamento com suplementação de B reduziu incidência de casos de câncer de colo uterino e osteoporose.

A ingestão de alimentos enriquecidos em Cu aumenta a atividade de enzimas antioxidantes (Cu-Zn SOD), síntese de DNA e RNA e aumento de defesas a células autoimunes (PEDROSA; COZZOLINO, 1999; PEPA; BRANDI, 2016). Zn é fundamental no crescimento e desenvolvimento mental, no metabolismo da vitamina A, no sistema imunológico, antioxidante e no controle da diabetes mellitus (MAFRA; COZOLLINO, 2004; CRUZ; SOARES, 2011).

Diante das informações obtidas, percebe-se que diversos fatores estão envolvidos nas respostas da adubação com micronutrientes, tais como o pH do solo, que diferiram nos

experimentos 1 e 2 (Tabela 1). Essa diferença do pH entre os experimentos interferiu na absorção dos micronutrientes pela planta e, conseqüentemente, na qualidade do bulbo e na biofortificação da cebola.

#### 4 CONCLUSÕES

A aplicação combinada de B, Cu e Zn, nas doses de 2-4-2 kg ha<sup>-1</sup>, contribuiu para aumentar a pungência no experimento 2;

Aplicação de 1 kg ha<sup>-1</sup> de B contribuiu com maior firmeza do bulbo no experimento 1;

A adubação com micronutrientes não aumentou os sólidos solúveis, acidez titulável, relação SS/AT e coloração dos bulbos;

A cebola apresentou potencial para biofortificação em B>Cu >Zn.

#### REFERÊNCIAS

- ACHARYA, U.; VENKATESAN, K.; SARASWATHI, T.; SUBRAMANIAN, K. S. Effect of Zinc and Boron Application on Growth and Yield Parameters of Multiplier Onion (*Allium cepa* L. var *aggregatum* Don.) var. CO (On)5. **International Journal of Research**, Índia, v. 2, n. 1, p. 757-765, 2015.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. **FAO**, v. 56, p. 300, 2006.
- ALMEIDA, A.; SUYENAGA, E. S. Pharmacological effect of garlic (*Allium sativum* L.) and onion (*Allium cepa* L.) on the cardiovascular system: literature review. **Nutrire: rev. Soc. Bras. Alim. Nutr.** São Paulo, v. 34, n. 1, p. 185-197, 2009.
- ANVISA. Rotulagem Nutricional Obrigatória Manual de Orientação aos Consumidores Educação para o Consumo Saudável. Brasília, DF 45p, 2001
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. Washington: AOAC, 1115 p. 2002.
- BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILDALINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.
- BOTREL, N.; OLIVEIRA, V. R. Cultivares de cebola e alho para processamento. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 52., 2012, Salvador. **Horticultura Brasileira**, Brasília v. 30, n. 2, p. S8420-S8434, 2012.

CANELLA, D. S.; LOUZADA, M. L. C.; CLARO, R. M.; COSTA, J. C.; BANDONI, D. H.; LEVY, R. B.; MARTINS, A. P. B. Consumo de hortaliças e sua relação com os alimentos ultraprocessados no Brasil. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 52, n. 50, p. 1-11, 2018.

CARRI, J. M.; CARRI, A. A. Mielopatia por deficiência de cobre. **Arq Bras Neuroci.**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 105-109, 2013.

CRUZ, F. B. F.; SOARES, H. F. Uma revisão sobre o zinco. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande v. 15, n. 1, p. 207-222, 2011.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R.; CARMELLO, Q. A. C.; SANTOS, L. A.; SPERANDIO, M. V. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A (org.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2018. p. 492-538.

DENRE, M.; BHATTACHARYA, A.; PAL, S.; CHAKRAVARTY, A.; CHATTOPADHYAY, A.; MAZUMDAR, D. Effect of Foliar Application of Micronutrients on Antioxidants and Pungency in Onion. **Notulae Scientia Biologicae**, Índia, v. 8, n.1, p. 373-379, 2016.

DRIDI, I.; TLILIL, A.; FATNASSIL, S.; HAMROUNI, H.; GUEDDARIL, M. Effects of boron distribution on sugar beet crop yield in two Tunisian soils. **Arabian Journal Of Geosciences**, Tunísia, v. 11, n. 15, p. 1-7, 2018.

EL-TOHAMY, W.A.; KHALID, A. K.; EL-ABAGY, H. M.; ABOU-HUSSEIN, S. D. Essential oil, growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) in response to application of some micronutrients. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Austrália, v. 3, n. 1, p. 201-205, 2009.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas se solos, plantas e fertilizantes**. SILVA, F. C. (ed). - 2. ed. Brasília, DF, 2009. 627 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. SANTOS, H. G et al. 5. ed. Brasília, DF, 2018.

FERREIRA, M. D.; MINAMI, K. Qualidade de bulbos de cebola em consequência de tratamentos pré-colheita. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p.693-701, 2000.

FERREIRA, D. F. SISVAR: programa estatístico: versão 5.3. **Lavras: UFLA**, p. 445-451, 2011.

FOSTER, M.; SAMMAN, S. Vegetarian diets across the lifecycle: impact on zinc intake and status. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 74, p. 93-131, 2015.

GARCIA NETO, J. **Concentrações e fontes de silício foliar na produção e na qualidade do agrião e do almeirão**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal-SP, 2018.

GONÇALVES, F. C.; GRANGEIRO, L. C.; SOUSA, V. F. L.; SANTOS, J. P.; SOUZA, F. I.; SILVA, L. R. R. Yield and quality of densely cultivated onion cultivars as function of nitrogen

fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 11, p.847-851, 2019a.

GONÇALVES, F. C.; GRANGEIRO, L. C.; SOUSA, V. F. L.; JESUS, P. M. M.; SILVA, G. A. Agronomic and qualitative performance of densely cultivated onion cultivars as affected by potassium fertilization. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 4, p. 889-896, 2019b.

HEFFERON, K. Biotechnological Approaches for Generating Zinc-Enriched Crops to Combat Malnutrition. **Nutrients**, n. 11, v. 253, p. 1-11, 2019.

ISLAM, M. Z.; MELE, M. A.; BAEK, J. P.; KANG, Ho-Min. Cherry tomato qualities affected by foliar spraying with boron and calcium. **Horticulture, Environment, And Biotechnology**, Coréia, v. 57, n. 1, p. 46-52, 2016.

LANZOTTI, V. The analysis of onion and garlic. **Journal of chromatography A**. v 3. n. 22, p. 3-22, 2006.

LIU, M.Y.; TANG, H. C.; HU, S. H.; YANG, H. L.; CHANG, S. J. Influence of peripheral parenteral nutrition with micronutrients after colorectal cancer patients: Clinical Study. **BioMed Research International**, p. 1-7, 2015.

MAFRA, D.; COZZOLINO, S. M. F. Importância do zinco na nutrição humana: Revisão. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 79-87, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira Para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989.

MANNA, D.; MAITY, T. K. Growth, Yield and Bulb Quality of Onion (*Allium cepa* L.) in Response to Foliar Application of Boron and Zinc. **Journal of Plant Nutrition**, Índia, v. 39, n. 3, p. 1-14, 2016.

MILJKOVIC, D.; MILJKOVIC, N.; McCARTY, M. F. Up-regulatory impact of boron on vitamin D function – does it reflect inhibition of 24-hydroxylase? **Medical Hypotheses**, v. 63, p. 1054–1056, 2004.

MOBINI, M.; KHOSHGOFTARMANESH, A. H.; GHASEMI, S. Biofortification of onion bulb with selenium at different levels of sulfate. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n.3 p. 269-277, 2019.

MORALEJO, M. del P.; AND ACEBAL, S. G. The Transfer of Cu, Zn, Mn and Fe between Soils and *Allium* Plants (Garlic and Onion), and Tomato in the Southwest of the Buenos Aires Province, Argentina. **American Journal of Plant Sciences**, Argentina, v. 5, p. 480-487, 2014.

NIAZ, A.; NAWAZ, A.; EHSAN, S.; SALEEM, I.; ILYAS, M.; MAJEED, A.; MUHMOOD, A.; RANJHA, A. M.; RAHMATULLAH.; AHMED, N. Impacts of Residual Boron on Wheat Applied to Previous Cotton Crop under Alkaline Calcareous Soils of Punjab. **Science Letters**, Paquistão, v. 4, n. 1, p. 33-39, 2016.

NIELSEN, F. H.; MEACHAM, S. L. Growing Evidence for Human Health Benefits of Boron. **Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine**, v. 16, n. 3, p. 169-180, 2011.

NIELSEN, F. H. Update on human health effects of boron: Review. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 28, n. 4, p. 383-387, 2014.

NIELSEN, F. H.; ECKHERT, C. D. Boron. **Adv. Nutr**, v.11, p. 461-462, 2020.

NUNES, K. Z.; FIORESI, M. Efeitos tóxicos cardiovasculares do cobre. **Salus Journal Health Sciences**, v. 2, n. 3, p. 30-38, 2016.

ONU - Organização Nacional das Nações Unidas, 2019. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2020/07/1719961>>. Acesso em: 10 jul. 2020

PEDROSA, L. F. C.; COZZOLINO, S. M. F.; Alterações metabólicas e funcionais do cobre em diabetes mellitus metabolic and functional alterations of copper in diabetes mellitus. **Revista Nutrição**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 213-224, 1999.

PEPA, G.; BRANDI, M. L. Microelements for bone boost: The last but not the least. **Clinical cases in mineral and bone metabolism**, v. 13, n. 3, p. 181-185, 2016.

PRAMANIK, K.; TRIPATHY, P.; MANDAL, P.; PRADHAN, M, BISWAL, M. Effect of micronutrients on quality of onion (*Allium cepa* L.). **International Journal of Chemical Studies**, Índia, v. 6, n. 6, p. 1324-1327, 2018.

PRASAD, A. S. Zinc is an Antioxidant and Anti-Inflammatory Agent: Its Role in Human Health. **Frontiers in Nutrition**, v. 1, n. 14, p. 1-10, 2014. 1:14.2014

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. (Ed.). 2 ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, (Boletim Técnico 100), p. 157-185, 1997.

SILVA, L. R. R. **Desempenho agrônomo de cebola em função da adubação fosfatada**. 2018. 70f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

SCHWIRMMER, S.; WESTON, W. J. Enzymatic development of pyruvic acid as a measure of pungency. **Journal Agricultural Food Chemistry**, Easton, v. 9, p. 301-304, 1961.

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. NEPA-UNICAMP. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.

TRANI, P. E.; BREDA JÚNIOR, L. M.; FACTOR, T. L. Calagem e adubação da cebola (*Allium cepa* L.). **Instituto Agrônomo de Campinas**, São Paulo, p. 1-35, 2014.

TRIVEDI, A.; DHUMAL, K. N. Effect of Micronutrients, Growth Regulators and Organic Manures on Yield, Biochemical and Mineral Component of Onion (*Allium cepa* L.) Grown in Vertisols. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Índia, v. 6, n. 5, p. 1759-1771, 2017.

TURECK, C.; LOCATELI, G.; CORRÊA, V. G.; KOEHNLEIN, E. A. Avaliação da ingestão de nutrientes antioxidantes pela população brasileira e sua relação com o estado nutricional. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 30-42, 2017.

VANOMARK, G. M. M. S.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; BEZERRA, J. R. C.; SANTOS, C. A. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, S. T. A.; BEZERRA, B. G. Energy balance partitioning and evapotranspiration from irrigated Muskmelon under Semi-Arid Conditions. **Bragantia**, v. 77, n. 1, p.168-180, 2018.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**, v. 57, p. 508-514, 1954

ZAPAROLLI, M. R.; NASCIMENTO, N. C.; BAPTISTA, D. R.; VAYEGO, S. A. Alimentos funcionais no manejo da diabetes mellitus. **Revista Ciência & Saúde**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 12-17, 2013.

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M. Cotton Growth and Physiological Responses to Boron Deficiency. **Journal of Plant Nutrition**, EUA, v. 26, n. 4, p. 855-867, 2003.