

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de
24/05/2024

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until
May 24, 2024

JESSICA APARECIDA DA SILVA

**FERTILIZAÇÃO COM FERRO E ZINCO EM BATATA-DOCE E MANDIOCA:
EFEITOS SOBRE OS PARÂMETROS PRODUTIVOS, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E
QUALIDADE TECNOLÓGICA DE RAÍZES**

**Botucatu
2022**

JESSICA APARECIDA DA SILVA

**FERTILIZAÇÃO COM FERRO E ZINCO EM BATATA-DOCE E MANDIOCA:
EFEITOS SOBRE OS PARÂMETROS PRODUTIVOS, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E
QUALIDADE TECNOLÓGICA DE RAÍZES**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Doutora em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientadora: Profa. Dra. Magali Leonel

Coorientador: Prof. Dr. Adalton Mazetti
Fernandes

Botucatu

2022

S586f	<p>Silva, Jessica Aparecida da</p> <p>Fertilização com ferro e zinco em batata-doce e mandioca: efeitos sobre os parâmetros produtivos, composição química e qualidade tecnológica de raízes / Jessica Aparecida da Silva. -- Botucatu, 2022</p> <p>144 p. : tabs., fotos</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu</p> <p>Orientadora: Magali Leonel</p> <p>Coorientadora: Adalton Mazetti Fernandes</p> <p>1. Micronutriente. 2. Manihot esculenta. 3. Ipomoea batatas. 4. Adubação. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: FERTILIZAÇÃO COM FERRO E ZINCO EM BATATA-DOCE E MANDIOCA; EFEITOS SOBRE OS PARÂMETROS PRODUTIVOS, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E QUALIDADE TECNOLÓGICA DAS RAÍZES


AUTORA: JESSICA APARECIDA DA SILVA

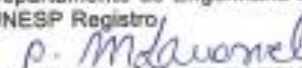
ORIENTADORA: MAGALI LEONEL


COORIENTADOR: ADALTON MAZETTI FERNANDES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Dr.ª MAGALI LEONEL (Participação Virtual)
Centro de Raízes e Amidos Tropicais / Universidade Estadual Paulista UNESP


Prof. Dr. PABLO FORLAN VARGAS (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Agrônômica / Cursos de Engenharia Agrônômica e Engenharia de Pesca - UNESP Registro


Prof.ª Dr.ª THAIS PAES RODRIGUES DOS SANTOS (Participação Virtual)
Pós-Doutoranda - CERAT / Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP


Prof.ª Dr.ª GIUSEPPINA PACE PEREIRA LIMA (Participação Virtual)
Ciências Químicas e Biológicas / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP


Pesquisador Dr. JOSÉ CARLOS FELTRAN (Participação Virtual)
Divisão de Plantas Alimentícias Básicas / Instituto Agrônômico de Campinas

Botucatu, 24 de maio de 2022

*Deus e Nossa Senhora Aparecida,
Aos meus pais, José e Tereza,
Meu irmão Jefferson,*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida por me proporcionar este grande momento e por estar comigo em todos os momentos da minha vida, e assim cumprir mais uma etapa em minha vida.

Aos meus pais Tereza Cristina A. da Silva, José Antonio da Silva, meu irmão Jefferson Antonio da Silva, por me apoiarem e me ajudarem em todos os momentos da minha vida, sem vocês isso não seria possível.

A minha orientadora Profa. Dra. Magali Leonel e ao meu coorientador Prof. Dr. Adalton Mazetti Fernandes, pela atenção, dedicação, ensinamentos, pela paciência e orientação, para que fosse possível o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. Fernando Ferrari Putti por ter me ajudado e colaborado com esta tese, meus agradecimentos.

Aos meus amigos de pós-graduação Tatiane, Gyslane, Luan, Ricardo, Jason, Nathane, Malba, Politon, Michael, Valkiria, Nathalia Ribeiro e Rudiele pelo auxílio prestado durante a realização deste projeto e pela grande amizade e respeito criada por nós durante este período, não tenho palavras para agradecer o quanto vocês são importantes na minha vida.

Aos meus amigos que eu tanto amo e que admiro muito que mesmo de longe ou de perto sempre me apoiaram para eu estar aqui Elder Mattos, Luan e Camila Caetano sem palavras para expressar o quanto vocês são importantes para mim.

Aos funcionários do Cerat, Luiz, Delba, Juliana e Danilo pelo apoio, convivência e amizade.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Energia na Agricultura), pela oportunidade de realização do Doutorado e dedicação de seus docentes.

Ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT) por disponibilizar a infraestrutura necessária.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

RESUMO

Os micronutrientes desempenham um papel fundamental na manutenção do metabolismo das plantas, crescimento e produção, tolerância ao estresse e resistência a doenças. O ferro (Fe) e o zinco (Zn) são essenciais para plantas podendo ser tóxicos em níveis acima das concentrações ideais. A fertilização com micronutrientes em raízes tuberosas, que consideradas alimentos base para a alimentação mundial, como a mandioca e batata-doce, além da importância na produção de raízes para o suprimento alimentar mundial, torna-se importante do ponto de vista da biofortificação. A desnutrição de micronutrientes afeta mais da metade da população mundial levando à diversos problemas de saúde. A deficiência de ferro é um dos principais problemas nutricionais do mundo, resultado do prolongado balanço negativo de ferro devido à inadequada ingestão ou absorção pela dieta. O zinco é um mineral essencial ao organismo, com diversas funções fisiológicas e metabólicas, como a manutenção da integridade imunológica, imunidade celular e atividade antioxidante. Uma forma de combater a má nutrição desses minerais é a biofortificação agrônômica que é obtida por meio da aplicação de fertilizantes ao solo e/ou aplicação foliar, sendo esta técnica uma forma de incrementar o valor nutricional de culturas amiláceas. Diante dos aspectos aqui referidos, este trabalho objetivou avaliar os efeitos das doses de fertilização com ferro e com zinco no cultivo de mandioca, cultivar IAC 576-70, sobre os aspectos de crescimento da planta, acúmulo de nutrientes nas partes da planta, bem como, composição nutricional e análises de cozimento das raízes. Nesta mesma linha, também foi objetivo deste estudo avaliar os efeitos das doses de $ZnSO_4$ no cultivo de batata doce, cultivar Canadense, sobre os mesmos parâmetros estudados nos ensaios com mandioca. Para o alcance dos objetivos da pesquisa foram instalados dois ensaios experimentais para a mandioca. Ambos os experimentos foram conduzidos no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em doses de sulfato de ferro ($FeSO_4$, 0; 3,8; 7,5; 11,3 e 15,0 g pl^{-1}) equivalentes a 0, 25, 50, 75 e 100 kg ha^{-1} e sulfato de zinco ($ZnSO_4$, 0, 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 g pl^{-1}) equivalentes a 0, 10, 20, 30 e 40 kg ha^{-1} , onde as fontes utilizadas foram sulfato de ferro e de zinco, respectivamente. Os ensaios foram conduzidos no primeiro ciclo de cultivo (368 dias). Já para o experimento de batata-doce foi instalado um experimento com adubação de zinco, onde se utilizou o delineamento de blocos ao acaso, com 7 repetições. Os tratamentos

consistiram em doses de sulfato de zinco (ZnSO_4 , 0, 0,25; 0,5; 1,0 e 2,0 g pl^{-1}) equivalentes a 0, 5, 10, 20 e 40 kg ha^{-1} , onde a fonte utilizada foi o sulfato de zinco. O experimento teve duração de 150 dias do plantio à colheita. Para o experimento de mandioca a adubação de ferro e zinco interferiu na arquitetura da planta de mandioca. Em ambos os experimentos houve aumento na produtividade. A fertilização com FeSO_4 na mandioca influenciou os teores de macro e micronutriente nas folhas (Mg, Fe e Mn), na haste (Fe e Mn), na cepa (N, P, K, Ca, S, Cu e Mn) e, na raiz tuberosa (N, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Mn). Nas raízes cozidas, com o aumento das doses de adubação com FeSO_4 observou-se aumento no teor de fibra, redução no teor de matéria graxa, e redução na perda de Ca após o cozimento. Os resultados mostraram que adubação com FeSO_4 aumentou o teor de alguns minerais nas raízes tuberosas e fibra até a dose estimada de 14,7 g pl^{-1} de FeSO_4 , açúcar total até a dose estimada de 10,4 g pl^{-1} de FeSO_4 , proteína até a dose estimada de 5,3 g pl^{-1} de FeSO_4 e em relação a textura, antes e depois do cozimento, todas as doses apresentaram maiores valores em comparação com a testemunha. A fertilização com ZnSO_4 em mandioca teve efeito sobre os teores de macro e micronutrientes nas folhas (N, P, K, Ca, Mg, Fe e Mn), na haste (N, P, K, Mg, S, Fe, Cu, Zn e Mn) na cepa (Cu) e na raiz tuberosa (P, K, Ca, Mg, Fe e Zn). O aumento das doses de ZnSO_4 levou a redução linear nos teores de cinza e fibra nas raízes. O Ca e Cu tiveram reduções na perda com o cozimento quando comparado com a testemunha. As doses de ZnSO_4 afetaram os teores de minerais nas raízes com aumento de P até a dose estimada de 4,1 g pl^{-1} de ZnSO_4 , K até 1,5 g pl^{-1} de ZnSO_4 e Zn até a dose estimada de 3,2 g pl^{-1} de ZnSO_4 . No experimento de batata-doce a adubação com ZnSO_4 aumentou a altura da planta, massa seca na raiz tuberosa e massa seca total das plantas. Também ocorreu aumento nos teores de P, K, Mg, Ca, Fe, Zn e Mn nas raízes tuberosas em comparação a testemunha. Para o experimento de batata-doce, as alturas das plantas foram maiores até a dose estimada de 0,9 g pl^{-1} , e o diâmetro das raízes foram maiores na testemunha. O acúmulo de N na parte aérea, K na raiz absorvente e S na raiz tuberosa teve decréscimo linear com o aumento das doses de ZnSO_4 . O P na parte aérea e raiz tuberosa aumentou até a dose estimada de 1,3 e 0,6 g pl^{-1} , respectivamente. O K na raiz tuberosa aumentou até a dose de 1,1 e o Mg até a dose de 1,3 g pl^{-1} de ZnSO_4 . Para os micronutrientes o Fe, Cu na parte aérea e Mn na raiz absorvente tiveram redução linear no acúmulo. Para o acúmulo de Fe, Zn e Mn na raiz tuberosa e Cu na raiz absorvente ocorreu aumento até a dose estimada de 1,3;

1,8; 1,3 e 1,1 g pl⁻¹ de ZnSO₄. O teor de cinza na raiz tuberosa variou de 0,59 a 1,30 g 100 g⁻¹. O teor de fibra e a textura antes do cozimento tiveram aumento linear. Os teores de K, Mg, Fe e Mn na raiz tuberosa aumentaram até as doses estimadas de 1,1; 1,3; 1,6 e 1,4 g pl⁻¹ respectivamente, já o Ca e o Zn tiveram aumentos lineares dos teores e o S teve redução no teor até a dose de 1,5 g pl⁻¹. Nas maiores doses de fertilizante ocorreu redução no tempo de cozimento das raízes. As perdas após o cozimento de K e S tiveram reduções lineares. Para os nutrientes Fe, Cu, Zn e Mn ocorreram menores perdas a partir das doses estimadas de 1,4; 1,1; 1,6 e 1,1 g pl⁻¹. Portanto conclui-se que a cultivar IAC 576-70 adubada com FeSO₄ teve aumento da produtividade de 6 kg pl⁻¹, até a dose estimada de 8,2 g pl⁻¹. Foram observados aumentos nos teores de macro e micronutrientes, destacando-se o aumento de 163% no acúmulo de ferro nas raízes tuberosas. No experimento de mandioca com adubação de ZnSO₄, o número de raízes tuberosas aumentou linearmente, com interferência das doses na arquitetura das plantas e no acúmulo de macro e micronutrientes, com aumento do teor de Zn nas raízes tuberosas. Já para o experimento de batata doce houve aumento da matéria seca total das raízes tuberosas e da planta inteira até as doses estimadas de 1,5 e 1,3 g pl⁻¹ de ZnSO₄, respectivamente. O tempo de cozimento diminuiu com o aumento das doses do fertilizante. Estes resultados evidenciam aumentos de produtividade com a fertilização com micronutrientes em mandioca de mesa e batata-doce e apontam para a possibilidade de incremento no valor nutricional das raízes de mandioca e batata-doce com a fertilização com micronutrientes sem prejuízo na qualidade de cozimento.

Palavras-chaves: micronutriente; *Manihot esculenta*; *Ipomoea batatas*; adubação.

ABSTRACT

Micronutrients play a key role in maintaining plant metabolism, growth and production, stress tolerance and disease resistance. Iron (Fe) and zinc (Zn) are essential for plants and can be toxic at levels above ideal concentrations. Fertilization with micronutrients in tuberous roots, considered as staple foods for the world's diet, such as cassava and sweet potato, in addition to the importance of root production for the world food supply, becomes important from the point of view of biofortification. Micronutrient malnutrition affects more than half of the world's population leading to various health problems. Iron deficiency is one of the main nutritional problems in the world, the result of prolonged negative iron balance due to inadequate intake or absorption from the diet. Zinc is an essential mineral for the body, with several physiological and metabolic functions, such as maintaining immune integrity, cellular immunity and antioxidant activity. One way to combat the malnutrition of these minerals is agronomic biofortification, which is obtained through the application of fertilizers to the soil and/or foliar application, this technique being a way to increase the nutritional value of starchy crops. In view of the aspects mentioned here, this study aimed to evaluate the effects of fertilization doses with iron and zinc in the cultivation of cassava, cultivar IAC 576-70, on the aspects of plant growth, accumulation of nutrients in plant parts, as well as, nutritional composition and analysis of root cooking. Along the same lines, the objective of this study was also to evaluate the effects of ZnSO_4 doses on sweet potato, cultivar Canadense, on the same parameters studied in the cassava trials. In order to reach the research objectives, two experimental trials were installed for cassava. Both experiments were carried out in a randomized block design, with 4 replications. The treatments consisted of doses of iron sulfate (FeSO_4 , 0; 3.8; 7.5; 11.3 and 15.0 g pl^{-1}) equivalent to 0, 25, 50, 75 and 100 kg ha^{-1} and zinc sulfate (ZnSO_4 , 0, 1.5; 3.0; 4.5 and 6.0 g pl^{-1}) equivalent to 0, 10, 20, 30 and 40 kg ha^{-1} , where the sources used were sulfate iron and zinc, respectively. The assays were carried out in the first cultivation cycle (368 days). For the sweet potato experiment, an experiment with zinc fertilization was installed, in which a randomized block design was used, with 7 replications. The treatments consisted of doses of zinc sulfate (ZnSO_4 , 0, 0.25; 0.5; 1.0 and 2.0 g pl^{-1}) equivalent to 0, 5, 10, 20 and 40 kg ha^{-1} , where the source used was zinc sulfate. The experiment lasted 150 days from planting to harvesting. For the cassava experiment, iron and zinc fertilization interfered with the architecture of the cassava plant. In both experiments

there was an increase in productivity. The FeSO_4 experiment in cassava obtained results for macro and micronutrients in the leaves (Mg, Fe and Mn), in the stem (Fe and Mn), in the strain (N, P, K, Ca, S, Cu and Mn) and in the tuberous root (N, K, Ca, Mg, Fe, Zn and Mn). In the cooked roots, with the increase of the fertilization doses with FeSO_4 , it was observed an increase in the fiber content, reduction in the fat content, reduction in the loss of Ca after cooking. The results showed that fertilization with FeSO_4 increased the content of some minerals in the tuberous roots and fiber up to the estimated dose of 14.7 g pl^{-1} of FeSO_4 , total sugar up to the estimated dose of 10.4 g pl^{-1} of FeSO_4 , protein up to the estimated dose of 5.3 g pl^{-1} of FeSO_4 . For texture, before and after cooking, all doses showed higher values compared to the control. In the experiment of ZnSO_4 in cassava, there were results for macro and micronutrients in the leaves (N, P, K, Ca, Mg, Fe and Mn), in the stem (N, P, K, Mg, S, Fe, Cu, Zn and Mn) in the strain (Cu) and in the tuberous root (P, K, Ca, Mg, Fe and Zn). With ZnSO_4 fertilization, there was a linear reduction in ash and fiber contents. Ca and Cu had a reduction in loss when compared to the control. For fertilization with ZnSO_4 there was an increase in some minerals in the tuberous roots such as P up to the estimated dose of 4.1 g pl^{-1} of ZnSO_4 , K up to 1.5 g pl^{-1} of ZnSO_4 and Zn up to the estimated dose of $3, 2 \text{ g pl}^{-1}$ of ZnSO_4 . In the sweet potato experiment, ZnSO_4 fertilization increased plant height, tuberous root dry mass and total plant dry mass. There was also an increase in the levels of P, K, Mg, Ca, Fe, Zn and Mn in the tuberous roots compared to the control. For the sweet potato experiment, the plant heights were higher up to the estimated dose of 0.9 g pl^{-1} , the root diameters were higher in the control. The accumulation of N in the shoot, K in the absorbent root and S in the tuberous root led to a linear decrease. P in shoots and tuberous roots increased up to the estimated dose of 1.3 and 0.6 g pl^{-1} , respectively. K in the tuberous root increased up to a dose of 1.1 and Mg up to a dose of 1.3 g pl^{-1} of ZnSO_4 . For the micronutrients, Fe, Cu in the shoot and Mn in the absorbent root had a linear reduction in accumulation. For the accumulation of Fe, Zn and Mn in the tuberous root and Cu in the absorbent root, there was an increase up to the estimated dose of 1.3 ; 1.8 ; 1.3 and 1.1 g pl^{-1} of ZnSO_4 . The ash content in the tuberous root ranged from 0.59 to $1.30 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. The fiber content and texture before cooking had a linear increase. The content of K, Mg, Fe and Mn in the tuberous root increased up to the estimated dose of 1.1 ; 1.3 ; 1.6 and 1.4 g pl^{-1} respectively, whereas Ca and Zn had a linear increase in the contents and S had a reduction in the content until the dose of 1.5 g pl^{-1} . There was a linear reduction in the

cooking time, showing that at the highest dose the time was shorter. The loss of K and S had a linear reduction. For the nutrients Fe, Cu, Zn and Mn the loss of nutrients was lower from the estimated dose of 1.4; 1.1; 1.6 and 1.1 g pl⁻¹. Therefore, it is concluded that the cultivar IAC 576-70 fertilized with FeSO₄ had an increase in productivity of 6 kg pl⁻¹, up to the estimated dose of 8.2 g pl⁻¹. Increases were observed in the levels of macro and micronutrients, highlighting the increase of 163% in the accumulation of iron in the tuberous roots. In the cassava experiment with ZnSO₄ fertilization, the number of tuberous roots had a linear increase, with the interference of doses on plant architecture and on the accumulation of macro and micronutrients. As for the sweet potato experiment, there was an increase in the total DM of the tuberous root and the whole plant up to the estimated dose of 1.5 and 1.3 g pl⁻¹ of ZnSO₄, respectively. These results show increases in productivity with Fe and Zn fertilization and point to the possibility of increasing the nutritional value of cassava and sweet potato roots without losses in cooking quality.

Keywords: micronutriente; *Manihot esculenta*; *Ipomea batatas*; fertilization.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	21
CAPÍTULO 1 - DOSES DE FERRO E ZINCO E OS EFEITOS SOBRE A MORFOLOGIA DA PLANTA, PRODUTIVIDADE E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM MANDIOCA IAC 576-70	24
1.1 INTRODUÇÃO	25
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
1.2.1 Localização da área experimental.....	28
1.2.2 Descrição da Cultivar	28
1.2.3 Delineamento experimental e tratamentos.....	28
1.2.4 Instalação e condução dos experimentos	28
1.2.5 Avaliações na colheita.....	31
1.2.5.1 Número e diâmetro das hastes, número de folhas por planta e altura da planta.....	31
1.2.5.2 Número, comprimento, diâmetro e produtividade de raiz tuberosa	31
1.2.5.3 Acúmulos de matéria seca nas folhas, hastes, cepas, raízes tuberosas e planta inteira	32
1.2.5.4 Acúmulos de macro e micronutrientes nas folhas, hastes, cepas e raízes tuberosas.....	32
1.2.6 Análise estatística.....	32
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
1.3.1 Efeitos das doses de adubação com FeSO_4 sobre as características morfológicas e produtividade das plantas de mandioca	32
1.3.2 Efeitos das doses da adubação com FeSO_4 sobre o acúmulo de macro e micronutrientes nas partes da planta de mandioca.....	36
1.3.3 Efeitos das doses de adubação com ZnSO_4 sobre as características morfológicas e de produção das plantas de mandioca	42
1.3.4 Efeitos das doses de adubação com ZnSO_4 sobre o acúmulo de macro e micronutrientes nas partes da planta de mandioca.....	45
1.4 CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS	54

CAPÍTULO 2 - CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS E TECNOLÓGICAS DE RAÍZES DE MANDIOCA IAC 576-70 CULTIVADAS EM SOLOS FERTILIZADOS COM DIFERENTES DOSES DE FE E ZN.....58

2.1	INTRODUÇÃO.....	59
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	61
2.2.1	Localização da área experimental.....	61
2.2.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	61
2.2.3	Instalação e condução dos experimentos.....	62
2.3	Composição nutricional das raízes de mandioca.....	63
2.3.1	Determinação de umidade.....	63
2.3.2	Determinação do teor de cinza.....	63
2.3.3	Determinação do teor de fibra.....	64
2.3.4	Determinação matéria graxa.....	64
2.3.5	Determinação do teor de proteína.....	64
2.3.6	Determinação do teor de açúcares totais.....	64
2.3.7	Determinação do teor de açúcares redutor.....	65
2.3.8	Determinação do teor de amido.....	65
2.3.9	Minerais.....	65
2.4	Avaliações tecnológicas nas raízes cruas e cozidas.....	66
2.4.1	Tempo de cozimento.....	66
2.4.2	Ganho de peso e hidratação.....	66
2.4.3	Cor.....	66
2.4.4	Textura.....	66
2.4.5	Perda de minerais.....	67
2.5	Análise estatística.....	67
2.6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	68
2.6.1	Ensaio 1- Efeitos das doses de FeSO ₄	68
2.6.1.1	Composição nutricional das raízes.....	68
2.6.1.2	Minerais nas raízes cruas.....	70
2.6.1.3	Análises de cozimento.....	72
2.6.1.4	Perda de nutrientes com o cozimento.....	74
2.6.1.5	Análises de correlação e componentes principais.....	76
2.6.2	Ensaio 2- Efeitos das doses de ZnSO ₄	80
2.6.2.1	Composição nutricional das raízes.....	80

2.6.2.2	Minerais nas raízes cruas.....	82
2.6.2.3	Análises de cozimento.....	83
2.6.2.4	Perda de nutrientes com o cozimento.....	85
2.6.2.5	Análises de correlação e componentes principais.....	87
2.7	CONCLUSÕES	90
	REFERÊNCIAS.....	92
	CAÍTULO 3 - EFEITOS DE DOSES DE ZINCO SOBRE OS COMPONENTES PRODUTIVOS E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE BATATA-DOCE.....	98
3.1	INTRODUÇÃO	99
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	100
3.2.1	Localização da área experimental.....	100
3.2.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	101
3.2.3	Instalação e condução dos experimentos	101
3.2.4	Avaliações na colheita.....	103
3.2.4.1	Número de folhas por planta e comprimento da haste principal	104
3.2.4.2	Número, comprimento, diâmetro e produtividade de raízes tuberosas	104
3.2.4.3	Acúmulos de matéria seca das partes aérea, raízes absorventes, raízes tuberosas e planta inteira	104
3.2.4.4	Acúmulos de macro e micronutrientes na parte aérea, raízes absorventes e raízes tuberosas	104
3.2.5	Análise estatística.....	105
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	105
3.3.1	Efeitos das doses de adubação com ZnSO ₄ sobre as características morfológicas e da produtividade das plantas de batata-doce	105
3.3.2	Efeitos das doses de adubação com ZnSO ₄ sobre o acúmulo de macro e micronutrientes nas partes da planta de batata-doce	107
3.4	CONCLUSÕES	114
	REFERÊNCIAS.....	115
	CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DE DOSES DE ZNSO₄ PARA A QUALIDADE DE RAÍZES TUBEROSAS DE BATATA-DOCE.....	117
4.1	INTRODUÇÃO	118
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	120
4.2.1	Localização da área experimental.....	120

4.2.2	Delineamento experimental e tratamentos.....	120
4.2.3	Instalação e condução dos experimentos	120
4.3	Composição nutricional das raízes de batata-doce	122
4.3.1	Determinação de umidade	122
4.3.2	Determinação do teor de cinza.....	123
4.3.3	Determinação do teor de fibra	123
4.3.4	Determinação matéria graxa	123
4.3.5	Determinação do teor de proteína.....	123
4.3.6	Determinação do teor de açúcares totais.....	123
4.3.7	Determinação do teor de açúcares redutor.....	124
4.3.8	Determinação do teor de amido	124
4.3.9	Minerais	125
4.4	Avaliações tecnológicas nas raízes cruas e cozidas.....	125
4.4.1	Tempo de cozimento	125
4.4.2	Ganho de peso e hidratação.....	125
4.4.3	Cor.....	125
4.4.4	Textura	125
4.4.5	Perda de minerais.....	126
4.5	Análise estatística.....	126
4.6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	126
4.6.1	Composição nutricional das raízes.....	126
4.6.2	Minerais nas raízes cruas.....	129
4.6.3	Perda de nutrientes com o cozimento.....	132
4.6.4	Análises de correlação e componentes principais.....	133
4.7	Conclusões.....	137
	REFERÊNCIAS	138
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	141
	REFERÊNCIAS	143

INTRODUÇÃO GERAL

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta originária da América do Sul, cultivada em mais de cem países, com destaque para, Nigéria, Tailândia, Indonésia, Brasil, Congo, Gana, Ásia, África e América Latina (FAO, 2020). Considerada um dos principais alimentos energéticos para milhões de pessoas, a cultura produz razoavelmente em solos pobres, sendo conhecida com uma cultura que não requer adubação e nem responde a ela (FAO, 2019).

O continente africano é responsável por 60,94% da produção de mandioca, com a Nigéria como principal produtor (59,48 milhões de toneladas). A produção da América do Sul representa 8,97% do total, sendo o Brasil o maior produtor (18,80 milhões de toneladas), ocupando a 4ª posição na produção mundial (FAO, 2020).

A raiz tuberosa produz alta quantidade de matéria fresca e seca, conseqüentemente, extraindo altas concentrações de nutrientes do solo, quando comparada a outras culturas. A deficiência é devida a fatores como aumento do cultivo em áreas com baixa fertilidade, redução ou até mesmo falta da aplicação de micronutrientes na cultura (FAGERIA et al., 2002).

A batata-doce é uma cultura originária da América Latina que vem sendo uma das principais culturas do mundo (FAO, 2020). No Brasil, em 2019 o estado de SP destacou-se como segundo maior produtor, com 140.727 toneladas, com a região de Presidente Prudente como a maior produtora estadual (IBGE, 2020).

Quando comparada à mandioca, a batata-doce possui uma grande eficiência por unidade de área e tempo, tendo grande produção em pouco tempo, com grande quantidade de carboidrato, e produção de baixo custo (SILVA et al., 2002; SILVA et al., 2015).

O suprimento alimentar da população mundial é um grande desafio e objeto de várias ações governamentais e não governamentais. Cabe à agricultura mundial atender a demanda crescente de alimentos saudáveis, em grande volume, com respeito ao meio ambiente, com equalização dos custos, ao alcance de todos e, também, que possa suprir as necessidades nutricionais. A estimativa em 2014 de estudo mundial projetava que para atender uma demanda de alimentos em 2050, para uma população com cerca de 9,1 bilhões, a produção mundial de alimentos teria que crescer cerca de 70% (FAO, 2014).

A deficiência de micronutrientes ou fome oculta é pouco visível em relação às deficiências energéticas e/ou proteicas. Sua prevalência é bastante disseminada, com mais de 3 bilhões de pessoas passíveis de serem afetadas por uma ou mais deficiências em micronutrientes (KUMSSA et al., 2015; GREGORY et al., 2017).

O termo micronutriente é frequentemente usado para o grupo dos vinte elementos essenciais que os seres humanos necessitam, sendo que alguns elementos são mais estudados como: cobre (Cu), zinco (Zn), cálcio (Ca), ferro (Fe), selênio (Se), magnésio (Mg) e iodo (I) (MORAES, 2008, GREGORY et al., 2017).

A falta de micronutriente no organismo pode ser reduzida por intervenções no comportamento do consumo e, também, inclui a diversificação da dieta, a suplementação com os micronutrientes, a modificação das escolhas alimentares e a fortificação. Outra forma é a biofortificação, que é o processo de aumentar o conteúdo e/ou a biodisponibilidade de nutrientes essenciais nas plantas via genética e/ou agrônômica (RUEL et al., 2013; GREGORY et al., 2017; VALENÇA et al., 2017).

O zinco possui muitas funções no corpo humano, destacando a influência na proteção estrutural, como na amenização da toxidez dos radicais livres, na integridade das membranas biológicas, na resistência do sistema imunológico e no melhor funcionamento do cérebro (GIBSON, 2006). Cerca de 10% de todas as proteínas contêm Zn como constituinte (BERTINI e ROSATA, 2007). Quando se tem a falta desse elemento no corpo humano, pode ter aumento nos riscos de doenças infecciosas (GIBSON et al., 2008) entre outras doenças.

O ferro participa da biossíntese de ácidos nucléicos no organismo, no desenvolvimento e crescimento celular. Atua também na cadeia respiratória e em vários processos enzimáticos e metabólicos (COMBS, 2001). A deficiência de Fe pode ocasionar várias doenças, e uma delas é a anemia, além de reduzir a capacidade imunológica do organismo (CAKMAK, 2008).

Nas plantas, o ferro e o zinco estão entre os micronutrientes essenciais. O ferro exerce importante papel na transferência de elétrons e transformação de energia, e pode sofrer oxidações e reduções reversíveis. O zinco pertence ao grupo de nutrientes que permanecem na forma iônica, tendo importante papel como cofator enzimático. O balanço adequado desses micronutrientes na planta é de grande importância, assim, nos processos de biofortificação agrônômica a definição dos níveis e a forma de aplicação dos fertilizantes são essenciais (TAIZ et al., 2017).

Outro importante aspecto a ser considerado na fertilização com micronutrientes, é que tanto a mandioca, como a batata-doce, tem como importante aspecto para a aceitação comercial a qualidade de cozimento, a qual é afetada pelas características da parede celular.

Frente ao exposto, este estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da fertilização com ferro e zinco no cultivo da mandioca sobre a produção agrícola, qualidade nutricional e tecnológica das raízes. Assim como, verificar a influência das doses de fertilização com zinco no cultivo de batata-doce sobre o desempenho produtivo, atributos físicos e químicos das raízes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Experimento de mandioca ferro: a cultivar IAC 576-70 teve aumento da produtividade de 6 kg pl^{-1} das raízes até a dose estimada de 8,2 g pl^{-1} , bem como aumento na MS nas raízes tuberosas em comparação com a testemunha. O acúmulo de $FeSO_4$ nas raízes tuberosas aumentou 9,7 g pl^{-1} . Aumento também nos teores de macro e micronutrientes quando comparado com a testemunha. As doses influenciaram na arquitetura das plantas. Houve aumento no tempo de cozimento, na textura e no cálcio nas raízes tuberosas.

Experimento de mandioca zinco: o número de raiz tuberosa teve um aumento linear. A produtividade teve aumento até a dose estimada de 2,5 g pl^{-1} . Teve a interferência das doses na arquitetura das plantas e no acúmulo de macro e micronutrientes. Com o aumento do $ZnSO_4$ se teve a diminuição de cinza, fibra, matéria graxa, açúcares totais entre outros.

Experimento de batata-doce: se teve um aumento da MS total da raiz tuberosa e da planta inteira até a dose estimada de 1,5 e 1,3 g pl^{-1} de $ZnSO_4$ respectivamente. O acúmulo de P, K, Mg e Fe foi maior em comparação com a testemunha, já o Ca se teve um aumento linear. A quantidade de cinza foi maior na maior dose de $ZnSO_4$, para o teor de fibra, textura antes do cozimento e o teor de Zn e Ca na raiz ocorreu aumento linear. O tempo de cozimento diminuiu com o aumento das doses.

REFERÊNCIAS

- BERTINI, I.; ROSATA, A. From genes to metalloproteins: a bioinformatics approach. **European Journal Inorganic Chemistry**, v. 18, p. 2546-55, 2007.
- BLACK, R. E. et al. Maternal and child under-nutrition: global and regional exposures and health consequences. **Lancet**, London, v. 371, n. 9608, p. 243-260, Jan. 2008.
- CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification. **Plant and Soil**, The Hague, v. 302, n. 1-2, p. 1-17, Jan. 2008.
- COMBS, G. F. Selenium in global food systems. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.85, n. 5, p. 517-547, May 2001.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Micronutrients in crop production. **Advances in Agronomy**, Newark, v.77, p.185-268, 2002.
- FAO (2020) **Faostat**. Disponível em: (Acesso em 14 out 2020).
- FAO, IFAD, WFP. The state of food insecurity in the world 2014: Strengthening the enabling environment for food security and nutrition. **FAO**, Rome. 2014.
- FAO. Agricultural data **FAOSTAT**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 12 de junho de 2019.
- GIBSON, R. S. et al. Indicators of zinc status at the population level: a review of the evidence. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 99, n. 3, p. 14-22, June 2008.
- GIBSON, R. S. Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. **Proceeding of the Nutrition Society**, Washington, v. 65, n. 1, p. 51-60, Feb. 2006.
- GREGORY, P.J., Wahbi, A., Adu-Gyamfi, J., Heiling, M., Grber, R., Joy, E. J. M., & Broadley, M. R. Approaches to reduce zinc and iron deficits in food systems. **Global Food Security**, 15, 1-10. Doi:10.1016/ J.GFS.2017.03.003. 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA**, 2020. Disponível em: (Acesso em 14 out 2020).
- KUMSSA, D.B., Joy, E.J.M., Ander, E.L., Watts, M.J., Young, S.D., Walker, S., Broadley, M.R., 2015. **Dietary calcium and zinc deficiency risks are decreasing but remain prevalent**. Sci. Rep.2015.
- MACKENZIE, G. G. et al. Zinc deficiency in neuronal biology. **Life**. Rockville, v. 59, n. 4-5, p. 299-307, May 2007.
- MORAES, M.F. **Relação entre nutrição de plantas, qualidade de produtos agrícolas e saúde humana**. Informações Agrônomicas, Piracicaba, v. 123, n.1, 21-23, Set. 2008.

PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. Biofortification: breeding micronutrient-dense crops. In: KANG, M. S.; PRIYADARSHAN, P. M. (Ed.). **Breeding major food staples**. Blackwell Science: New York. p.61-91. 2007.

RUEL, M.T., Alderman, H. Nutrition-sensitive interventions and programmes: how can they help to accelerate progress in improving maternal and child nutrition? (and the maternal and Child Nutrition Study Group). **Lancet** 382, 536-551. 2013.

SILVA, G. O.; SUINAGA, F. A.; PONIJALEKI, R.; AMARO, G. B. Desempenho de cultivares de batata-doce para caracteres relacionados com o rendimento de raiz. **Revista Ceres**, v. 62, n. 4, p. 379-383, 2015.

SILVA, J.B.C.; LOPES, C.A.; MAGALHÃES, J.S. Cultura da batata-doce. In: Cereda, M.P. (coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino-Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v.2, p.448-504, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal e Desenvolvimento Vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VALENÇA.W. A; BAKE.A; BROUWE. D.I; GILLER.E.K. **Agronomic biofortification of crop to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa**. Volume 12. Pages 8-14. March 2017.