

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 Silva, Jessica Aparecida da
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
144 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientadora: Magali Leonel
Coorientadora: Adalton Mazetti Fernandes

1. Micronutriente. 2. Manihot esculenta. 3. Ipomoea batatas. 4. Adubação. I. Título.

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

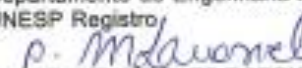
ORIENTADORA: MAGALI LEONEL

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-Doutorado - 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 Agronômicas 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 4^a posição na produção mundial (FAO, 2020).

A raiz tuberosa produz alta quantidade de matéria fresca e seca, consequentemente, 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 deficiência 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 nucleicos 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.

CAPÍTULO 1

DOSES DE FERRO E ZINCO E OS EFEITOS SOBRE A MORFOLOGIA DA PLANTA, PRODUTIVIDADE E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM MANDIOCA IAC 576-70¹

Resumo

A nutrição adequada das plantas de mandioca com ferro e zinco pode aumentar a produtividade de raízes tuberosas. Com isso, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito das doses de adubação com Fe e Zn na morfologia da planta, desempenho produtivo e no acúmulo de nutrientes em plantas de mandioca. Foram realizados dois experimentos independentes, os quais foram conduzidos em caixas plásticas de 310L. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com oito repetições. Nos tratamentos com Fe foram utilizadas as doses de 0; 3,8; 7,5; 11,3 e 15,0 g pl⁻¹ de FeSO₄, sendo equivalentes a 0, 25, 50,75 e 100 kg ha⁻¹. Enquanto nos tratamentos com Zn as doses foram de 0, 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 g pl⁻¹ de ZnSO₄, sendo equivalentes a 0, 10, 20, 30 e 40 kg ha⁻¹. Em ambos experimentos houve a interferência das doses de fertilizantes na arquitetura da planta de mandioca e, também, no acúmulo de macro e micronutrientes. Os resultados evidenciaram aumento na produtividade até a dose estimada de 10,9 g pl⁻¹ de FeSO₄. Não foram observados efeitos das doses de FeSO₄ sobre os acúmulos de N, P, K e S nas folhas e hastes, Ca nas hastes, Mg nas hastes e cepa, e P e S nas raízes. O Ca nas raízes tuberosas aumentou até a dose estimada de 7,8 g pl⁻¹. Na fertilização com ZnSO₄ foi observado aumento da produtividade em média de 6 kg planta⁻¹ com incremento significativo até a dose estimada de 2,5 g pl⁻¹ de ZnSO₄. A fertilização levou a aumentos no acúmulo de matéria seca nas folhas até a dose estimada de 3,1 g pl⁻¹ e nas raízes até a dose estimada de 2,5 g pl⁻¹ de ZnSO₄. O Zn nas raízes tuberosas aumentou até a dose estimada de 2,8 g pl⁻¹ de ZnSO₄.

Palavras chaves: nutrição mineral; *Manihot esculenta*; adubação.

¹ Capítulo redigido e submetido na Revista Ciência Rural.

Abstract

Adequate nutrition of cassava plants with iron and zinc can increase the productivity of tuberous roots. The objective of this study was to evaluate the effect of fertilization levels with Fe and Zn on plant morphology, productive performance and nutrient accumulation in cassava plants. Two independent experiments were carried out with the plant grown in 310L plastic boxes. The experimental design used was randomized blocks, with eight replications. In treatments with Fe, doses of 0; 3.8; 7.5; 11.3 and 15.0 g pl⁻¹ of FeSO₄, being equivalent to 0, 25, 50.75 and 100 kg ha⁻¹. While in the treatments with Zn the doses were 0, 1.5; 3.0; 4.5 and 6.0 g pl⁻¹ of ZnSO₄, being equivalent to 0, 10, 20, 30 and 40 kg ha⁻¹. In both experiments there was an interference of fertilizer doses on the architecture of the cassava plant and also on the accumulation of macro and micronutrients. The results showed an increase in productivity up to the estimated dose of 10.9 g pl⁻¹ of FeSO₄. There were no effects of FeSO₄ doses on the accumulation of N, P, K and S in the leaves and stems, Ca in the stems, Mg in the stem and planted cutting, and P and S in the roots. The Ca in the tuberous roots increased up to the estimated dose of 7.8 g pl⁻¹. In the fertilization with ZnSO₄, it was observed an increase in productivity of an average of 6 kg plant⁻¹ with a significant increase up to the estimated dose of 2.5 g pl⁻¹ of ZnSO₄. Fertilization led to increases in dry matter accumulation in leaves up to an estimated dose of 3.1 g pl⁻¹ and in roots up to an estimated dose of 2.5 g pl⁻¹ of ZnSO₄. Zn in tuberous roots increased up to the estimated dose of 2.8 g pl⁻¹ of ZnSO₄.

Keywords: mineral nutrition; *Manihot esculenta*; fertilization.

1.1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é um alimento energético muito importante para a segurança alimentar mundial e para a população brasileira. Comparada a outras importantes culturas, a mandioca destaca-se pela elevada densidade energética (250 kcal/ha/dia), superando o milho (200 kcal/ha/dia), o arroz (176 kcal/ha/dia) e o trigo (110 kcal/ha/dia) (EL-SHARKAWY, 2012; LEONEL et al., 2015; BYJU; SUJA, 2019).

Devido a características de tolerância a vários estresses ambientais como altas temperaturas e déficit hídrico (EL-SHARKAWY, 2006), a mandioca é geralmente

cultivada em solos de baixa fertilidade, muitas vezes com pouca ou nenhuma aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas. Sua eficácia de produzir onde outras culturas não se adaptam levou a crença que a fertilidade do solo não é importante na produção da cultura. No entanto, quando cultivares melhoradas são cultivadas sem fertilizantes ou em solos de fertilidade natural, a produtividade tem limitações (FENING et al., 2009; BIRATU et al., 2018).

As diferenças entre os rendimentos potenciais e reais, conhecidas como lacunas de rendimento, são grandes para a mandioca na maioria dos países produtores. A produtividade média varia de 1,13 a 32,68 t ha⁻¹ entre os países produtores de mandioca, sendo o rendimento médio global 11,80 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2018), o que segundo Byju et al. (2012) está muito abaixo do potencial produtivo da cultura que é de 80 a 100 t ha⁻¹. O rendimento é determinada por fatores fisiológicos e fenológicos, que são influenciados pelo genótipo, ambiente e manejo da cultura.

Esta diferença de produtividade também é evidenciada no Brasil, onde a cultura está presente em praticamente todos os estados e a produtividade média é de 14,7 t ha⁻¹. Maiores rendimentos agrícolas têm sido obtidos no Paraná (23,0 t ha⁻¹), São Paulo (22,9 t ha⁻¹) e Mato Grosso do Sul (21,6 t ha⁻¹), estados brasileiros em que vêm ocorrendo avanços na seleção de cultivares e nas práticas agrícolas (IBGE, 2019).

A baixa produtividade está relacionada a baixa tecnologia disponível (GOMES e SILVA, 2006), além do uso incorreto e desequilibrado de fertilizantes (EZUI et al., 2016), entre outros aspectos.

A planta de mandioca absorve grandes quantidades de nutrientes e exporta cerca de 1,27; 0,52; 3,02; 0,76; 0,60 e 0,36 kg t⁻¹ de raízes produzidas respectivamente de N, P, K, Ca, Mg e S e 16,0; 1,51; 0,68; 2,23 e 2,43 g t⁻¹, respectivamente de Fe, Mn, Cu, Zn e B. Embora seja considerada uma cultura adaptada a condições de baixa fertilidade, é necessário que se atenda às necessidades que a planta precisa por meio da adubação em quantidades economicamente ajustadas (NGUYEN et al., 2002; LEONEL et al., 2015).

Existem dois critérios definidos para que um elemento seja essencial para o crescimento da planta, primeiro: quando a planta é incapaz de ter o seu ciclo completo na ausência de um elemento, segundo: quando o referido elemento é parte de algum constituinte ou metabólico essencial da planta. Entre a classificação tradicional de nutrientes e elementos benéficos às plantas o ferro (Fe) e o zinco (Zn) estão incluídos

na categoria de micronutrientes essenciais para os sistemas biológicos (HELL, 2003; TAIZ et al., 2017).

Deficiências em micronutrientes como Fe, Mn, Zn, Cu e B são comumente relatadas em solos calcários com pH alcalino, mas deficiências de Zn e B também são observadas em solos ácidos (HOWELER, 2014).

O ferro é um dos elementos mais abundantes no meio ambiente, mas é o terceiro nutriente mais limitante nas plantas, principalmente devido à sua baixa solubilidade, especialmente em solos alcalinos (pH maior de 7) e calcários com mais de 30% de calcário no solo (carbonato de cálcio). No Brasil e na maioria das regiões tropicais os solos são ácidos, os quais são altamente intemperizados como os latossolos que são ricos em óxidos de Fe e Al. Portanto, os solos brasileiros têm normalmente uma alta disponibilidade de Fe. Este micronutriente é essencial para muitos processos vitais, como síntese de DNA, produção de energia (respiração) e conversão de energia (fotossíntese) entre outros. O Fe compete com outros metais de transição, como Cu, Zn e Mn, em sua absorção, transporte e reação química dentro das células vegetais (ROUT e SAHOO, 2015; RAI et al., 2021).

A deficiência de Fe em mandioca tem como característica com clorose uniforme das folhas superiores e dos pecíolos. A deficiência inicialmente começa nas nervuras e os pecíolos continuam verdes, tornando-se de cor amarelo-pálida, quase branca, e tendo seu tamanho reduzido. As folhas jovens ficam pequenas, porém, sem alteração de formato (MATTOS e BEZERRA, 2003).

O zinco é um micronutriente limitador para várias culturas, pela sua baixa concentração no solo (PRADO, 2008). Ele é um cofator nas reações enzimáticas sendo assim, participa de vários ciclos bioquímicos das plantas, como fotossíntese e formação de açúcares, síntese de proteínas, defesa contra doenças e regulação do crescimento (AIRES, 2009).

A deficiência de zinco em muitas culturas provoca o encurtamento dos internódios, e as folhas se tornam pequenas; no entanto, com faixas amareladas (ou brancas) entre a nervura e as bordas das folhas (PRADO, 2008).

Diante da grande importância da mandioca como fonte de energia e da fertilização como forma de garantir melhores rendimentos agrícolas, este estudo teve por objetivo avaliar os efeitos das doses de adubação com ferro e zinco na morfologia da planta, desempenho produtivo e no acúmulo de nutrientes em planta de mandioca.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Localização da área experimental

Foram instalados dois ensaios experimentais no Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), localizado no município de Botucatu-SP. As coordenadas geográficas são: 22°59' S; 48°30' W e com altitude de 778 m.

1.2.2 Descrição da Cultivar

Foi utilizada a cultivar de mandioca IAC 576-70, considerada a principal cultivar plantada no estado de São Paulo para o consumo de mesa. Essa cultivar tem como principais características a alta produtividade de raízes (22 t ha⁻¹), resistência elevada à bacteriose (*Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*), película suberosa rugosa de coloração marrom-escura, polpa de coloração amarelo claro, teor de beta-caroteno da ordem de 287 µg 100 g⁻¹ (MEZETTE et al., 2009) e teor de HCN variando de 30 a 120 mg eq. de HCN kg⁻¹ na polpa das raízes (IAC, 2010; LEONEL et al., 2015).

1.2.3 Delineamento experimental e tratamentos

Os experimentos foram conduzidos no delineamento de blocos ao acaso com oito repetições. As fontes de ferro e zinco que foram utilizadas foram o sulfato de ferro (FeSO₄) e o sulfato de zinco (ZnSO₄) e o fornecimento foi de acordo com os tratamentos.

No ensaio 1 foram avaliadas cinco doses de FeSO₄, 0, 3,8; 7,5; 11,3 e 15,0 g pl⁻¹, equivalentes a 0, 25, 50, 75 e 100 kg ha⁻¹, enquanto no ensaio 2 foram avaliadas cinco doses de ZnSO₄, 0, 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 g pl⁻¹ equivalentes a 0, 10, 20, 30 e 40 kg ha⁻¹.

Nos dois ensaios experimentais, cada parcela foi representada por uma caixa d'água plástica de 310 L, contendo uma planta de mandioca no espaçamento de 1,00 m x 1,5 m (Figura 1).

1.2.4 Instalação e condução dos experimentos

Previamente a instalação dos experimentos foi coletado solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, para se fazer a determinação das características químicas (RAIJ et al., 1991), sendo o resultado apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0-20 cm antes da adubação.

Antes da adubação	
Atributos*	
pH (CaCl ₂)	5,1
M.O (g dm ⁻³)	10,0
P resina (mg dm ⁻³)	6,0
H + AL (mmolc dm ⁻³)	14,0
K (mmolc dm ⁻³)	1,1
Ca (mmolc dm ⁻³)	11,0
Mg (mmolc dm ⁻³)	5,0
SB (mmolc dm ⁻³)	17,0
CTC (mmolc dm ⁻³)	31,0
V%	55,0
Fe (mg dm ⁻³)	5,0
Cu (mg dm ⁻³)	0,4
Mn (mg dm ⁻³)	2,2
Zn (mg dm ⁻³)	0,4
B (mg dm ⁻³)	0,1

*MO = matéria orgânica; CTC = capacidade de troca catiônica e V% = saturação por bases.

O solo coletado foi da Fazenda Experimental de São Manuel- UNESP, São Manuel- SP. O solo do local é um Latossolo Vermelho distrófico, de textura arenosa. O solo não recebeu calagem devido aos valores de saturação por bases estar dentro da faixa considerada como adequada para a cultura (V = 50%). Os teores de Fe no solo eram considerados como médios (Fe = 5-12 mg dm⁻³; Raij et al., 1997) e os teores de Zn no solo eram considerados baixos para a mandioca (Zn < 0,6 mg dm⁻³; Lorenzi et al., 1997).

Para o plantio da mandioca, o solo foi inicialmente colocado nas caixas de 310 L, com altura de 0,54 m e diâmetro de 1,04 m. Em seguida, abriram-se covas de aproximadamente 15 cm de profundidade no centro das caixas. Na adubação de plantio foram aplicadas as doses de 100 g pl⁻¹ de P₂O₅ (equivalente a 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅), 25 g pl⁻¹ de K₂O (equivalente a 100 kg ha⁻¹ de K₂O), 0,88 g pl⁻¹ de boro (equivalente a 1kg ha⁻¹ de boro). O nitrogênio foi feito em cobertura 35 dias após o plantio, aplicando 13,64 g pl⁻¹ (equivalente a 40 kg ha⁻¹). Como fonte de N, P, K e B foram utilizados os fertilizantes ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P₂O₅), cloreto de potássio (60% de K₂O) e ácido bórico (17% de B), respectivamente.

A adubação foi realizada na base e a aplicação foi no sulco de plantio. Após a aplicação dos fertilizantes nas covas, os mesmos foram incorporados ao solo da cova e em seguida foi depositada horizontalmente uma maniva-semente por cova e fechada manualmente. Para o plantio da mandioca foram utilizadas manivas-

sementes de 15 cm de comprimento, as quais foram retiradas do terço médio de plantas com 12 meses de idade. O plantio foi feito em 25/04/2019.

A irrigação foi realizada através de um sistema de gotejamento atendendo as necessidades de demanda hídrica para a cultura.

O controle fitossanitário foi realizado de acordo com a necessidade e as recomendações técnicas. A colheita das plantas foi realizada aos 368 dias após o plantio, no dia 28/04/2020 (Figura 1).

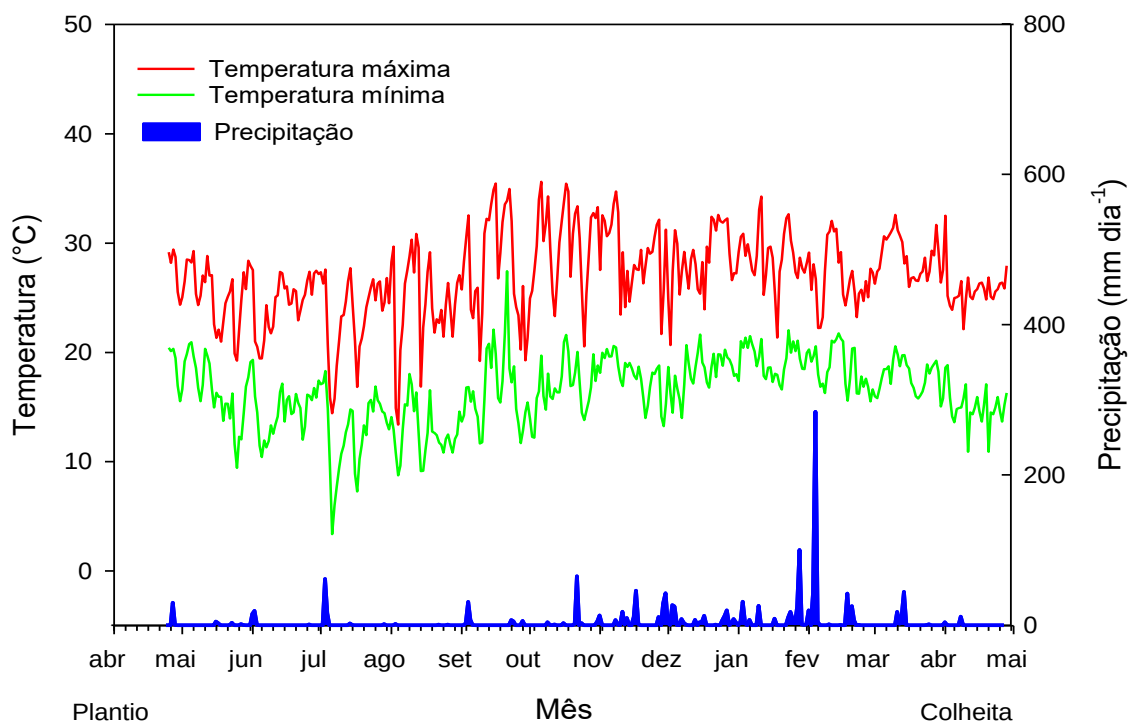
Durante a condução dos ensaios experimentais foram coletados dados diários de temperaturas máximas, mínimas e pluviosidade (Figura 2).

Figura 1 – Área experimental com plantas de mandioca cv. IAC 576-70



Fonte: Jessica Silva (2019)

Figura 2 - Temperaturas máximas, médias, mínimas e precipitação ao longo do experimento, no período de abril de 2019 a maio de 2020. Botucatu, SP



1.2.5 Avaliações na colheita

A colheita das plantas foi realizada no início da senescência do primeiro ciclo vegetativo da planta (368 dias após o plantio, ou seja, no mês de abril de 2020), marcado pelo declínio do número de folhas. Nos dois ensaios a colheita foi realizada no período da manhã e as partes das plantas foram separadas.

1.2.5.1 Número e diâmetro das hastes, número de folhas por planta e altura da planta

O número de hastes e de folhas por planta foi determinado mediante contagem dessas estruturas. O diâmetro das hastes foi medido a altura de 10 cm da superfície do solo. A altura das plantas foi determinada a partir da superfície do solo até o ponto mais alto da planta.

1.2.5.2 Número, comprimento, diâmetro e produtividade de raiz tuberosa

O número de raízes por planta foi contado, sendo determinado o comprimento e o diâmetro das raízes tuberosas. O comprimento foi medido de uma extremidade a outra das raízes e o diâmetro foi determinado na região do terço médio com auxílio de

um paquímetro. O peso total das raízes por planta (produtividade) foi aferido em balança digital.

1.2.5.3 Acúmulos de matéria seca nas folhas, hastes, cepas, raízes tuberosas e planta inteira

Foram realizadas pesagens das partes das plantas para se obter os valores de matéria fresca. Em seguida, as amostras do material fresco foram coletadas, pesadas e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar à 65 °C até atingir peso constante. Após a secagem, o material foi pesado (peso seco) e calculou-se a matéria seca (MS) acumulada em cada parte da planta. A MS da planta inteira foi obtida pelo somatório da MS acumulada em cada parte da planta. As amostras secas foram moídas em moinho tipo Wiley (modelo TECNAL, TE-650/1), com peneira de 1 mm e armazenadas em embalagens plásticas para as análises laboratoriais.

1.2.5.4 Acúmulos de macro e micronutrientes nas folhas, hastes, cepas e raízes tuberosas

As amostras secas e moídas (item 1.2.5.3) foram submetidas a análise dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA et al., 1997). Com os resultados, foram estimadas as quantidades de nutrientes acumuladas em cada parte da planta, multiplicando-se o teor de cada nutriente pela matéria seca do referido órgão.

1.2.6 Análise estatística

Os dados obtidos em cada experimento foram submetidos à análise de variância. O efeito das doses de FeSO_4 e ZnSO_4 foram avaliados por análise de regressão ($p \leq 0,05$). O critério para a escolha do modelo linear ou quadrático, foi escolhido a partir do maior R^2 . A análise estatística foi realizada com auxílio do *software* Sisvar. Os gráficos foram feitos no Excel.

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Efeitos das doses de adubação com FeSO_4 sobre as características morfológicas e produtividade das plantas de mandioca

A variação nas doses de fertilizante levou a mudanças nas características morfológicas da planta de mandioca. Na parte aérea, foi observado que o aumento do

nível de FeSO_4 levou a um aumento no número de hastes. Para o diâmetro das hastes, até a dose estimada de $5,4 \text{ g pl}^{-1}$ houve redução, com incremento após esta dose. As plantas de mandioca fertilizadas com FeSO_4 foram aproximadamente 26 cm menores em altura em relação ao controle. Não houve interferência das doses de fertilizante sobre o comprimento das raízes. Foi observado também aumento do diâmetro da raiz com o aumento das doses de fertilizante aplicadas, porém, com o pico não diferindo dos valores médios observados no controle (Tabela 2, Figura 4).

Estes resultados mostram que a fertilização com FeSO_4 interferiu na arquitetura da planta (Figura 3), deixando-a mais esgalhada e com menor porte. Estas alterações morfológicas estão relacionadas aos efeitos do ferro na fisiologia das plantas, pois o ferro interfere nos cloroplastos das plantas, diminuindo a atividade fotossintética, os pigmentos plastídicos e as proteínas. Tanto a utilização de ribulose-1,5-bis-fosfato pela Rubisco como sua regeneração pelo ciclo de Calvin são afetadas pelos níveis de ferro no solo (TOGNETTI et al., 2007).

Figura 3 - Arquitetura das plantas de mandioca cv. IAC 576-70 fertilizadas com FeSO_4 .



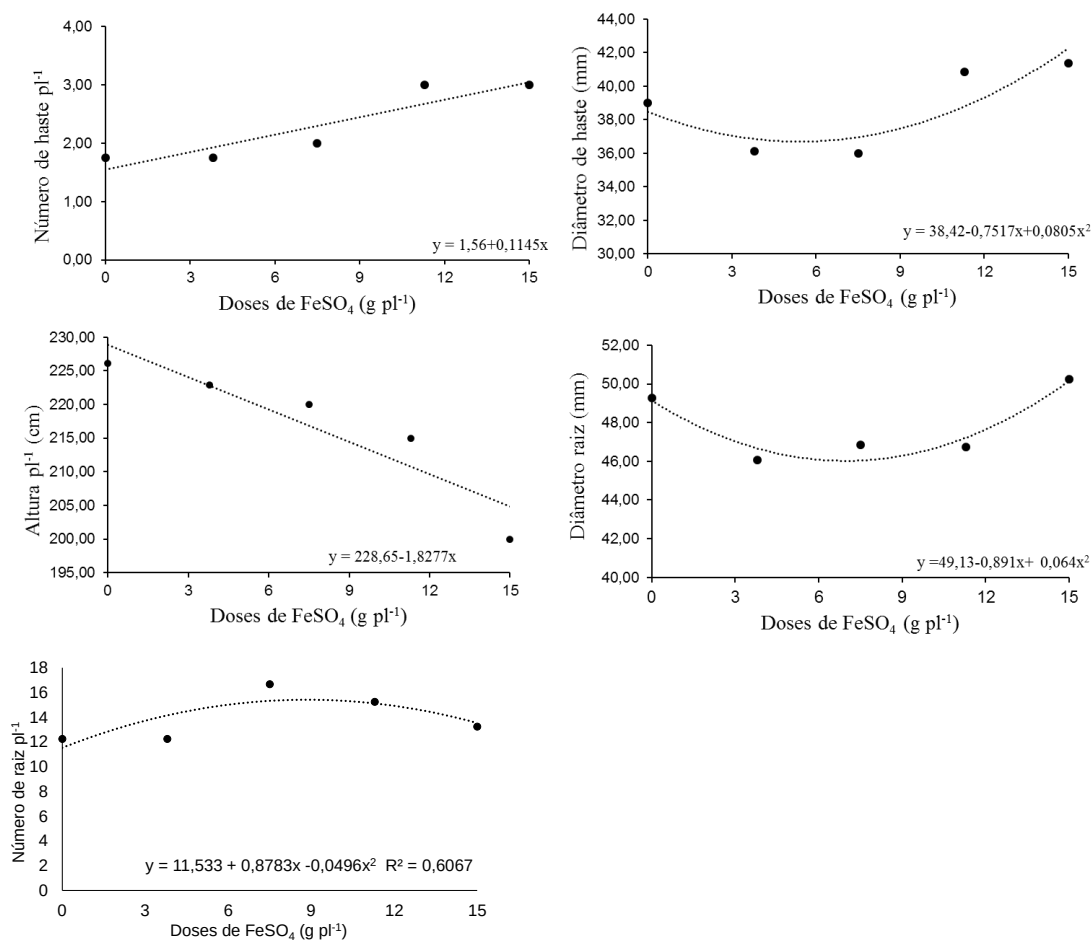
Fonte: Jessica Silva (2019)

Tabela 2 - Número de hastes, diâmetro médio das hastes, altura da planta, número de folhas por planta, número, comprimento e diâmetro médio de raízes tuberosas nas plantas de mandioca com diferentes doses de FeSO_4

	Doses de FeSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0	3,8	7,5	11,3	15,0		
Hastes pl^{-1} (no.)	1,8	1,8	2,0	3,0	3,0	0,84	0,0000
Diâmetro de haste (mm)	39,0	36,1	36,0	40,9	41,4	0,74	0,0001
Altura de planta (cm)	226,1	222,9	220,0	215,0	200,0	0,86	0,0359
Folhas pl^{-1} (no.)	1205	528	859	977	1081	ns	ns
Raiz tuberosa pl^{-1} (no.)	12,25	12,25	16,67	15,25	13,25	0.61	0,0465
Comprimento raiz pl^{-1} (no.)	33,00	32,50	33,33	35,00	33,50	ns	ns
Diâmetro raiz pl^{-1} (mm)	49,29	46,07	46,84	46,75	50,26	0,90	0,0138

ns é não significativo

Figura 4 - Efeitos das doses de FeSO_4 sobre as características morfológicas da planta de mandioca IAC 576-70



A análise dos dados de produção das plantas de mandioca evidenciaram produtividade de 6 kg pl⁻¹ com aumento significativo até a dose de 8,0 g pl⁻¹. Também foram observados aumentos no acúmulo de massa seca das raízes tuberosas e nas cepas até a dose de 6,0 g pl⁻¹ (Tabela 3, Figura 5). Han et al. (1998) apresentaram que plantas eficientes em Fe o acumulam no espaço livre aparente das raízes, ativando-o e transportando-o, em caso de deficiência.

Em solos com baixa disponibilidade de Zn e com média disponibilidade de Fe a aplicação desses nutrientes é fundamental para aumentar a produtividade de raízes da mandioca.

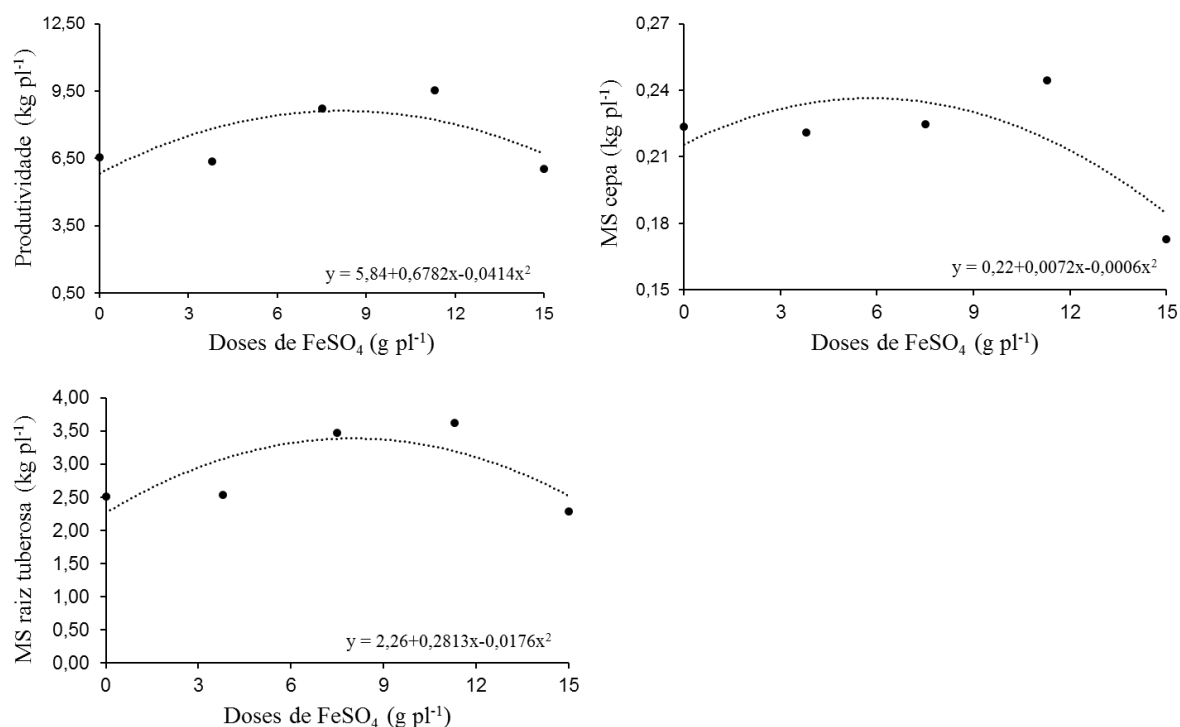
Segundo Taiz e Zeiger (2009), o acúmulo da matéria seca é a consequência do processo fotossintético, o qual é capaz de fixar carbono atmosférico através da conversão da energia luminosa em energia química. O acúmulo da MS varia nas diferentes fases da planta e a eficiência desta conversão determina parcialmente a produtividade agrícola (GARCIA et al., 2003), onde o carregamento dos foto assimilados para a parte de interesse comercial é que determina a produtividade da cultura (RAJCAN e TOLLENAAR, 1999; SUN et al., 2009).

Tabela 3 - Produtividade e acúmulo de massa seca (MS) de folhas, hastes, cepas, raízes tuberosas e na planta inteira da mandioca com diferentes doses de FeSO₄

	Doses de FeSO ₄ (g pl ⁻¹)					R ²	F-value
	0	3,8	7,5	11,3	15,0		
Produtividade (kg pl ⁻¹)	6,53	6,38	8,72	9,52	6,02	0,52	0,0020
MS folhas (kg pl ⁻¹)	0,51	0,39	0,44	0,48	0,40	ns	ns
MS haste (kg pl ⁻¹)	1,21	1,06	1,09	1,50	1,15	ns	ns
MS de cepa (kg pl ⁻¹)	0,22	0,22	0,23	0,25	0,17	0,59	0,0018
MS de raiz tuberosa (kg pl ⁻¹)	2,52	2,54	3,46	3,63	2,29	0,60	0,0006
MS da planta inteira (kg pl ⁻¹)	4,46	4,21	5,23	5,86	4,01	ns	ns

ns é não significativo.

Figura 5- Efeitos das doses de FeSO_4 sobre as características de produção da planta de mandioca IAC 576-70



1.3.2 Efeitos das doses da adubação com FeSO_4 sobre o acúmulo de macro e micronutrientes nas partes da planta de mandioca

Na análise dos dados não foram observados efeitos das doses de FeSO_4 sobre os acúmulos de N, P, K e S nas folhas de mandioca, assim como sobre os acúmulos de N, P, K, Ca, Mg e S nas hastes, Mg na cepa, P e S nas raízes (Tabela 4 e Figuras 6 e 7). Estes resultados apontam para baixa interferência das doses de fertilizante aplicados sobre o acúmulo de macronutrientes nas partes da planta. Segundo os estudos de Chen et al. (2006) e Louise e Campbell (1996), quando se tem alterações nutricionais a maior parte está relacionada a formação de uma “placa de ferro” na superfície radicular. Estas “placas” são formadas de óxidos e hidróxidos de ferro com elevada aptidão para adsorver diferentes minerais (LIU et al., 2008; ZHANG; ZHANG; MAO, 1999), porém podendo atuar como uma barreira a absorção de determinados nutrientes. Estas “placas de ferro” podem ser um reservatório de vários outros nutrientes (ZHANG; ZHANG; MAO, 1999).

Nas partes da planta onde foram observados efeitos das doses de FeSO_4 sobre o acúmulo de macronutrientes (Figuras 6 e 7) foi possível observar que houve a diminuição do acúmulo de K nas cepas e Mg nas folhas. Para os outros nutrientes

todos tiveram incremento comparado com a testemunha. O cálcio nas raízes tuberosas aumentou até a dose estimada de 7,8 g pl⁻¹.

Tabela 4 - Acúmulo de macronutrientes nas folhas, hastes, cepas e raízes tuberosas da mandioca com diferentes doses de FeSO₄

	Doses de FeSO ₄ (g pl ⁻¹)					R ²	P-value
	0	3,8	7,5	11,3	15,0		
N na folha (g/pl)	10,69	8,21	9,79	10,54	7,84	ns	ns
N na haste (g/pl)	8,83	7,82	8,44	11,52	8,55	ns	ns
N na cepa (g/pl)	1,80	1,80	1,84	1,99	1,40	0,61	0,0043
N na raiz tuberosa (g/pl)	9,44	10,64	13,79	13,03	7,51	0,81	0,0001
P na folha (g/pl)	0,66	0,47	0,59	0,59	0,47	ns	ns
P na haste (g/pl)	1,06	0,97	0,95	1,31	0,85	ns	ns
P na cepa (g/pl)	0,20	0,20	0,18	0,19	0,13	0,79	0,0001
P na raiz tuberosa (g/pl)	1,89	1,65	2,52	3,18	1,54	ns	ns
K na folha (g/pl)	5,09	3,76	4,80	4,29	3,75	ns	ns
K na haste (g/pl)	7,98	7,80	7,90	8,72	7,76	ns	ns
K na cepa (g/pl)	1,37	1,24	1,23	1,31	0,92	0,58	0,0016
K na raiz tuberosa (g/pl)	21,59	24,84	30,48	32,14	18,03	0,75	0,0000
Ca na folha (g/pl)	11,13	8,27	9,75	9,51	7,05	ns	ns
Ca na haste (g/pl)	13,71	13,59	14,46	17,33	12,44	ns	ns
Ca na cepa (g/pl)	1,40	1,57	1,69	1,75	1,41	0,86	0,0000
Ca na raiz tuberosa (g/pl)	2,37	2,44	3,54	3,33	2,10	0,67	0,0000
Mg na folha (g/pl)	1,53	1,06	1,03	1,14	0,79	0,67	0,0002
Mg na haste (g/pl)	1,85	1,90	1,83	2,64	1,94	ns	ns
Mg na cepa (g/pl)	0,26	0,24	0,27	0,27	0,25	ns	ns
Mg na raiz tuberosa (g/pl)	1,24	1,36	1,64	1,75	0,93	0,71	0,0000
S na folha (g/pl)	0,73	0,60	0,73	0,84	0,72	ns	ns
S na haste (g/pl)	1,08	0,98	1,09	1,30	1,06	ns	ns
S na cepa (g/pl)	0,11	0,11	0,12	0,12	0,09	0,73	0,0370
S na raiz tuberosa (g/pl)	0,86	0,75	0,93	0,95	0,65	ns	ns

ns é não significativo.

Figura 6 - Efeitos das doses de FeSO_4 sobre o acúmulo de macronutrientes nas partes das plantas de mandioca IAC 576-70

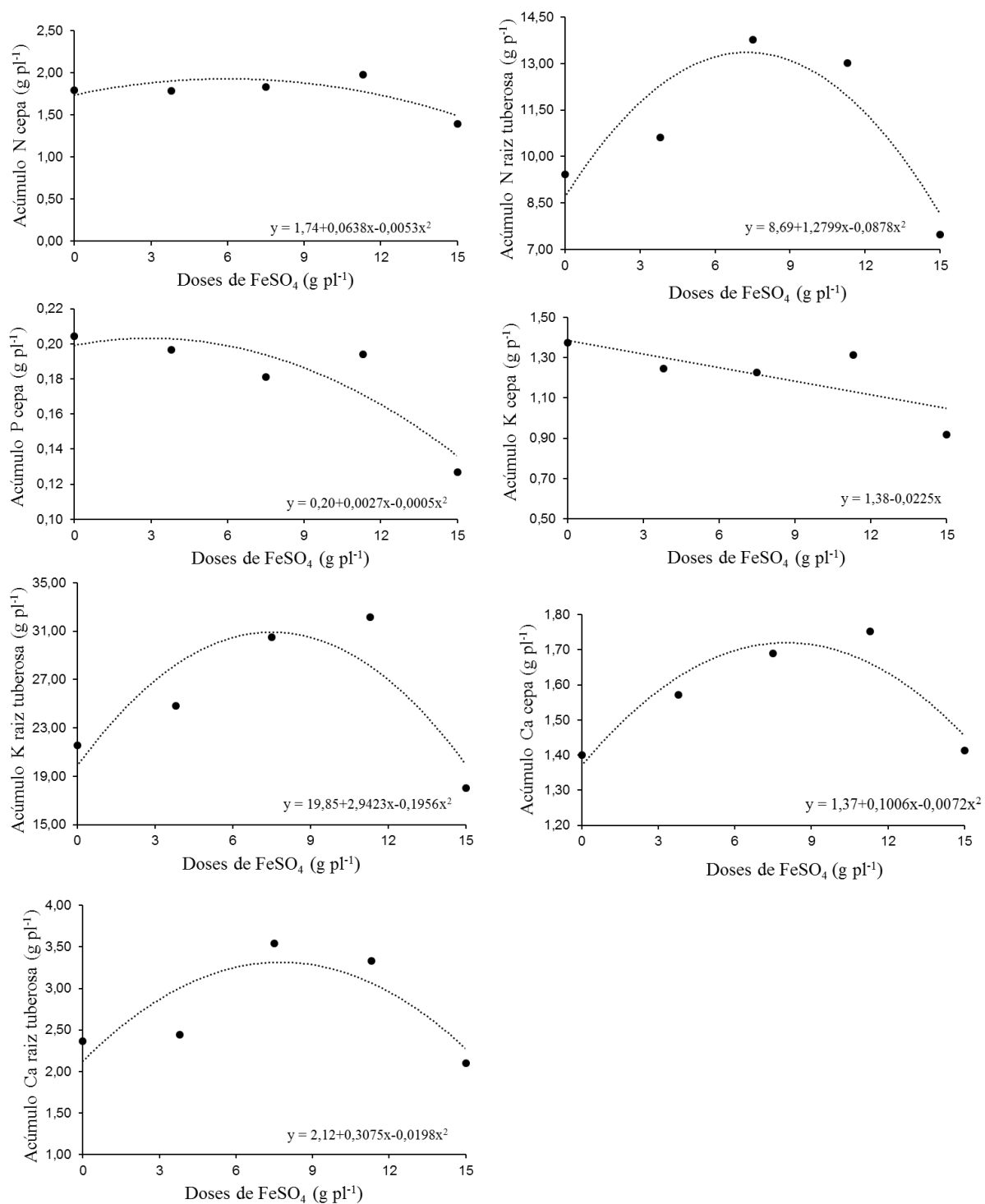
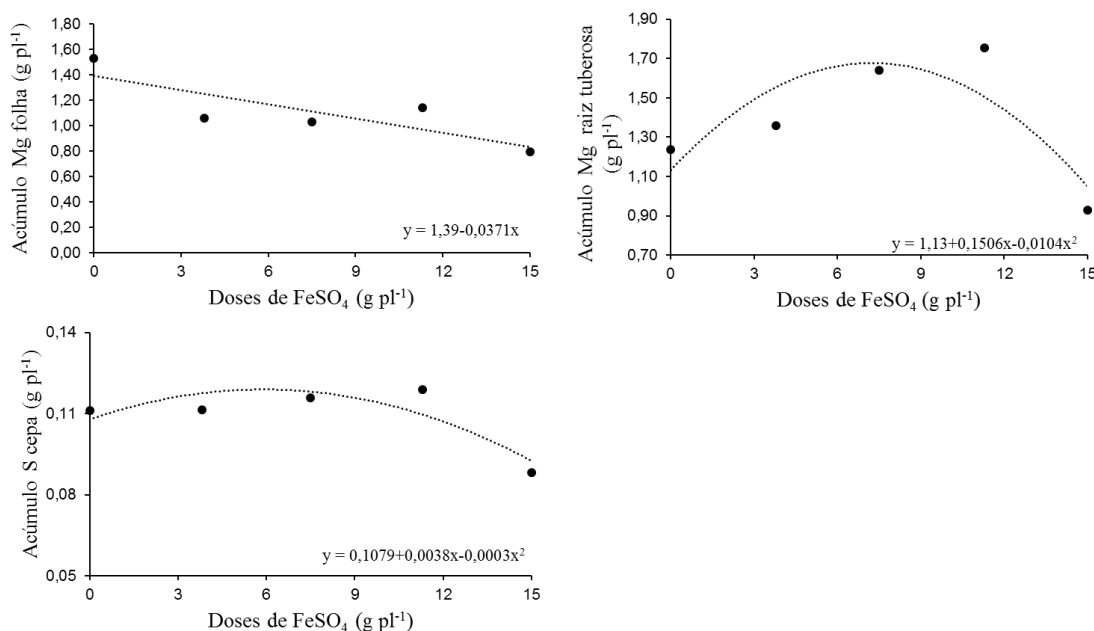


Figura 7 - Efeitos das doses de FeSO_4 sobre o acúmulo de macronutrientes nas partes das plantas de mandioca IAC 576-70



Não foram observados efeitos significativos das doses de FeSO_4 sobre o acúmulo de Cu e Zn nas folhas, acúmulo de Cu e Zn nas hastes, Fe na cepa e Cu nas raízes tuberosas de mandioca (Tabela 5 Figuras 8 e 9). Estes resultados mostram que há pouca interferência das doses de ferro aplicada sobre o acúmulo de micronutrientes nas partes da planta.

Howeler & Cadavid (1983) relataram que acúmulo de Cu foi superior na parte aérea até os 8 meses de cultivo, a partir disso o maior acúmulo foi encontrado nas raízes, resultados que corroboram com esta pesquisa.

O acúmulo de Mn foi significativo para folhas, hastes, cepas e raízes tuberosas, com os maiores acúmulos até as doses estimadas de 7,3; 5,8; 5,7 e 7,7 g pl^{-1} de FeSO_4 respectivamente (Tabela 5). A absorção de Mn é pouco retida pela planta, refletindo, muitas vezes, em valores discrepantes entre o teor encontrado nos tecidos vegetais e a quantidade requerida, podendo haver a deficiência ou excesso do Mn (CLARKSON, 1988).

Para as partes da planta em que se teve efeitos das doses de FeSO_4 sobre o acúmulo de micronutrientes (Figuras 8 e 9) é possível observar que o aumento das doses levou a diminuição do acúmulo de micronutrientes nas diferentes partes das

plantas, exceção ao ferro nas folhas e nas raízes tuberosas, que tiveram aumentos consideráveis nas doses de 8,7 e 9,7 g pl⁻¹, respectivamente.

O aumento de 163% do acúmulo de ferro nas raízes tuberosas em relação ao controle é favorável para a discussão da fertilização com FeSO₄ visando a biofortificação da mandioca IAC 576-70.

Tabela 5 - Acúmulo de micronutrientes nas folhas, hastes, cepas e raízes tuberosas da mandioca com diferentes doses de FeSO₄

	Doses de FeSO ₄ (g pl ⁻¹)					R ²	P-value
	0	3,8	7,5	11,3	15,0		
Fe na folha (mg/pl)	33,54	36,06	50,85	46,10	37,64	0,72	0,0001
Fe na haste (mg/pl)	273,38	155,43	126,93	165,15	139,97	0,82	0,0000
Fe na cepa (mg/pl)	60,68	60,45	54,84	61,58	58,57	ns	ns
Fe na raiz tuberosa (mg/pl)	110,75	144,08	220,50	291,92	169,25	0,71	0,0000
Cu na folha (mg/pl)	2,75	2,10	2,60	2,70	1,65	ns	ns
Cu na haste (mg/pl)	4,72	4,05	4,47	5,78	3,77	ns	ns
Cu na cepa (mg/pl)	0,81	0,71	0,79	0,71	0,48	0,80	0,0005
Cu na raiz tuberosa (mg/pl)	7,19	6,00	9,05	8,17	5,25	ns	ns
Zn na folha (mg/pl)	21,17	21,09	25,04	25,99	21,67	ns	ns
Zn na haste (mg/pl)	46,18	64,40	80,97	117,93	45,62	ns	ns
Zn na cepa (mg/pl)	3,89	4,28	4,15	4,41	2,70	0,80	0,0001
Zn na raiz tuberosa (mg/pl)	41,65	41,72	51,33	53,67	33,24	0,61	0,0000
Mn na folha (mg/pl)	133,16	142,77	158,94	169,03	115,26	0,71	0,0028
Mn na haste (mg/pl)	103,81	99,69	104,47	117,26	69,19	0,56	0,0000
Mn na cepa (mg/pl)	7,21	10,79	7,50	8,11	5,78	0,56	0,0000
Mn na raiz tuberosa (mg/pl)	20,65	19,63	30,71	28,24	17,79	0,57	0,0000

ns é não significativo.

Figura 8 - Efeitos das doses de FeSO_4 sobre o acúmulo de micronutrientes nas partes das plantas de mandioca IAC 576-70

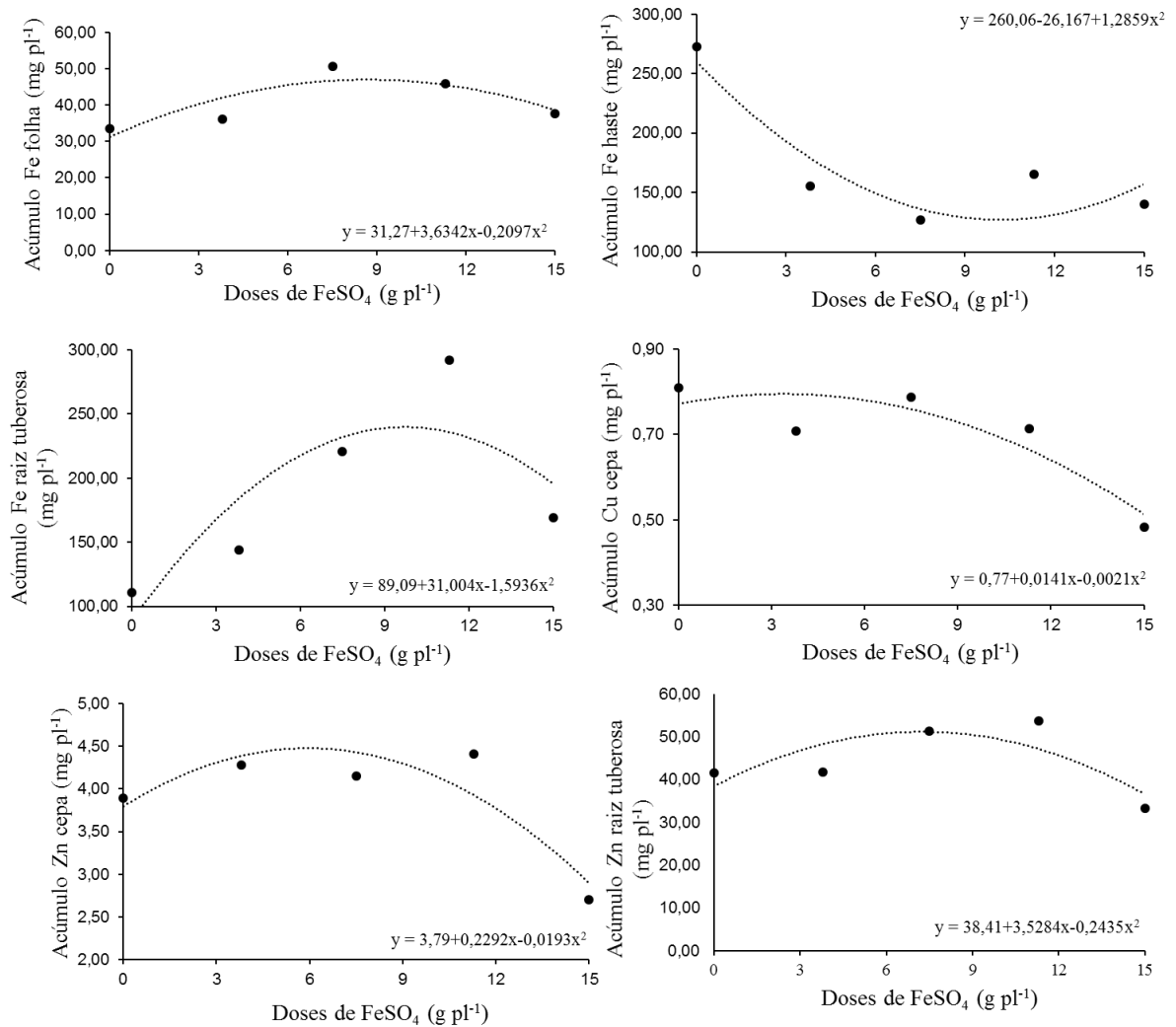
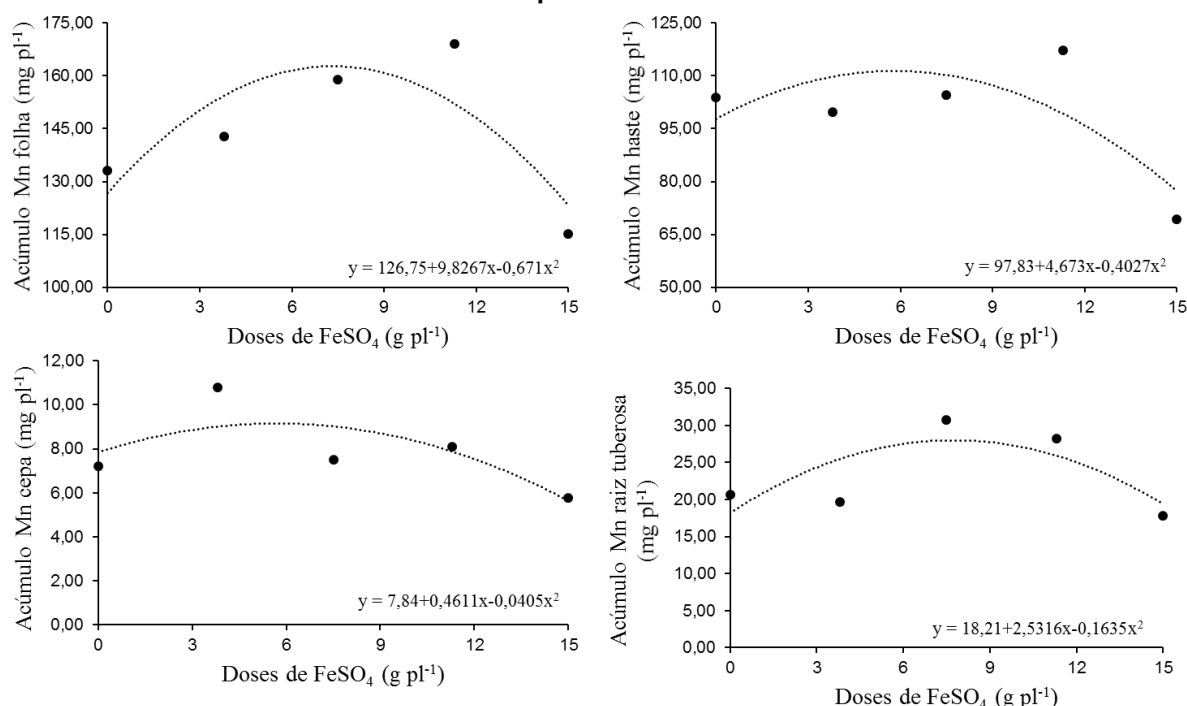


Figura 9 - Efeitos das doses de FeSO_4 sobre o acúmulo de micronutrientes nas partes das plantas de mandioca



1.3.3 Efeitos das doses de adubação com ZnSO_4 sobre as características morfológicas e de produção das plantas de mandioca

A aplicação de diferentes doses de ZnSO_4 no cultivo da mandioca IAC 576-70 influenciou a altura da planta, diâmetro das hastes, número de folhas e raízes tuberosas por planta, bem como, o comprimento das raízes (Tabela 6 e Figura 10). Com exceção ao comprimento das raízes, quando se observou efeito negativo das doses do fertilizante, para os demais parâmetros houveram aumentos com as doses mais baixa e tendências à diminuição nas doses mais elevadas. O número de hastes não foi afetado pelos tratamentos, sendo semelhante aos resultados obtidos por Vidigal Filho et al. (1997) em casa de vegetação, que não mostraram diferenças significativas em função de diferentes doses de zinco.

Observou-se que quanto maior o número de raízes tuberosas por planta, menor foi o comprimento dessas raízes o que indica que a planta não teve assimilados suficientes para ter uma grande quantidade raízes e também um maior comprimento dessas raízes.

Segundo Aires (2009), a quantidade mínima de ZnSO_4 nas plantas tem papel fundamental em vários ciclos bioquímicos das plantas, como a auxina que é um regulador de crescimento, o que pode estar relacionado ao fato de que nas menores

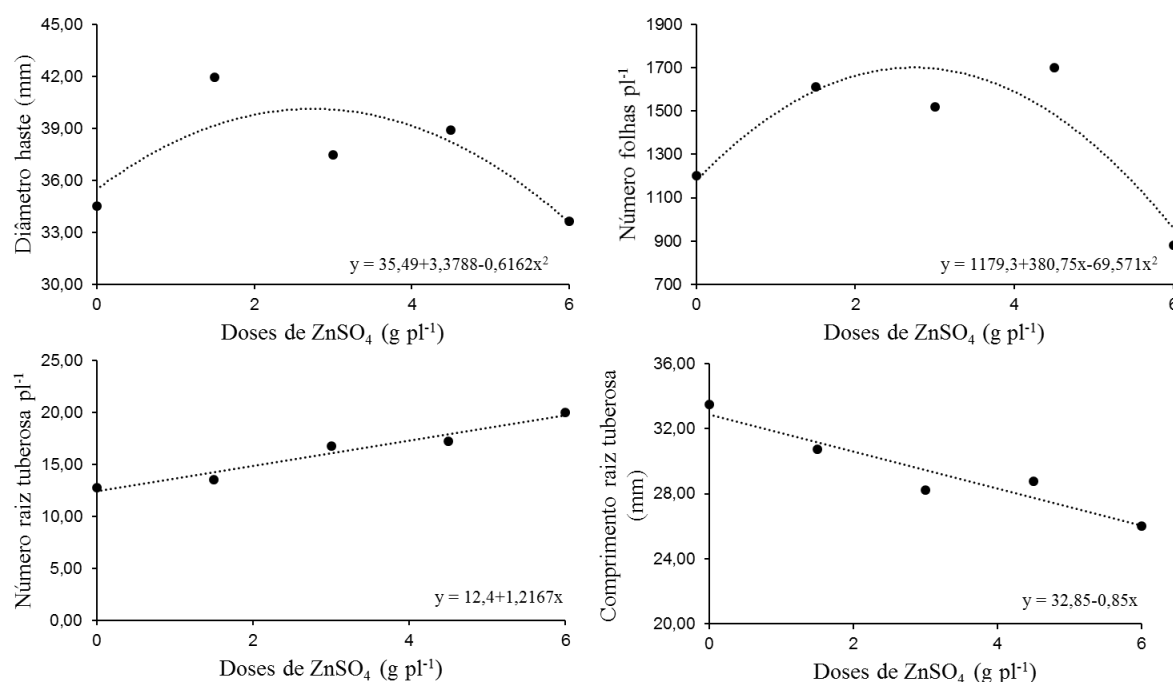
doses de ZnSO_4 se teve uma maior quantidade de folhas e um maior diâmetro das hastes.

Tabela 6 - Número de hastes, diâmetro médio das hastes, altura das plantas, número de folhas por planta, número, comprimento e diâmetro médio de raízes tuberosas nas plantas de mandioca com diferentes doses de ZnSO_4

	Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0	1,50	3,00	4,50	6,00		
Hastes pl^{-1} (no.)	2,5	1,5	2,2	2,0	2,0	ns	ns
Diâmetro de haste (mm)	34,5	41,9	37,5	38,9	33,7	0,65	0,0158
Altura de planta (cm)	166,5	173,2	229,4	232,8	233,2	0,86	0,0001
Folhas pl^{-1} (no.)	1200	1610	1520	1701	879	0,81	0,0000
Raiz tuberosa pl^{-1} (no.)	12,75	13,50	16,75	17,25	20,00	0,95	0,0000
Comprimento raiz pl^{-1} (no.)	33,50	30,75	28,25	28,75	26,00	0,90	0,0000
Diâmetro raiz pl^{-1} (mm)	52,09	43,86	45,61	50,33	36,79	ns	ns

ns é não significativo.

Figura 10 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre as características morfológicas da planta de mandioca IAC 576-70



A análise de dados de produção (Tabela 7) das plantas teve aumento da produtividade em média de 6 kg planta^{-1} com incremento significativo até a dose estimada de 2,5 g pl^{-1} , tendo incremento de MS nas folhas até a dose de 3,1g pl^{-1} , resultado que corrobora com Grunes et al. (1961), que observaram efeitos positivos da aplicação de ZnSO_4 no desenvolvimento da parte aérea em várias espécies. Para

as raízes tuberosas, houve incremento da MS até a dose de 2,5 de ZnSO_4 . Campos (2000) também relatou aumento na MS de raízes até a dose de 2,04 g pl^{-1} de ZnSO_4 . Segundo Guimarães et al. (2007), quanto maior é a porcentagem de MS, maior será a porcentagem de amido e o rendimento de farinha na cultura da mandioca.

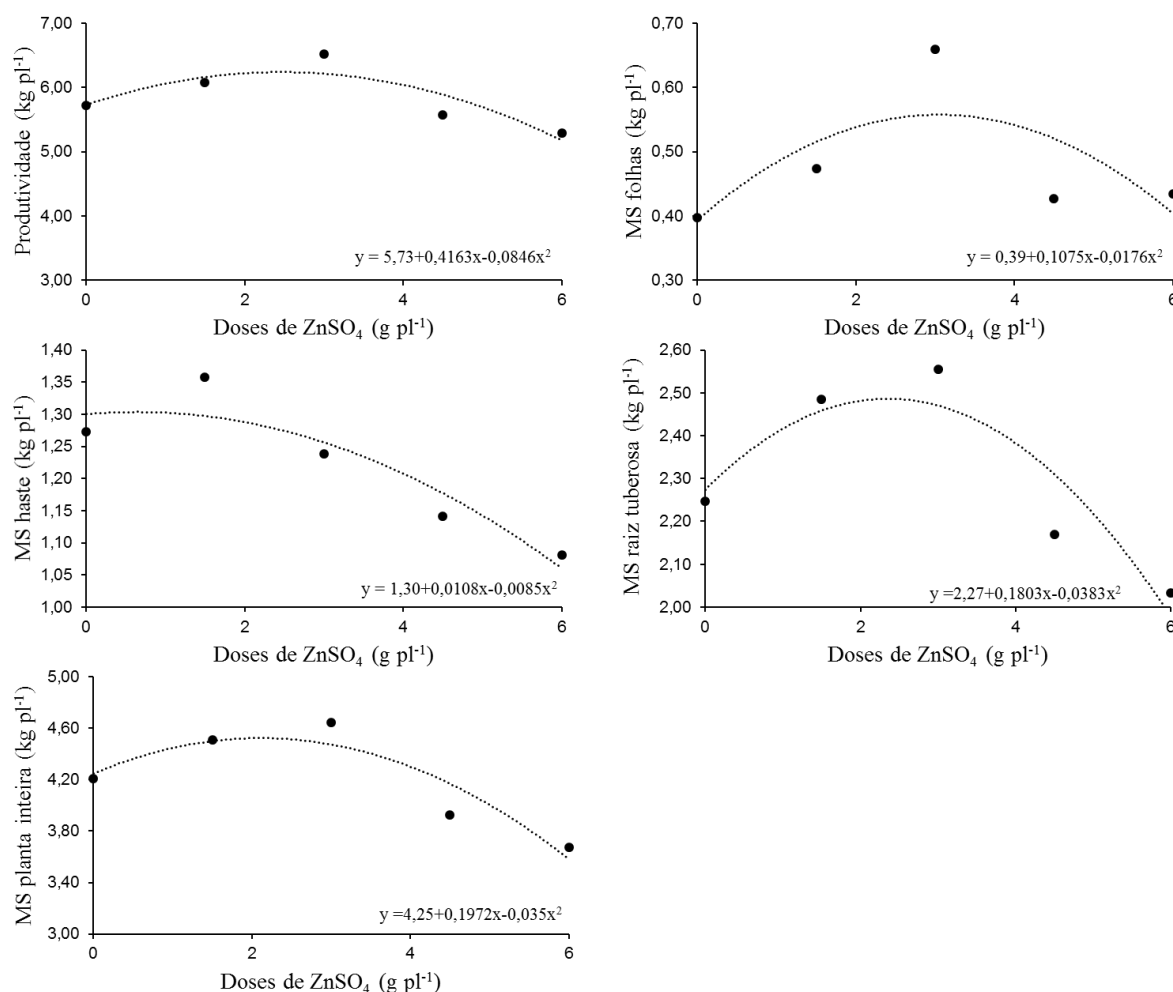
O acúmulo de MS na planta inteira foi influenciado pelas doses de ZnSO_4 (Figura 11), o qual apresentou aumento quadrático com redução nas maiores doses. A redução na produção de MS, quando se tem grande quantidade de Zn, é que no xilema, se acumulam tampões (“plugs”) contendo o elemento, os quais dificultam a ascensão da seiva bruta (MALAVOLTA, 1997). Resultado que está relacionado com o experimento que mostrou que nas maiores doses de ZnSO_4 teve a redução da MS.

Tabela 7 - Produtividade e acúmulo de massa seca (MS) de folha, haste, cepa, raiz tuberosa e planta inteira e porcentagem de massa seca nas raízes tuberosas da mandioca em diferentes doses de ZnSO_4

	Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0	1,50	3,00	4,50	6,00		
Produtividade (kg pl^{-1})	5,72	6,08	6,51	5,57	5,29	0,77	0,0136
MS folhas (kg pl^{-1})	0,40	0,47	0,66	0,43	0,43	0,50	0,0000
MS haste (kg pl^{-1})	1,27	1,36	1,24	1,14	1,08	0,86	0,0003
MS de cepa (kg pl^{-1})	0,19	0,15	0,21	0,19	0,19	ns	ns
MS de raiz tuberosa (kg pl^{-1})	2,25	2,49	2,56	2,17	2,03	0,83	0,0180
MS da planta inteira (kg pl^{-1})	4,21	4,51	4,65	3,93	3,67	0,85	0,0004

ns é não significativo.

Figura 11 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre as características de produção da planta de mandioca IAC 576-70



1.3.4 Efeitos das doses de adubação com ZnSO_4 sobre o acúmulo de macro e micronutrientes nas partes da planta de mandioca

Não foi observado significância nos efeitos das doses sobre os acúmulos de S nas folhas, Ca nas hastes, N, P, K, Ca, Mg, e S na cepa, N e S nas raízes tuberosas (Tabelas 8 e Figuras 12 e 13). Resultados que apontam para pouca interferência dos níveis de fertilizantes aplicados sobre o acúmulo de macronutrientes nas partes da planta.

O acúmulo de N na folha foi maior até a dose estimada de 2,6 g pl^{-1} de ZnSO_4 e na haste até 0,8 g pl^{-1} tendo declínio ao passar dessas doses.

O acúmulo de P na folha, haste e raiz tuberosa sempre foi maior do que a testemunha, tendo os maiores acúmulos nas doses de 2,5; 1,4 e 3,2 g pl^{-1} de ZnSO_4 respectivamente.

Para o acúmulo de K na folha, haste e raiz tuberosa teve o mesmo comportamento sendo maior que a testemunha e diminuindo após as doses de 2,9; 2,1 e 2,5 g pl^{-1} de ZnSO_4 respectivamente.

Já nas partes da planta que tiveram resultados significativos sobre os efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o acúmulo de macronutrientes (Figuras 12 e 13), é possível verificar que o incremento nas doses levou a diminuição do acúmulo dos macronutrientes nas diferentes partes das plantas, mostrando que nas maiores doses se tem a redução.

O Ca foi significativo nas folhas e nas raízes tuberosas. A mandioca é um produto que possui um valor muito significativo por possuir um alto teor de proteína na parte aérea quando ocorre a presença de folhas e possuir conteúdo de minerais, que por sua vez por ser relativamente alto, especialmente o Ca, como podemos observar nas folhas e hastes possui o maior acúmulo do que nas outras partes (FERREIRA; MACHADO, 2009).

O Mg na folha, haste, raiz tuberosa e o S na haste teve o mesmo comportamento, sendo maior que a dose 0 e tendo o declino a partir da dose de 2,7; 2,6; 2,1 e 2,6 g pl^{-1} de ZnSO_4 respectivamente.

Portanto, os acúmulos de nutrientes nas partes da planta que foram afetados pela aplicação de ZnSO_4 indicaram haver redução nas quantidades de nutrientes acumuladas quando se aumentou as doses de ZnSO_4 .

Tabela 8 - Acúmulo de macronutrientes na folha, haste, cepa e raiz tuberosa da mandioca com diferentes doses de ZnSO_4

	Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0	1,50	3,00	4,50	6,00		
N na folha (g/pl)	9,26	11,05	14,34	8,25	7,70	0,61	0,0000
N na haste (g/pl)	9,74	11,08	9,04	8,17	6,91	0,85	0,0001
N na cepa (g/pl)	2,58	1,80	1,67	1,52	1,42	ns	ns
N na raiz tuberosa (g/pl)	7,93	8,25	9,23	7,70	7,23	ns	ns
P na folha (g/pl)	0,56	0,61	0,87	0,49	0,41	0,61	0,0000
P na haste (g/pl)	1,04	1,12	0,95	1,03	0,78	0,75	0,0008
P na cepa (g/pl)	0,21	0,17	0,16	0,17	0,20	ns	ns
P na raiz tuberosa (g/pl)	1,39	1,63	1,83	1,60	1,50	0,85	0,0046
K na folha (g/pl)	3,88	5,20	7,30	4,33	3,60	0,80	0,0001
K na haste (g/pl)	9,24	9,96	8,90	9,83	7,36	0,66	0,0041
K na cepa (g/pl)	1,65	1,17	1,20	1,23	1,38	ns	ns
K na raiz tuberosa (g/pl)	16,69	19,90	20,87	16,11	14,85	0,79	0,0017
Ca na folha (g/pl)	7,82	10,19	12,45	8,67	7,56	0,76	0,0001
Ca na haste (g/pl)	13,30	15,07	14,72	15,35	15,25	ns	ns
Ca na cepa (g/pl)	1,88	1,37	1,45	1,22	1,14	ns	ns
Ca na raiz tuberosa (g/pl)	1,84	1,91	1,67	1,33	1,22	0,88	0,0009
Mg na folha (g/pl)	0,86	1,17	1,66	1,08	0,56	0,88	0,0000
Mg na haste (g/pl)	1,86	2,40	2,25	2,10	1,59	0,94	0,0001
Mg na cepa (g/pl)	0,35	0,25	0,22	0,25	0,27	ns	ns
Mg na raiz tuberosa (g/pl)	0,94	1,05	1,06	0,85	0,78	0,86	0,0421
S na folha (g/pl)	0,67	0,64	0,82	0,65	0,68	ns	ns
S na haste (g/pl)	1,06	1,30	1,12	1,28	0,89	0,64	0,0010
S na cepa (g/pl)	0,19	0,13	0,13	0,11	0,10	ns	ns
S na raiz tuberosa (g/pl)	0,71	0,74	0,73	0,62	0,54	ns	ns

ns é não significativo.

Figura 12 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o acúmulo de macronutrientes nas partes das plantas de mandioca IAC 576-70

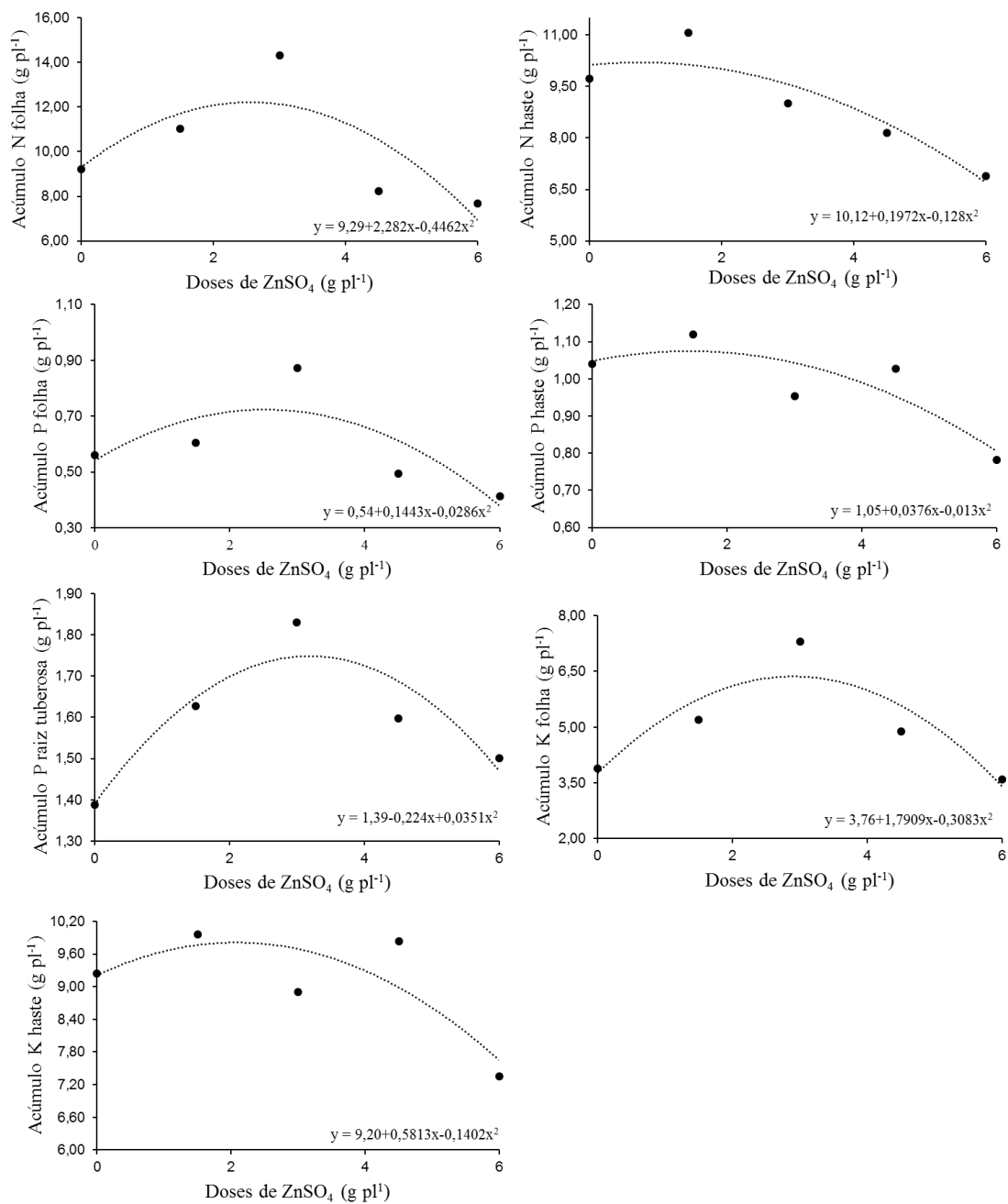
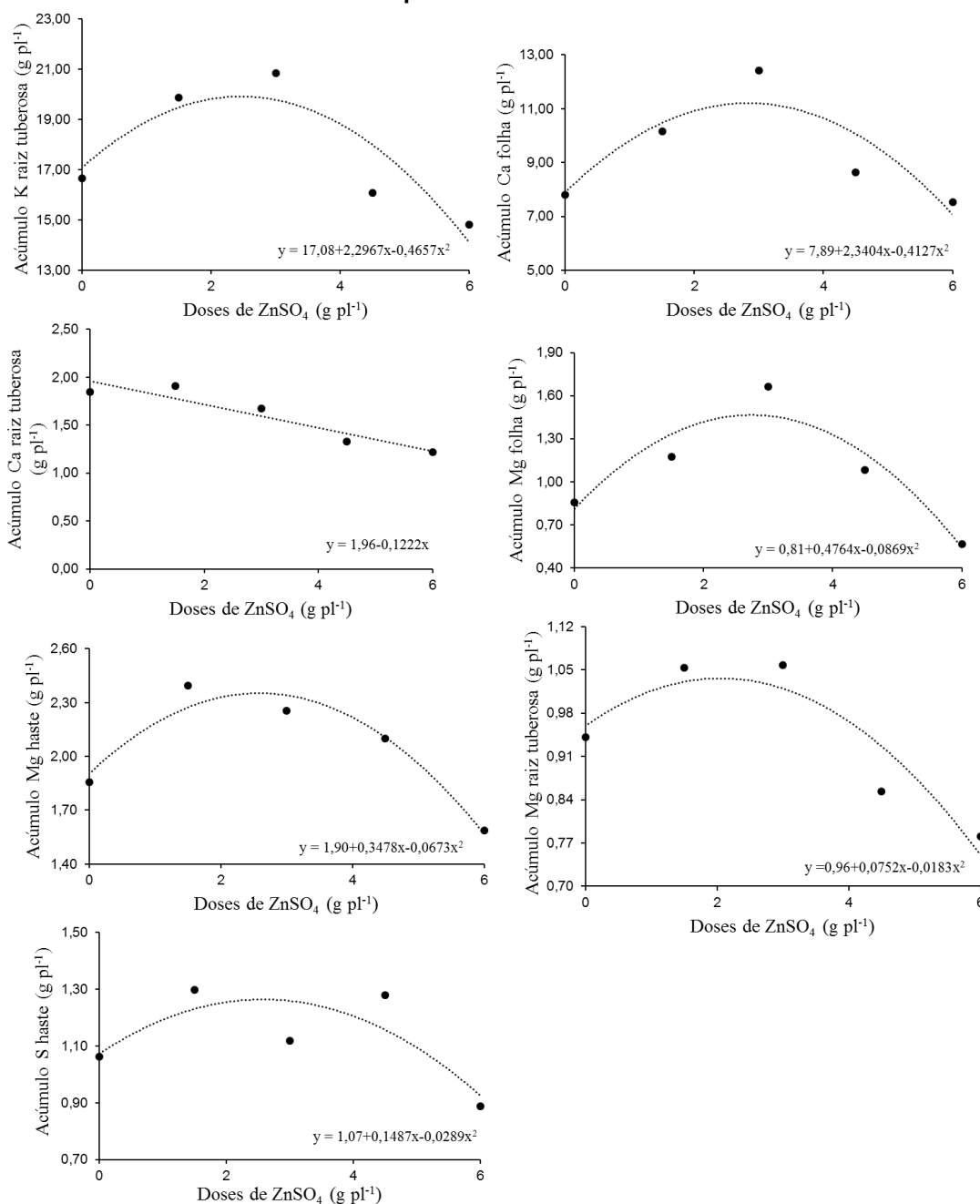


Figura 13 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o acúmulo de macronutrientes nas partes das plantas de mandioca IAC 576-70



A análise dos dados mostrou não terem ocorridos efeitos das doses de ZnSO_4 sobre os acúmulos de Cu e Zn nas folhas de mandioca. Também não foram observados efeitos das doses sobre os acúmulos de Fe, Zn e Mn na cepa, e de Cu e Mn nas raízes tuberosas (Tabela 9 e Figuras 14 e 15). Resultados que mostram baixa interferência dos níveis de fertilizantes aplicados sobre o acúmulo de micronutrientes nas partes da planta.

O acúmulo de cobre nas cepas foi maior na ausência do ZnSO_4 já na haste a maior concentração foi maior até a dose estimada de $2,1 \text{ g pl}^{-1}$ de ZnSO_4 . Sendo que o Cu é um micronutriente importante para as culturas pois é um elemento regulatório da atividade enzimática nos processos fotossintéticos e respiratório dos tecidos aéreos (KIRKBY & RÖMHELD 2007).

O Mn obteve o maior acúmulo nas folhas e hastes, já que o Mn é preferencialmente reportado para a parte aérea, para a atuação nos processos fotossintéticos da planta (MARSCHNWE 1995, TAIZ & ZEIGER, 2005).

Nas partes da planta onde foram observados efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o acúmulo de micronutrientes (Figuras 14 e 15), é possível observar que o aumento das doses de ZnSO_4 diminuiu o acúmulo dos micronutrientes nas diferentes partes das plantas. O acúmulo de Fe nas raízes tuberosas teve redução até a dose estimada de $3,6 \text{ g pl}^{-1}$ de ZnSO_4 , mostrando que o acúmulo foi maior quando não se teve a adubação de ZnSO_4 .

O Zn nas raízes tuberosas aumentou até a dose estimada de $2,8 \text{ g pl}^{-1}$ ZnSO_4 , com aumento de 41,6% em relação ao controle, após esta dose o acúmulo de Zn foi decrescendo. Este aumento é considerável, tendo em vista os benefícios desse nutriente à saúde.

Tabela 9 - Acúmulo de micronutrientes nas folhas, hastes, cepas e raízes tuberosas da mandioca com diferentes doses de ZnSO₄

	Doses de ZnSO ₄ (g pl ⁻¹)					R ²	P-value
	0	1,50	3,00	4,50	6,00		
Fe na folha (mg/pl)	43,35	40,80	55,45	36,68	31,78	0,56	0,0000
Fe na haste (mg/pl)	123,35	144,71	159,92	149,10	124,19	0,98	0,0195
Fe na cepa (mg/pl)	79,65	47,51	57,42	47,14	51,63	ns	ns
Fe na raiz tuberosa (mg/pl)	159,60	132,28	95,67	89,56	133,80	0,89	0,0000
Cu na folha (mg/pl)	1,97	2,13	3,03	1,54	1,64	ns	ns
Cu na haste (mg/pl)	3,87	4,22	4,04	3,98	2,81	0,93	0,0010
Cu na cepa (mg/pl)	1,57	0,68	0,80	0,70	0,73	0,81	0,0000
Cu na raiz tuberosa (mg/pl)	5,77	5,29	5,41	4,78	4,19	ns	ns
Zn na folha (mg/pl)	22,97	31,03	49,50	25,16	27,08	ns	ns
Zn na haste (mg/pl)	45,56	53,58	46,33	37,56	22,45	0,98	0,0000
Zn na cepa (mg/pl)	5,00	4,96	6,14	5,71	6,56	ns	ns
Zn na raiz tuberosa (mg/pl)	23,16	26,35	32,80	26,66	20,46	0,85	0,0000
Mn na folha (mg/pl)	86,05	116,64	177,68	136,07	133,68	0,75	0,0000
Mn na haste (mg/pl)	72,50	86,67	79,29	89,11	77,11	0,54	0,0079
Mn na cepa (mg/pl)	9,18	6,64	7,28	6,53	7,05	ns	ns
Mn na raiz tuberosa (mg/pl)	16,06	14,42	14,38	13,53	12,17	ns	ns

ns é não significativo.

Figura 14 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o acúmulo de micronutrientes nas partes das plantas de mandioca IAC 576-70

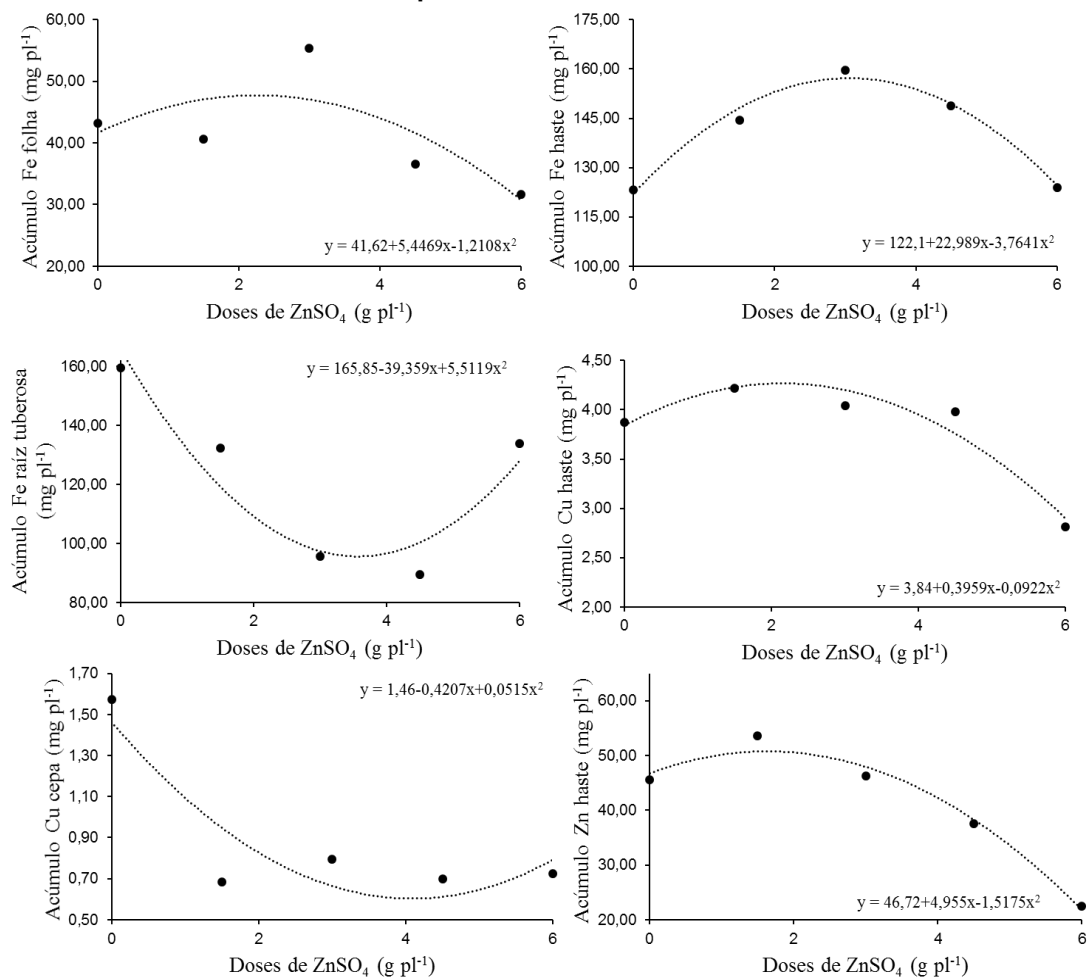
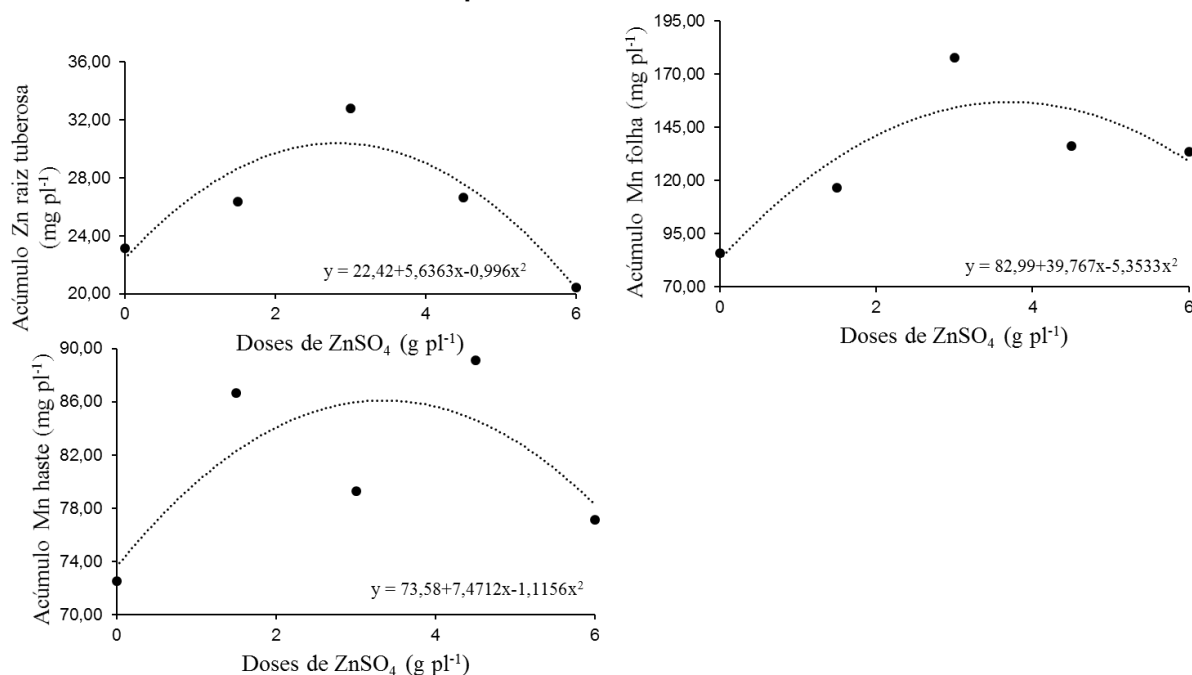


Figura 15 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o acúmulo de micronutrientes nas partes das plantas de mandioca IAC 576-70



1.4 4 CONCLUSÕES

A fertilização com FeSO_4 afetou a morfologia da planta, diminuindo a altura e deixando estas mais esgalhadas. Ocorreu incremento de produtividade com dose ótima de 8,2 g pl^{-1} . Os acúmulos de macro e micronutrientes nas partes das plantas foram variáveis, porém considerando a importância alimentar das raízes de mandioca e a possibilidade de uso das folhas como fonte de nutrientes, os resultados evidenciaram maiores acúmulos de macronutrientes até a dose estimada de 7,8 g pl^{-1} de FeSO_4 . Para os micronutrientes até a dose estimada de 10,2 g pl^{-1} de FeSO_4 com aumento de 163% no acúmulo de ferro nas raízes tuberosas.

No experimento de zinco, a dose ótima para maximizar a produtividade de raízes foi de 2,5 g pl^{-1} , para maiores acúmulos de macronutrientes na planta toda as doses estimadas variaram de 0,8 g pl^{-1} a 3,2 g pl^{-1} de ZnSO_4 . Para os maiores acúmulos de micronutrientes as doses estimadas foram de 1,6 g pl^{-1} a 3,6 g pl^{-1} de ZnSO_4 . Ocorreu aumento de 41,62% no acúmulo de zinco nas raízes tuberosas.

Estes resultados mostram a importância da fertilização com Fe e Zn na mandioca IAC 576-70, indicando possibilidades de biofortificação agrônômica das raízes.

REFERÊNCIAS

- AIRES, C. B. **Zinco, fator fundamentais para aumento e melhora da produção agrícola**. 2009. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/zinco--fator-fundamental-para-aumento-e-melhora-da-producao-agricola_94756.html. Acessado em: 31 de mai/2021.
- BYJU, G. et al. Modeling the response of cassava to fertilizers: a site-specific nutrient management approach for greater tuberous root yield. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 43, n. 8, p. 1149-1162, 2012.
- BYJU, G.; SUJA, G. Mineral nutrition of cassava. **Advances in Agronomy**, v. 159, p. 169-235, 2019.
- BIRATU, G.K., ELIAS, E., NTAWURUHUNGA, P., NHAMO, N. Effect of chicken manure application on cassava biomass and root yields in two agro-ecologies of Zambia. **Agriculture** 8 (4), 45, 2018.
- CAMPOS, M. F. Desenvolvimento da planta de mandioca em função da calagem e adubação com zinco. **Dissertação de mestrado**. UNESP-AGRICULTURA, 2000.
- CHEN, R. F. et al. Response of rice (*Oryza sativa*) with root surface iron plaque under aluminium stress. **Annals of Botany**, v. 98, p. 389-395, 2006. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2803463/>. Acessado em: 10 de dez/2020.
- CLARKSON, D. T. The uptake and translocation of manganese by plant roots. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 101-111, 1988.
- EL-SHARKAWY, M. A. International research on cassava photosynthesis, productivity, eco-physiology, and responses to environmental stresses in the tropics. **Photosynthetica**, v. 44, p. 481-512, 2006.
- EL-SHARKAWY, M.A Stress-tolerant Cassava: The role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. **Open journal of soil science**, 2, 162-186, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/230635747_Stress-Tolerant_Cassava_The_Role_of_Integrative_Ecophysiology-Breeding_Research_in_Crop_Improvement. Acessado em 11 de fev/2021.
- EZUI, K. S.; FRANKE, A. C.; MANDO, A.; AHIABOR, B. D. K.; TETTEH, F. M.; SOGBEDJI, J.; JANSSEN, B. H.; GILLER, K. E. Fertiliser requirements for balanced nutrition of cassava across eight locations in West Africa. **Field Crops Research**, v. 185, p. 69-78, 2016. Disponível em: <https://edepot.wur.nl/374717>. Acessado em 09 de jan/2021.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Data). **Produção, Área Colhida e Produtividade de Mandioca no Mundo**. 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em 08 abr/2021.

FERREIRA, M.; MACHADO, L.C. **Avaliação de cultivares de mandioca em Bambuí-MG**, II segunda semana de ciência e tecnologia do IFMG campus Bambuí, 2009.

FENING, J.O., GYAPONG, T.A., ABABIO, F., GAISIE, E. Effect of site characteristics on the productivity and economic returns from cassava legume intercropping in Ghana. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.* 3 (10), 326-331, 2009. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/56260-Article%20Text-95481-1-10-20100707.pdf>. Acessado em: 12 de mar/2020.

GARCIA, A. G. et al. Logistic rice model for matter and nutrient uptake. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.3, p.481-488, 2003.

GOMES, J.C.; SILVA, J. Correção da acidez e adubação. In: SOUZA, L.S.; FARIAS, A.R.N.; MATTOS, P.L.P.; FUKUDA, W.M.G. (eds.). Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca. Cruz das Almas: **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, p. 215-247, 2006.

GRUNES, D.L.; BOAWN, L.C.; CARLSON, C.W.; VIETS JR., F.G. Zinc deficiency of corn and potatoes, as related to soil and plant analysis. **Agronomy Journal**, Madison, v.53, p.68-71, 1961.

GUIMARÃES, H. M. A. et al. Deterioração pós-colheita da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.) mansa da cultivar cacau. In: **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de alimentos**, 18, 2007, Porto Alegre, RS. Anais... Porto Alegre: [s.n.], 2007.

HAN, Z. H. et al. Iron absorption by iron-efficient and inefficient species of apples. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 21, n. 1, p. 181–190, 1998.

HELL, R. S. U.W., Absorção, tráfico e homeostase de ferro nas plantas. **Planta**, 216: 541-551, 2003.

HOWELER, Reinhardt H. Sustainable soil and crop management of cassava in Asia: a reference manual. **CIAT Publication**, 2014.

HOWELER, R. H.; CADAVID, L. F. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during a 12-month growth cycle of cassava. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 7, n. 2, p. 123-139, 1983.

IAC – Instituto Agronômica de Campinas. **Mandioca IAC 576-70, cultivar de mesa**. Campinas, 2010. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/cultivares/inicio/folders/Mandioca/IAC576-70.htm>. Acessado em: 12 de mar/2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal 2019**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 04 de abr/2021.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute**, 2007. (Encarte técnico informações agronômicas,18).

LEONEL, M.; FELTRAN, J. C.; AGUIAR, E. B.; FERNANDES, A. M.; PERESSIN, V. A.; BICUDO, S. J. Mandioca. In: LEONEL, M.; FERNANDES, A. M.; FRANCO, C. M. L. (Eds.). **Culturas Amiláceas: batata-doce, inhame, mandioca e mandioquinha salsa**. 1ª ed. Botucatu: CERAT/UNESP, p. 183-326, 2015.

LIU, H. et al. Influence of iron plaque on uptake and accumulation of Cd by rice (*Oryza sativa* L.) seedlings grown in soil. **Science of the Total Environment**, v. 394, p. 361-368, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18325566/>. Acessado em: 12 de out/2020.

LORENZI, J.O.; MONTEIRO, P.A.; MIRANDA FILHO, H.S.; RAIJ, B. van. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., ed. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, p.221-229, 1997. (Boletim Técnico, 100). Disponível em: http://www.etecsaosimao.com.br/_documentos/_pdf/_apoio_ao_aluno/_livros/BOLETIM_100_IAC_Completo.pdf. Acessado em: 13 de jan/2020.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: **Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo**. 319 p. 1997.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: London Academic Press, 1995. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/YLbNVzf9WkYjhJXxjrfWNvj/?format=pdf&lang=pt>. Acessado em: 17 de junh/2021.

MATTOS, P.I.P; BEZERRA, V.S **Cultivo da Mandioca para o Estado do Amapá**. EMBRAPA, 2003.

MEZETTE, T. F. et al. Seleção de clones-elite de mandioca de mesa visando a características agronômicas, tecnológicas e químicas. **Bragantina**, v. 68, n. 03, p. 601-609, 2009.

NGUYEN, H; SCHOENAU, J. J.; NGUYEN, D. et al. Effects of long-term nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization on cassava yield and plant nutrient composition in North Vietnam. **Journal of plant nutrient nutrition**, 25: 425-442, 2002.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. 231-241. 2008.

RAI, S., SINGH, P. K. S., MANKOTIA, S., SWAIN, J., SATBHAI, S. B. Iron homeostasis in plants and its crosstalk with copper, zinc, and manganese. **Plant Stress**. 2021.

RAIJ, B. van. **Fertilidade e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres. 343p, 1991.

RAJCAN, I.; TOLLENAAR, M. Source: sink ratio and leaf senescence in maize: I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. **Field Crops Research, Amsterdam**, v. 60. n. 3, p. 245 - 253, 1999.

ROUT, G.R., SAHOO, S. Role of iron in plant growth and metabolism. **Rev. Agric. Sci.** doi:10.7831/ras.3.1, 2015.

LOUISE, ST-CYR.; CAMPBELL, P. G. C. Metals (Fe, Mn, Zn) in the root plaque of submerged aquatic plants collected in situ: Relations with metal concentrations in the adjacent sediments and in the root tissue. **Biogeochemistry**, v. 33, p. 45-76, 1996.

SUN, J. Face-ing the global change: Opportunities for improvement in photosynthetic radiation use efficiency and crop yield. **Plant Science**, v. 177, n.6, p. 511-522, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates Inc. Publishers, 2005. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/pat/a/YLbNVzf9WkYjhJXxjrfWNvj/?format=pdf&lang=pt>.
 Acessado em: 16 de junh/2021.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed. 819p.
 The International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia, 2009.

TOGNETTI, V.B., et al. **Enhanced plant tolerance to iron starvation by functional substitution of chloroplast ferredoxin with a bacterial flavodoxin**, 2007. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. doi:10.1073/pnas.0704553104.

VIDIGAL FILHO, P.S.et al. *Glomus etunicatum* Becker & Guerdemann, Calagem, superfosfato triplo e níveis de zinco influenciando o crescimento da mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, v.16, n.1, p. 15 - 34, 1997.

ZHANG, X. K.; ZHANG, F. S.; MAO, D. Effect of iron plaque outside roots on nutrient uptake by rice (*Oryza sativa* L.): phosphorus uptake. **Plant and Soil**, v. 209, p. 187-192, 1999.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS E TECNOLÓGICAS DE RAÍZES DE MANDIOCA IAC 576-70 CULTIVADAS EM SOLOS FERTILIZADOS COM DIFERENTES DOSES DE Fe E Zn

Resumo

A introdução de produtos agrícolas com maiores teores de minerais e vitaminas contribui para a diminuição dos níveis de fome oculta. O manejo da fertilização com ferro e o zinco tem merecido destaque como estratégia para o incremento desses nutrientes em culturas bases como a mandioca diante dos benefícios promovidos à saúde por estes nutrientes. Este estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da fertilização com FeSO_4 e ZnSO_4 sobre a composição nutricional e a qualidade tecnológica de cozimento das raízes de mandioca cultivar IAC 576-70. Foram conduzidos dois ensaios experimentais, ambos em caixas plásticas de 310 L, contendo uma planta de mandioca em cada caixa. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com oito repetições. Nos tratamentos com FeSO_4 foram utilizadas as doses de 0; 3,8; 7,5; 11,3 e 15,0 g pl^{-1} sendo equivalentes a 0, 25, 50, 75 e 100 kg ha^{-1} . Nos tratamentos com ZnSO_4 as doses foram de 0, 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 g pl^{-1} , sendo equivalente a 0, 10, 20, 30 e 40 kg ha^{-1} . Os resultados mostraram que a adubação com FeSO_4 aumentou os teores de fibra, açúcares totais, proteína, ferro e cálcio nas raízes cruas. A fertilização com ferro aumentou o tempo de cozimento e a textura das raízes após o cozimento, contudo, vale ressaltar que o incremento de Fe nas raízes levou a menores perdas de minerais com o cozimento. No ensaio com a fertilização com ZnSO_4 foi observado que com o aumento nas doses do fertilizante no cultivo da mandioca ocorreu aumento do teor de zinco nas raízes antes do cozimento, com diminuição dos teores de cinzas, fibra, matéria graxa, açúcares totais, K, Ca, e Fe. O aumento dos níveis de fertilização afetou a perda de nutrientes com o cozimento das raízes. Ocorreram diminuições nas perdas de Cu, Mn e Ca e aumentos nos níveis de perda de P, K e Zn. Apesar das perdas decorridas com o cozimento, os níveis máximos de Fe e Zn nas raízes cozidas superaram a necessidade média estimada (EAR) para homens e mulheres.

Palavras-chaves: adubação; raiz; *Manihot esculenta* Crantz.

Abstract

The introduction of agricultural products with higher levels of minerals and vitamins contributes to the reduction of hidden hunger levels. The management of fertilization with iron and zinc has been highlighted as a strategy to increase these nutrients in staple crops such as cassava, given the health benefits provided by these nutrients. This study aimed to evaluate the effects of fertilization with FeSO_4 and ZnSO_4 on the nutritional composition and cooking quality of cassava roots, cultivar IAC 576-70. Two experimental trials were carried out, both in 310 L plastic boxes, containing a cassava plant in each box. The experimental design used was randomized blocks, with eight replications. In treatments with FeSO_4 , doses of 0; 3.8; 7.5; 11.3 and 15.0 g pl^{-1} being equivalent to 0, 25, 50, 75 and 100 kg ha^{-1} . In the treatments with ZnSO_4 the doses were 0, 1.5; 3.0; 4.5 and 6.0 g pl^{-1} , being equivalent to 0, 10, 20, 30 and 40 kg ha^{-1} . The results showed that fertilization with FeSO_4 increased fiber, total sugar, protein, iron and calcium contents in raw roots. Iron fertilization increased the cooking time and the texture of the roots after cooking, however, the increase in Fe in the roots led to lower mineral losses with cooking. In the experiment with fertilization with ZnSO_4 , it was observed that with the increase in the doses of the fertilizer in the cultivation of cassava, there was an increase in the content of zinc in the roots before cooking, with a decrease in the content of ash, fiber, lipids, total sugars, K, Ca, and Fe. The increase in fertilization levels affected the nutrient loss with root cooking. There were decreases in the losses of Cu, Mn and Ca and increases in the levels of loss of P, K and Zn. Despite the cooking losses, the maximum levels of Fe and Zn in the cooked roots exceeded the estimated average requirement (EAR) for men and women.

Keywords: fertilization; root; *Manihot esculenta* Crantz.

2.1 INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil são produzidos aproximadamente 22 milhões de toneladas de raízes anuais de mandioca de mesa e de indústria, cultivadas em 1,8 milhões de hectares. Esta produção é utilizada para o consumo de mesa e também para a produção de farinha, fécula entre outros produtos (IEA-APTA, 2020).

No estado de São Paulo foram produzidas 247,1 mil toneladas de mandioca de mesa, na safra 2019/2020, em uma área de 19,8 mil hectares, sendo que a principal

região, foi a de Mogi Mirim, que produziu mais de 30% da safra estadual (IEA-APTA, 2021).

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é conhecida há cerca de nove mil anos, sendo considerada uma das culturas mais antigas do continente Sul-Americano. É cultivada em países tropicais e subtropicais, não suporta ser cultivadas em solos alagados e se desenvolve muito bem sob exposição direta ao sol. É uma cultura básica que pode ser produzida por pequenos e grandes produtores, possui alta fonte energética e sua produção é de baixo custo, fazendo com que tenha importância social significativa em países subdesenvolvido (SEBRAE/ESPM, 2008; FAO, 2013). Ela é alimento básico para aproximadamente 800 milhões de pessoas em todo o mundo (FAO, 2019).

As raízes, que são a parte mais consumida da planta, possuem grande quantidade de fécula, sendo ricas em calorias e carboidratos, estima-se que em uma planta de mandioca pode disponibilizar cerca de 1.460 kcal dependendo da cultivar (SANTOS, 2021).

As maiores preocupações em relação a saúde humana e nutrientes são as deficiências de Fe, Zn, Se, I e vitamina A, principalmente em países em desenvolvimento (MILLER; WELCH, 2013). O zinco no corpo humano tem várias funções, como amenizar a toxidez dos radicais livres, aumentar a resistência do sistema imunológico e pode melhorar o funcionamento do cérebro (GIBSON, 2006). Segundo Bertini e Rosata (2007), cerca de 10% de todas as proteínas possuem zinco como constituinte e quando se tem a falta desse nutriente aumenta-se os riscos de algumas doenças infecciosas (GIBSON et al., 2008), a incidência de câncer (PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2007) e o retardo intelectual, o que onera os custos com saúde pública (MACKENZIE et al., 2007; BLACK et al., 2008).

A mandioca é um alimento de grande importante para muitas famílias, principalmente para aqueles que possuem baixa renda, pois estas raízes apresentam grande quantidade de carboidratos, alimento que dá energia. Portanto, a mandioca é fundamental para a segurança alimentar pois bilhões de pessoas não consomem alimentos em quantidades suficientes para suprir suas necessidades diárias básicas de energia (CARVALHO; NUTTI, 2012). Sendo assim a biofortificação com zinco torna a raiz tuberosa da mandioca ainda mais importante para as pessoas que necessitam demais nutrientes no dia a dia.

O Fe também é outro micronutriente que tem um papel importante no corpo humano, ele é um transportador de oxigênio, que é vital às células para metabolismo, também é constituinte da mioglobina, presente no tecido muscular. Ele também é um micronutriente importante para mulheres grávidas, pois o organismo terá que estar pronto para a manutenção de uma maior quantidade de células vermelhas, entre outras funções (SANTOS et al., 2010).

O papel da agricultura é fundamental na alimentação, especialmente como fonte primária de energia e nutrientes de toda a população. Algumas pesquisas preliminares analisaram a viabilidade do emprego do melhoramento de plantas para que se tenha um aumento do conteúdo de micronutrientes de produtos agrícolas (CARVALHO; NUTTI; 2012).

A biofortificação agronômica consiste em complementar o potencial de enriquecimento nos teores de vitaminas e nutrientes na parte que é consumida das culturas, tendo aumento dos nutrientes como Fe, Zn e Se que são os mais estudados (MORAES et al., 2012).

Diante da grande importância que a mandioca tem no suprimento alimentar, este estudo objetivou avaliar os efeitos da fertilização agronômica da cultura com os micronutrientes Fe e Zn sobre a composição nutricional e a qualidade tecnológica de cozimento das raízes de mandioca cv IAC 576-70.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização da área experimental

Foram instalados dois ensaios experimentais no Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), localizado no município de Botucatu-SP. As coordenadas geográficas são: 22°59' S; 48°30' W e altitude de 778 m.

2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

Os experimentos foram conduzidos no delineamento de blocos ao acaso com oito repetições. No ensaio 1 foram avaliadas cinco doses de 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} , enquanto no ensaio 2 foram avaliadas cinco doses de 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} .

Nos dois ensaios experimentais, cada parcela foi representada por uma caixa d'água plástica de 310 L, contendo uma planta de mandioca no espaçamento de 1,00m x 1,5m.

2.2.3 Instalação e condução dos experimentos

Previamente a instalação dos experimentos foi coletado solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, para a determinação das características químicas (RAIJ et al., 1991). O solo coletado, foi da UNESP de São Manuel-SP, na profundidade de 20 cm, o solo do local é um Latossolo Vermelho distrófico, de textura arenosa.

A análise de solo antes da instalação dos experimentos tiveram as seguintes características químicas : pH (CaCl₂): 5,1; M.O (g dm⁻³): 10,0; P resina (mg dm⁻³): 6,0; H+AL (mmolc dm⁻³): 14,0; K (mmolc dm⁻³): 1,1; Ca (mmolc dm⁻³): 11,0; Mg (mmolc dm⁻³): 5,0; SB (mmolc dm⁻³): 17,0; CTC (mmolc dm⁻³): 31,0; V% 55,0; Fe (mg dm⁻³): 5,0; Cu (mg dm⁻³): 0,4; Cu (mg dm⁻³): 0,4; Mn (mg dm⁻³): 2,2; Zn (mg dm⁻³): 0,4; B (mg dm⁻³): 0,1.

Os teores de Fe no solo são considerados como médios (Fe = 5-12; Raij et al., 1997) e os teores de Zn baixos para a mandioca (Zn < 0,6; Lorenzi et al., 1997).

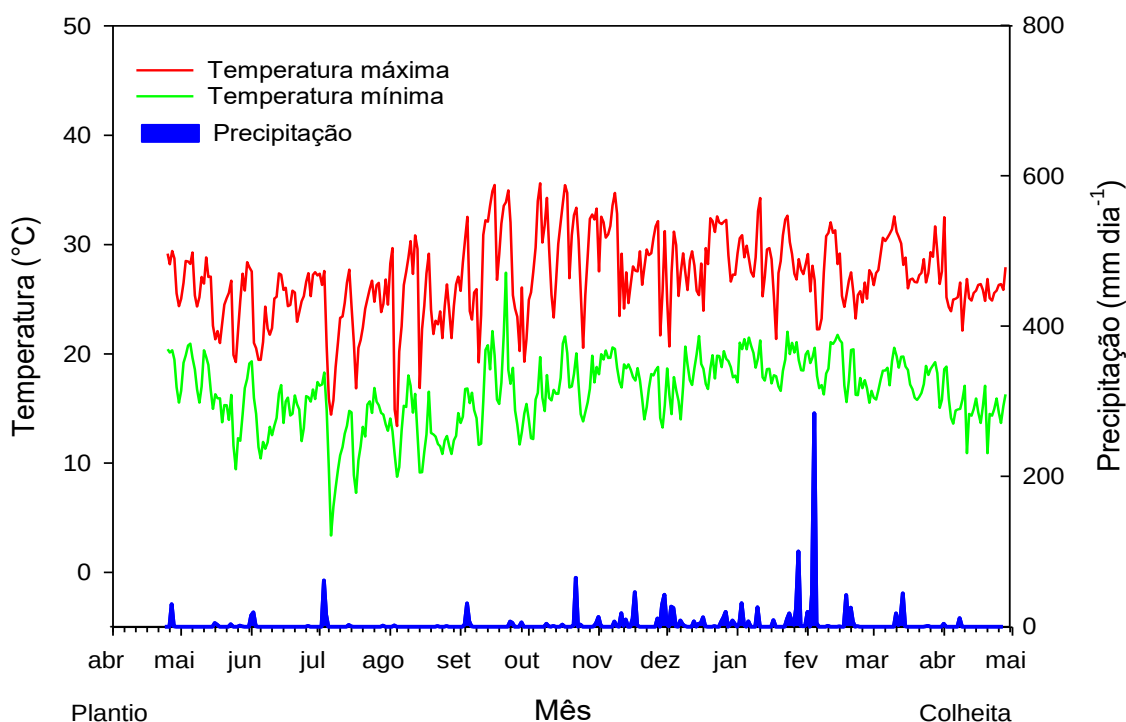
Para o plantio da mandioca, inicialmente o solo foi colocado nas caixas de 310 L, com altura de 0,54 m e diâmetro de 1,04 m, em seguida abriram-se covas de aproximadamente 15 cm de profundidade no centro das caixas. A adubação de plantio foi realizada na cova, aplicando-se as doses de 100 g pl⁻¹ de P₂O₅ (equivalente a 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅), 25 g pl⁻¹ de K₂O (equivalente a 100 kg ha⁻¹ de K₂O), 0,88 pl⁻¹ de boro (equivalente a 1kg ha⁻¹ de boro). O nitrogênio foi feito em cobertura a 35 dias após o crescimento aplicando 13,64 pl⁻¹ (equivalente a 40 kg ha⁻¹) de nitrogênio. Como fonte de N, P, K e B foi utilizado os fertilizantes ureia (45% de N), superfosfato simples (18 % de P₂O₅), cloreto de potássio (60% de K₂O) e ácido bórico (17% de B), respectivamente. As fontes de zinco e ferro utilizadas foram o sulfato de zinco (ZnSO₄) e sulfato de ferro (FeSO₄) e o seu fornecimento foi de acordo com os tratamentos.

A cultivar plantada foi a IAC 576-70 com aproximadamente 15 cm de comprimento, o plantio foi realizado em 25/04/2019.

A irrigação e o controle fitossanitário foram realizados conforme as necessidades da cultura. A colheita das plantas foi realizada aos 368 dias após o plantio, no dia 28/04/2020.

Durante a condução dos ensaios experimentais foram coletados dados diários de temperaturas máximas, mínimas e pluviosidade (Figura 16).

Figura 16 - Temperaturas máximas, médias, mínimas e precipitação ao longo do experimento, no período de abril de 2019 a maio de 2020. Botucatu, SP



2.3 Composição nutricional das raízes de mandioca

2.3.1 Determinação de umidade

Para se determinar o teor de umidade nas raízes, foram pesados aproximadamente 3 g de cada amostra e depois colocadas em estufa a aproximadamente 105 °C por 8 horas, até a obtenção de massa constante. Depois desse período as amostras foram retiradas da estufa e colocadas em dessecador e posteriormente pesadas, obedecendo ao método AOAC (2012).

2.3.2 Determinação do teor de cinza

Para a determinação do teor de cinzas, que é o conteúdo que representa o total de sais minerais na amostra (substâncias não voláteis até 550 °C), foram utilizados aproximadamente 3 g de amostra, que foram submetidas a mufla a 550 °C por 2 horas, até que a calcinação completa. Após esse período as amostras foram

colocadas em dessecador e pesadas, seguindo a metodologia da AOAC (2012). Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

2.3.3 Determinação do teor de fibra

A determinação do teor de fibra total foi realizada por hidrólise ácida (H₂SO₄ 1,25%) seguida de hidrólise alcalina (NaOH 1,25%). Foram utilizados 3 g de cada amostra processadas em um bloco digestor de fibras, seguindo à metodologia seguida por AOAC (2012). Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

2.3.4 Determinação matéria graxa

Para determinação da matéria graxa foram utilizados cerca de 3 g de cada amostra e realizadas em extrator Soxhlet, utilizando éter de petróleo para a extração, conforme a metodologia descrita por AOAC (2012). E os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

2.3.5 Determinação do teor de proteína

Para a determinação do teor de proteína, onde representa o conteúdo total de protídeos na amostra, foram utilizadas três repetições com cerca de 200 mg de amostra, as quais foram submetidas em bloco digestor, seguido de destilação, seguindo a metodologia da AOAC (2012). O fator utilizado para conversão do teor de N em proteína bruta foi de 6,2. Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

2.3.6 Determinação do teor de açúcares totais

Para determinação do teor de açúcares totais, que representa o conteúdo total de açúcares redutores, mais a quantidade de sacarose e outros possíveis açúcares solúveis presentes na amostra, foram pesadas três repetições de aproximadamente 500 mg de cada amostra. As amostras foram colocadas em Erlenmeyer de 250 ml, em seguida foram acrescentados 30 ml de etanol absoluto P.A. e 30 ml de água destilada, e levados para o banho-maria com temperatura entre 60 e 65 °C por 1 hora. Após esse tempo, colocou-se 1mL de HCl P.A. concentrado, seguido de leve agitação, e levou novamente a banho-maria, por mais 1 hora, na mesma faixa de temperatura. Os teores açúcares totais foram determinados segundo método de Somogyi (1945)

descrito por Nelson (1944) e os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

2.3.7 Determinação do teor de açúcares redutor

Para a obtenção do teor de açúcares redutores, onde representa o conteúdo total de açúcares livres na amostra, utilizou-se triplicata de cerca de 1 g de cada amostra em Erlenmeyer de 125 ml. Em seguida foi acrescentado 50 ml de H₂O destilada e em seguida aquecidos em banho-maria à temperatura de 65 °C durante 30 minutos, com agitação constante. Depois desse procedimento, os Erlenmeyer foram esfriados até a temperatura ambiente e depois transferida para um balão volumétrico de 100 ml, no qual foi completado seu volume com água destilada. Logo após a homogeneização, a amostra foi filtrada em filtro de papel e determinado teor de açúcares redutores seguindo o método de Somogyi (1945) e Nelson (1944). Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

2.3.8 Determinação do teor de amido

A determinação do teor de amido foi realizada pelo método enzimático. Após feito a passagem pela peneira de abertura de 0,180 mm, as amostras de aproximadamente 200 mg foram colocadas em erlenmeyers, aos quais foram acrescentados 42 ml de água destilada, 1 mL de solução tampão Acetato de Sódio 2 mol L⁻¹ em pH 5,35 e 100 µL de solução comercial da enzima liquozyme (Supra 2.2 x, Novozymes. Em seguida, foram colocadas em banho-maria com à temperatura de 90 °C, durante 120 minutos com agitação suave, tendo uma prova em branco. Em seguida adicionou 100 µL de solução comercial da enzima amiloglucosidae (AMG 300L, Novozymes), e agitada constantemente suavemente no banho-maria com à temperatura de 60 °C, por 120 minutos. Após essas etapas, a solução foi filtrada com um papel simples e no material filtrado foi dosado o teor de açúcares redutores, seguindo a metodologia descrita por Somogyi (1945) e Nelson (1944) e AOAC (2012), utilizando o fator de conversão de 0,9. Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

2.3.9 Minerais

Foram analisados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, e Zn, seguindo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

2.4 Avaliações tecnológicas nas raízes cruas e cozidas

2.4.1 Tempo de cozimento

Para a determinação do tempo de cozimento foram cortados toletes de 3 cm de comprimento retirados do terço médio das raízes frescas. O corte dos toletes foi realizado em cortador manual (Vitax Médio) com uma grade de 10 milímetros para obtenção de palitos de 10x10x30 mm. A determinação do tempo de cozimento foi conduzida em um cozedor Mattson modificado e adaptado para avaliar o cozimento de mandioca, seguindo a metodologia descrita por Oliveira et al. (2005).

2.4.2 Ganho de peso e hidratação

A diferença de peso foi calculada pela razão entre o peso dos toletes crus e os toletes cozidos. A porcentagem de hidratação foi quantificada pela seguinte fórmula (FAVARO et al. 2008):

$$\% \text{ de hidratação} = \frac{(\text{Massa do tolete cozido} - \text{Massa do tolete cru}) \times 100}{(\text{Massa do tolete cru})}$$

2.4.3 Cor

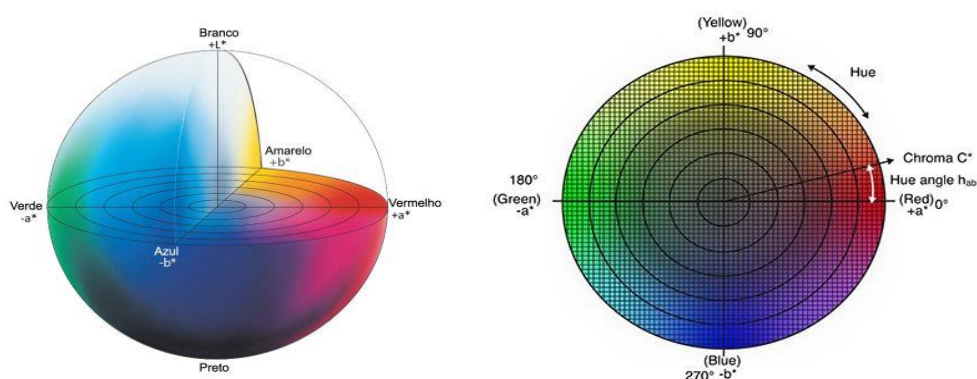
A determinação da cor foi realizada em colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing), antes e após o cozimento das raízes tuberosas. Foram determinados os valores de L* (representa luminosidade), a* (representa variação de cor do verde ao vermelho), b* (representa variação de cor do azul ao amarelo) (PAPADAKIS et al., 2000). A partir dos valores de a* e b* foi calculado o ângulo hue ($^{\circ}h = \tan^{-1} (b^* / a^*)$), que define a tonalidade de cor, e o chroma ($C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$), que define a intensidade de cor (MCGUIRE, 1992).

2.4.4 Textura

A determinação da textura foi avaliada em cada uma das amostras de raízes tuberosas (sem a casca) de cada parcela experimental antes e após cozimento. Para a determinação foram utilizados toletes com aproximadamente 3 cm de comprimento, retirados do terço médio das raízes tuberosas frescas. Para a avaliação da firmeza utilizou-se o texturômetro (TA.XT Plus Texture Analyser) com ponta de prova SMS P/2N e velocidade de penetração de 2,5 mm s⁻¹. A leitura foi realizada em dois

diferentes pontos centrais dos toletes, cujos resultados obtidos foram expressos em Newton (N).

Figura 17 - Representação da cor sólida no espaço $L^*a^*b^*$, chroma e hue



Fonte: Adaptado de Minolta (1994)

2.4.5 Perda de minerais

Após o cozimento das raízes, as amostras foram colocadas em estufa a 55 °C, para a determinação de umidade, e em seguida foram moídas e feita as análises de macro e micronutriente para a obtenção da porcentagem da perda de nutrientes no cozimento (MALAVOLTA, 1997).

2.5 Análise estatística

Os dados obtidos em cada experimento foram submetidos a análise de variância separadamente. O critério para a escolha do modelo linear ou quadrático, foi escolhido a partir do maior R^2 . O efeito das doses de FeSO_4 e ZnSO_4 foram avaliados por análise de regressão ($p \leq 0,05$). A análise estatística foi realizada com auxílio do *software* Sisvar.

Para a visualização da performe da mandioca submetida a diferentes doses de ferro e zinco, foi realizado inicialmente a divisão em 3 grupos das variáveis analisadas, para cada micronutriente, sendo que o critério foi a relação agrônômica existente entre elas. Assim, aplicou-se o teste de correlação de *Pearson* e em seguida verificou-se a significância ($\alpha = 5\%$), utilizando os pacotes “latticeExtra” e “Hmisc” no Programa R. Para melhor visualização foram elaborados heatmaps (mapas de calor) utilizando os

pacotes “corrplot” e “RColorBrewer” e em seguida aplicou o método “FPC” para agrupar as correlações positivas e negativas.

A análise multivariada por PCA foi construída utilizando todas as variáveis, primeiro transformou-se os dados em “log”, para padronizá-lo. Para isso, utilizou os pacotes “PCAtools”, “chemometrics”, “ellipse” e “stats” no *software* R.

2.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.6.1 Ensaio 1- Efeitos das doses de FeSO₄

2.6.1.1 Composição nutricional das raízes

Independente dos níveis de fertilização com FeSO₄, a composição nutricional das raízes de mandioca (Tabela 10) se enquadraram na composição relatada por Montagnac et al. (2009).

Na análise dos efeitos das doses de fertilizante de FeSO₄ sobre a composição nutricional das raízes de mandioca foi observado efeito sobre os teores de fibras, açúcar total, proteína, matéria graxa e textura antes do cozimento (Tabela 10 e Figura 18).

O teor de fibra na mandioca aumentou com as doses de FeSO₄, sendo que a fibra é um componente importante para a nutrição humana, podendo reduzir algumas doenças crônicas como: acidente vascular cerebral (AVC) (BOLTON; HEATON; BURROUGHS, 1981), hipertensão arterial (CEREDA, 1994), diabetes melito (DM) (DAVIES; BROWN; LIVESEY, 1991) e algumas desordens gastrointestinais (EASTWOOD et al., 1984). O aumento de consumo de fibras melhora os níveis dos lipídeos séricos (FIORETO, 1984; KOK, 1942), melhora o controle da glicemia em pacientes com diabetes melito (DM) (KROTKIEWSKI, 1984), ajuda na perda de peso corporal (KROTKIEWSKI; SMITH, 1984) e ainda ajuda na melhora do sistema imunológico (LEONEL, 1998).

Na matéria graxa houve redução linear no teor, segundo Andrade e Martins (2002), materiais que possuem quantidades de matéria graxa, conseqüentemente irá ter uma maior dissolução no meio utilizado.

Segundo Elias et al. (2009) os lipídios são os constituintes que são mais susceptíveis a degradação química, mostrando que isso pode ser mudado pela temperatura de secagem de raiz tuberosa. A composição dos lipídios nos alimentos representa uma fração de alta energia e calorias, porém dependendo de sua

composição e quantidade, pode haver a deterioração na qualidade do alimento durante a estocagem, produzindo odor e gosto desagradável (SGARBIERI, 1987).

O teor de proteína aumentou até a dose estimada de $3,8 \text{ g pl}^{-1}$ em comparação com a testemunha. A composição nutricional das raízes tuberosas da mandioca depende de algumas variáveis como cultivares, espaçamento, idade da planta, condições edafoclimáticas e adubação (FERNANDES et al., 2016).

As raízes tuberosas apresentam baixos teores de proteína, variando de $0,84$ a $1,06 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ sendo que nesse estudo os teores foram menores do que encontrados por Andrade et al. (2017). A raiz possui baixo teor de proteína devido ser a parte da planta que tem função de armazenar carboidratos (fonte de energia), além do fornecimento de proteína que ela possui, ela tem propriedades organolépticas e de textura (TAGLIAPIETRA et al., 2019).

Tabela 10 - Umidade, cinza, fibra, matéria graxa, açúcar total, açúcar redutor, proteína, amido e cor e textura antes do cozimento nas raízes tuberosas da mandioca em diferentes doses de FeSO_4

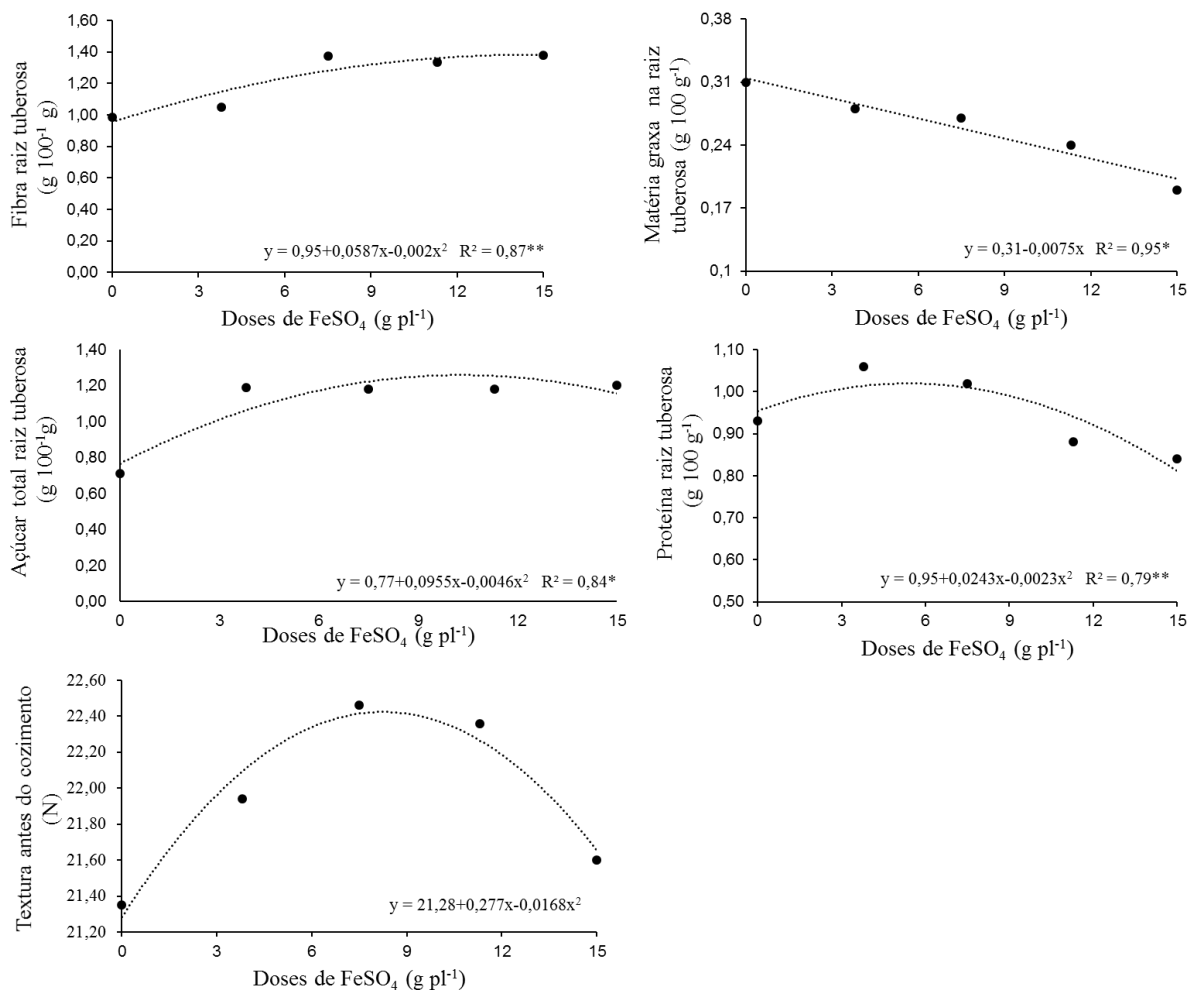
	Doses de FeSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0,0	3,8	7,5	11,3	15,0		
Umidade ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	61,45	60,24	60,20	61,74	62,25	ns	ns
Cinza ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	1,08	1,11	1,11	1,03	0,99	ns	ns
Fibra ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	0,98	1,05	1,37	1,33	1,38	0,87	0,0000
Matéria graxa ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	0,31	0,28	0,27	0,24	0,19	0,95	0,0001
Açúcar total ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	0,71	1,19	1,18	1,18	1,20	0,84	0,0003
Açúcar redutor ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	0,34	0,34	0,35	0,42	0,42	ns	ns
Proteína ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	0,93	1,06	1,02	0,88	0,84	0,79	0,0082
Amido ($\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	34,16	34,70	34,47	33,16	32,70	ns	ns
Cor antes do cozimento (L^*)	78,47	75,24	76,77	75,65	76,39	ns	ns
Chroma	18,02	17,95	17,71	17,22	18,59	ns	ns
Hue	79,07	77,68	77,94	78,87	78,11	ns	ns
Textura antes do cozimento	21,3	21,9	22,4	22,3	21,6	0,95	0,0032

ns é não significativo.

Com relação à textura das raízes cruas de mandioca houve efeito significativo da fertilização com FeSO_4 , com aumento da firmeza das raízes com o incremento até

a dose estimada de 8,5 g pl⁻¹ e declínio nas doses mais elevadas. Este efeito pode estar relacionado ao efeito da fertilização nos teores de fibras, bem como possível reação de *cross-linking* de cátions com a pectina (FAVARO et al. 2008) (Tabela 10 e Figura 18).

Figura 18 - Efeitos das doses de FeSO₄ sobre a composição centesimal das raízes tuberosas da mandioca IAC 576-70



2.6.1.2 Minerais nas raízes cruas

Não houve efeitos significativos das doses de FeSO₄ sobre o teor de P, K, Mg, S, Cu, Zn e Mn, mostrando pouca interferência dos níveis de adubação (Tabela 11 e Figura 19).

Os resultados obtidos por Mezette et al. (2009), diferem dos resultados dessa pesquisa, evidenciando menores teores de todos os minerais. Estas variações, dentro de uma mesma cultivar, se devem principalmente às características do solo, clima e idade da planta.

Mezette et al. (2009), avaliando a composição de clones de mandioca selecionados para mesa, comparada com a cultivar IAC 576-70, observaram teor de matéria seca de 43,58% colhidas após 254 dias do plantio. Na determinação dos minerais, a cultivar IAC 576-70 teve: 9170,5 mg kg⁻¹ de K, 510,0 mg kg⁻¹ de P, 701,3 mg kg⁻¹ de Mg, 457,6 mg kg⁻¹ de Ca, 62,0 mg kg⁻¹ de Na, 12,6 mg kg⁻¹ de Zn, 1,4 mg kg⁻¹ de Mn, 2,5 mg kg⁻¹ de Cu e 12,6 mg kg⁻¹ de Fe.

A fertilização com FeSO₄ interferiu nos teores de Ca nas raízes, com aumento até a dose estimada de 6,1 g pl⁻¹, sendo maior que a testemunha. O Ca é um mineral essencial, necessário em funções biológicas como na contração muscular, coagulação sanguíneas, mitose, transmissão do impulso nervoso ou sináptico e o suporte estrutural do esqueleto. Várias pesquisas têm comprovado que o Ca previne doenças como a hipertensão arterial, obesidade, osteoporose, câncer de cólon e obesidade (PEREIRA, et al. 2009).

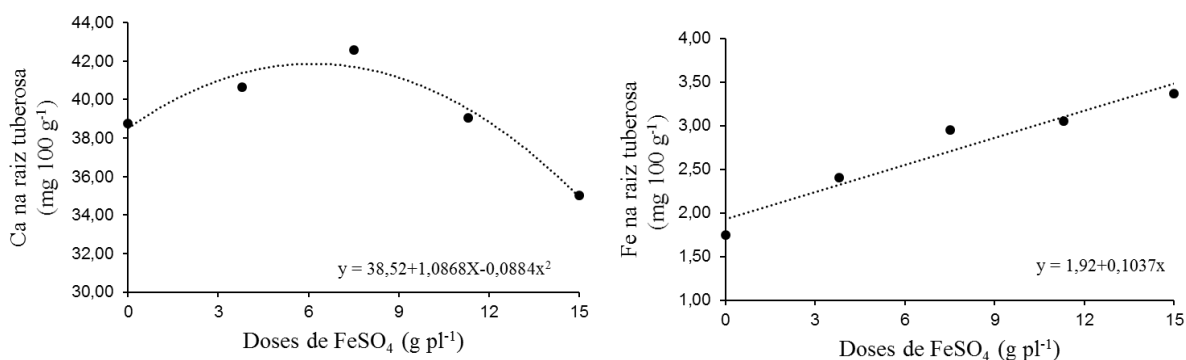
Com relação ao incremento dos teores de FeSO₄ nas raízes tuberosas de mandioca pelo manejo da fertilização, houve incremento linear desse mineral. No nível mais elevado testado o teor de ferro nas raízes tuberosas aumentou em 92,57%, variando de 1,75 mg 100 g⁻¹ no controle para 3,37 mg 100 g⁻¹.

Resultado importante, pois, o Fe apresenta variadas funções no organismo humano, destacando-se a sua participação na composição da hemoglobina (SANTOS et al., 2010). Efeitos mostraram que biofortificação agrônômica com FeSO₄ aumentou o teor de Fe na raiz tuberosa. Estudo que pode ajudar países em desenvolvimentos, onde a dieta da população, geralmente, baseia-se em produtos vegetais, os quais apresentam altos índices de desnutrição pela ausência de Fe (CORGUINHA, 2015). Em países que possuem condições precárias e em países que estão em desenvolvimento, muitas pessoas possuem uma baixa diversidade alimentar e ingestão diária inadequada, estão são as principais razões para a ocorrência generalizada de deficiência de Fe, o que afeta muitas mulheres e crianças. Algumas das principais consequências da deficiência de Fe são a diminuição da função imunológica, retardo mental, redução de capacidade de trabalho e aumento da mortalidade de mãe e filho no nascimento (OMS, 2012). Portanto, este resultado pode ajudar muitas pessoas que tem uma dieta inadequada, principalmente em países em desenvolvimento.

Tabela 11 - Teores dos minerais P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn e Mn nas raízes tuberosas da mandioca em diferentes doses de FeSO_4

	Doses de FeSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0,0	3,8	7,5	11,3	15,0		
P (mg 100 g^{-1})	29,00	28,75	31,00	35,75	28,00	ns	ns
K (mg 100 g^{-1})	328,75	353,75	355,50	337,50	347,00	ns	ns
Ca (mg 100 g^{-1})	38,74	40,63	42,60	39,07	35,02	0,95	0,0013
Mg (mg 100 g^{-1})	17,75	18,50	18,25	18,00	19,25	ns	ns
S (mg 100 g^{-1})	13,00	12,75	12,25	11,75	12,50	ns	ns
Fe (mg 100 g^{-1})	1,75	2,40	2,95	3,05	3,37	0,93	0,0000
Cu (mg 100 g^{-1})	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	ns	ns
Zn (mg 100 g^{-1})	0,70	0,69	0,66	0,60	0,62	ns	ns
Mn (mg 100 g^{-1})	0,30	0,32	0,38	0,30	0,33	ns	ns

ns é não significativo.

Figura 19 - Efeitos das doses de FeSO_4 sobre os teores dos minerais nas raízes tuberosas da mandioca IAC 576-70

2.6.1.3 Análises de cozimento

A análise dos dados não apresentou efeitos significativos das doses de FeSO_4 sobre o ganho de peso, hidratação e cor depois do cozimento (Tabela 12 e Figura 20).

O tempo de cozimento foi maior até a dose estimada de 7,0 g pl^{-1} , sendo que o tempo de cocção e a qualidade de massa cozida da mandioca estão relacionados com a composição química das raízes (SAFO-KANTANKA & OWUSU-NIPAH, 1992; EGGLESTON & ASIEDU, 1994).

O tempo de cozimento das raízes foi abaixo do estipulado para o tempo de cozimento das raízes, que segundo Oliveira (2005), para essa mesma cultivar foi de 28 minutos.

De acordo com a classificação de Vilpoux e Cereda (2003), as raízes adubadas com FeSO_4 receberiam a classificação como tipo A. O tipo A é a que apresenta cozimento normal, em até 30 minutos na metodologia dos palitos, a temperatura de fervura da água e em pressão ambiente. A textura após o cozimento teve influência da adubação de FeSO_4 , aumentando com as doses.

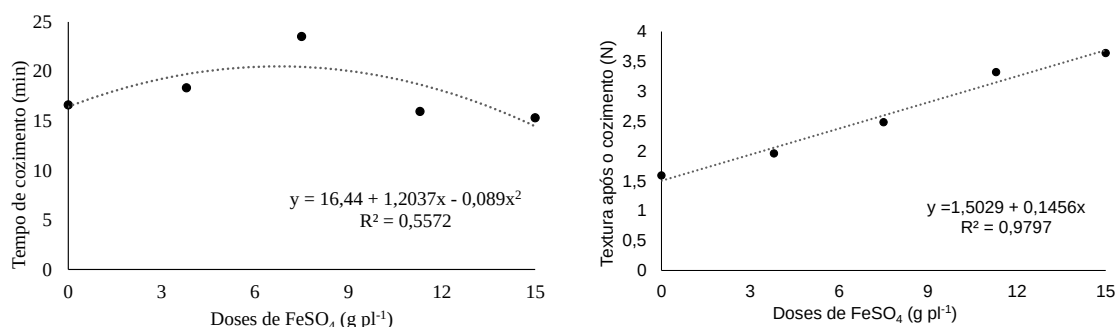
Os principais componentes da raiz da mandioca, são os carboidratos, que são classificados como hidrocoloides que são substância capazes de reter água durante o processo de cocção. Durante o processo hidrotérmico a água é absorvida pelo amido e outros carboidratos, como as fibras solúveis e insolúveis das paredes celulares e também lamela média, causando aumento do volume celular e a separação celular. No processo de cocção de batatas, por exemplo, as células aumentaram em média 138% de diâmetro, processo descrito por modelo matemático de primeira ordem (HARADA et al, 1985).

Tabela 12 - Avaliações tecnológicas nas raízes cozidas: tempo do cozimento, cor e textura nas raízes tuberosas da mandioca em diferentes doses de FeSO_4

	Doses de FeSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0,0	3,8	7,5	11,3	15,0		
Tempo de cozimento (min)	16,61	18,34	23,52	15,96	15,32	0,56	0,0000
Ganho de peso (g)	0,02	0,01	0,02	0,08	0,01	ns	ns
Hidratação (%)	13,92	8,32	12,50	4,39	8,64	ns	ns
Cor depois do cozimento (L^*)	68,73	69,65	68,51	67,84	68,80	ns	ns
Chroma	33,40	33,61	33,82	34,03	34,24	ns	ns
Hue	85,30	86,71	84,45	82,72	84,01	ns	ns
Textura depois do cozimento	1,59	1,96	2,48	3,32	3,64	0,98	0,0000

ns é não significativo.

Figura 20 - Efeitos das doses de FeSO_4 sobre o tempo de cozimento e textura antes e depois do cozimento nas raízes tuberosas da mandioca IAC 576-70



2.6.1.4 Perda de nutrientes com o cozimento

Durante o cozimento ocorre a desestruturação da parede celular e a lixiviação de sólidos para a água de cozimento, o que leva a perdas de minerais. A análise dos dados mostrou não ter ocorrido efeito das doses de fertilizante de FeSO_4 sobre a perda do Fe com o cozimento das raízes, com média de 52,6%.

Para os demais minerais, que teve efeitos das doses de FeSO_4 sobre a perdas, foi possível observar que nas doses estimadas de 14,9; 12,2; 11,3; 9,6; 10,6 e 7,9 g pl^{-1} P, K, Mg, S, Cu, Zn e Mn respectivamente (Tabela 13 e Figura 21), preservaram a maior quantidade de minerais nas raízes após o cozimento e as maiores perdas para todos os minerais aconteceram no controle, o que indica possíveis interações desses minerais com componentes da parede celular.

Mezzete et al. (2009) em seu estudo com o cozimento de mandiocas de mesa observaram média total de perda de minerais de 15%. O Fe foi o elemento com a maior perda durante o processo de cozimento, cerca de 42% e o Ca, o de menor perda, cerca de 5%. Este resultado difere do observado neste estudo onde a ordem de perda no tratamento controle foi de $\text{Ca} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{S} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$. Com o aumento das doses de fertilizante esta ordem foi alterada e na dose máxima a perda de nutrientes foi $\text{Ca} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{K} > \text{S} > \text{Mg} > \text{P}$. O efeito da fertilização sobre a perda de minerais é muito importante pela funcionalidade destes na saúde humana.

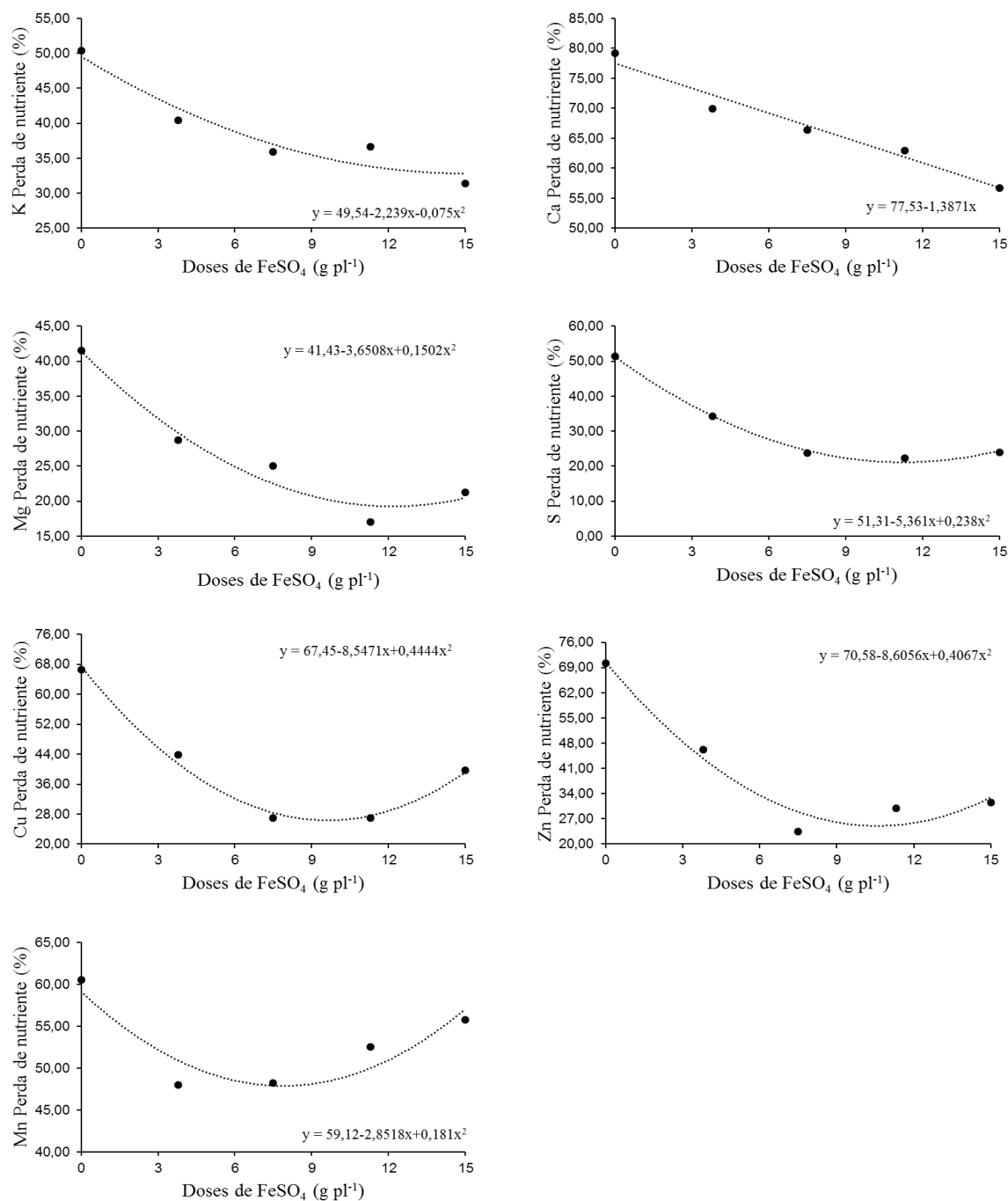
Considerando as recomendações do *Institute of Medicine* (2003), a dose diária recomendada de Fe para homens e mulheres adultos é de 8 e 18 mg dia^{-1} , respectivamente. De acordo com os resultados desse estudo é possível concluir que a ingestão de 100 gramas de mandioca cozida biofortificada supre 20% e 8,94% das recomendações diárias para homens e mulheres, respectivamente.

Tabela 13 - Perda de minerais P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn e Mn na raiz tuberosa da mandioca após o cozimento em diferentes doses de FeSO_4

	Doses de FeSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0,0	3,8	7,5	11,3	15,0		
P (%)	30,30	16,72	18,99	34,41	11,79	ns	ns
K (%)	50,35	40,48	35,83	36,99	31,46	0,93	0,0001
Ca (%)	79,25	70,00	66,50	63,00	56,75	0,96	0,0000
Mg (%)	41,50	28,75	25,00	17,00	21,25	0,96	0,0000
S (%)	51,50	34,25	23,75	22,25	24,00	0,99	0,0000
Fe (%)	54,46	45,95	54,07	56,31	52,17	ns	ns
Cu (%)	66,50	43,75	27,00	27,00	39,75	0,99	0,0000
Zn (%)	70,25	46,25	23,50	30,00	31,50	0,96	0,0000
Mn (%)	60,50	48,00	48,25	52,50	55,75	0,83	0,0000

ns é não significativo.

Figura 21 - Efeitos das doses de FeSO_4 sobre a perda de nutrientes nas raízes tuberosas da mandioca IAC 576-70



2.6.1.5 Análises de correlação e componentes principais

Os coeficientes de correlação de *Pearson's* para o ensaio de fertilização com Fe em mandioca estão apresentados no *heat map* da Figura 22. O teor de Fe nas raízes cruas de mandioca correlacionou-se positivamente com os teores de fibras, açúcares totais e redutores e, estes também se correlacionaram positivamente. Os teores de açúcares totais tiveram correlação positiva com a textura das raízes cruas

de mandioca. O teor de proteínas nas raízes foi positivamente correlacionado com cinzas e matéria graxa, os quais correlacionaram-se positivamente com o amido. O teor de umidade nas raízes de mandioca foi negativamente correlacionado com proteína, cinza, amido e matéria graxa (Figura 22A).

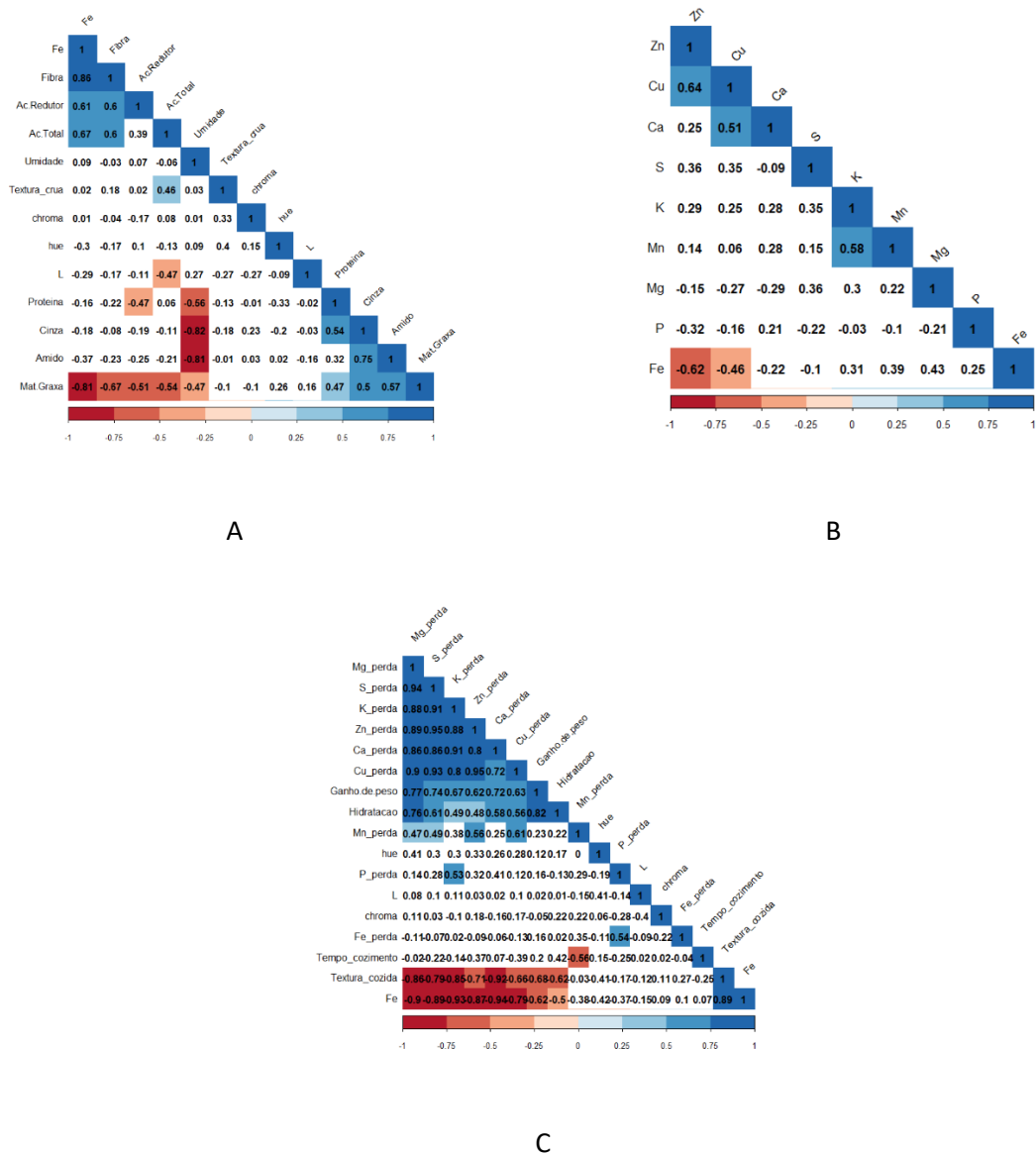
Para a análise de correlações entre os minerais, o Fe correlacionou-se negativamente com o Zn e com o Cu. Para os demais minerais, o Zn foi positivamente correlacionado com o Cu e este com o Ca. Observou-se também correlação positiva entre o K e o Mn (Figura 22B).

Nos parâmetros analisados para o cozimento das raízes de mandioca (Figura 22C), o teor de Fe nas raízes cruas correlacionou-se negativamente com o ganho de peso e hidratação no cozimento e, também, com as perdas de Mg, S, K, Zn, Ca e Cu após o cozimento. Estas mesmas perdas de minerais no cozimento foram negativamente correlacionadas com a textura das raízes após o cozimento. A perda de Fe teve correlação positiva com a perda de P e esta correlacionou-se positivamente com a perda de K.

A análise dos componentes principais para a composição nutricional das raízes de mandioca cruas evidenciou que 77,8% da variação dos dados são explicados por PC1 e PC2 (Figura 23A). Os teores de Fe, fibras e açúcares, bem como, matéria graxa e proteína são os principais responsáveis pela separação (Figura 23B). Para os efeitos das doses de fertilizante de Fe é possível observar a nítida separação do tratamento controle dos demais tratamentos, com a dose de 10 g pl^{-1} como ponto crítico para a diferenciação dos parâmetros analisados (Figura 23C).

A análise de PCA para os minerais nas raízes cruas de mandioca mostrou que 72% da variação dos dados são explicados por PC1 e PC2 (Figura 23D), com maior interferência do Fe, seguida por P, Ca, Zn e Cu (Figura 23E). A separação do tratamento controle com os demais tratamentos foi evidenciada na Figura 23F, mostrando que a dose de 10 g pl^{-1} foi limitante na separação.

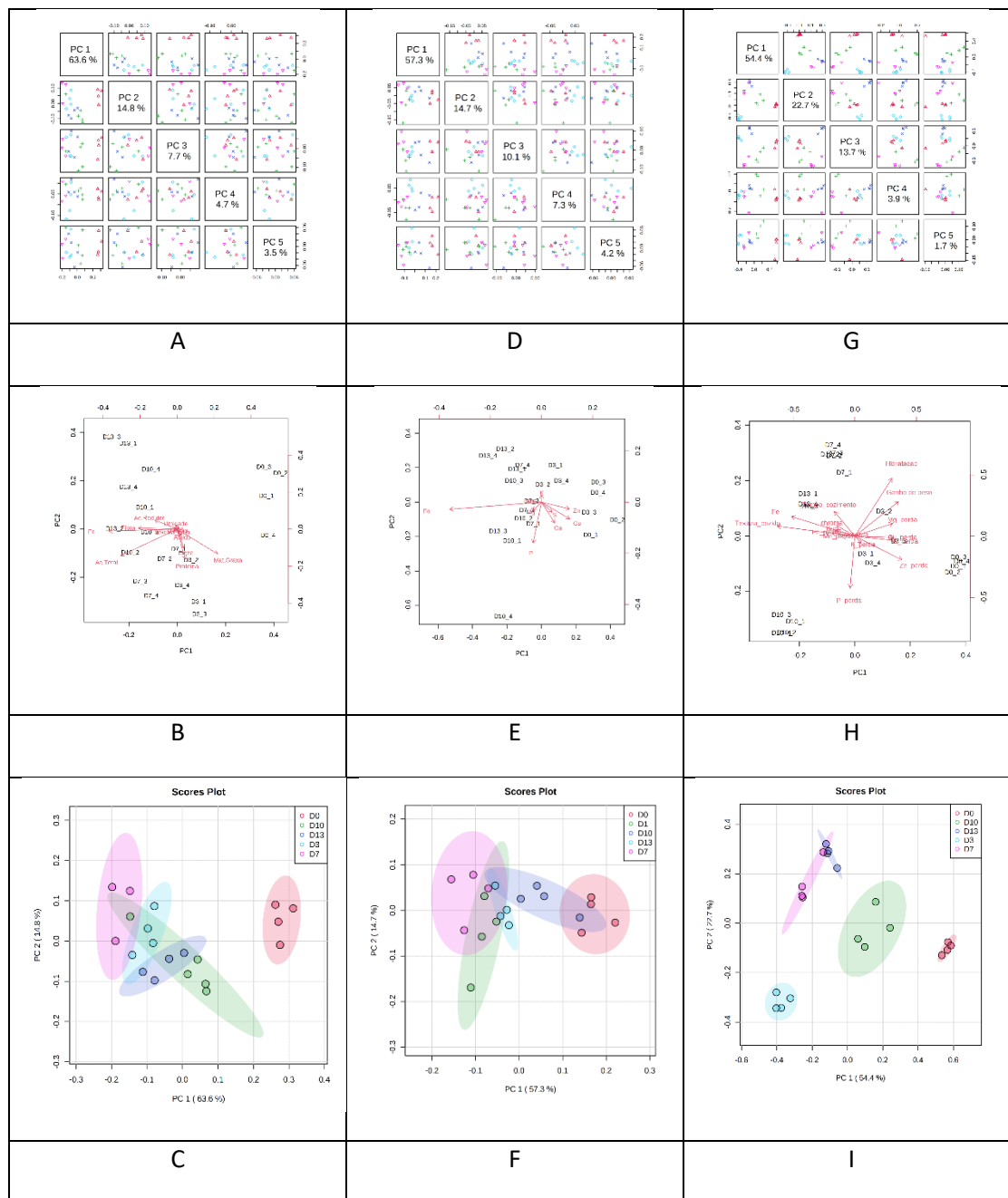
Figura 22 - Mapa de calor (Heat map) das correlações de Pearson's entre ferro, fibra, açúcar redutor, açúcar total, umidade, cinzas, proteína, matéria graxa, cor textura, minerais das raízes cruas e parâmetros de cozimento e perda de nutrientes nas raízes cozidas. A cor das barras indicam o tipo de correlação, onde 1 indica correlação perfeitamente positiva (azul escuro) e -1 significa perfeitamente negativa (vermelho escuro)



Para os parâmetros de cozimento e perda de nutrientes, a análise dos componentes principais mostrou que PC1 e PC2 correspondem a 77,1% da variabilidade total (Figura 23G). Ganho de peso, hidratação, textura após o cozimento e Fe nas raízes cruas foram os principais responsáveis para variabilidade (Figura 23H). A separação por doses evidenciou a diferença dos tratamentos em relação ao controle para os parâmetros estudados, não ocorrendo diferenciação entre D7 e D13

(Figura 23I), o que confirma a tendência a um aumento observado na Figura 20 para a perda de alguns minerais no cozimento.

Figura 23 - Análise de componentes principais para a composição nutricional, cor, textura nas raízes cruas de mandioca, parâmetros de cozimento e perdas de nutrientes. *O teor de ferro foi incluído para a verificação da interferência na separação dos componentes



2.6.2 Ensaio 2- Efeitos das doses de ZnSO₄

2.6.2.1 Composição nutricional das raízes

A variação nas doses de ZnSO₄ influenciou os teores de cinza, fibra, matéria graxa e açúcar total na raiz tuberosa (Tabela 14 e Figura 24). Para fibra e matéria graxa houve redução na quantidade. Pereira e Beléia (2004) analisando a composição de raízes de plantas com 7 e 19 meses de idade encontraram teores de fibra de 2,3% e 1,9%, respectivamente, resultados que são maiores que os desse estudo, os quais apresentaram redução linear na quantidade.

O teor de cinza teve uma redução linear, mostrando que a testemunha, onde não foi feito a adubação de zinco, teve a maior quantidade de sais minerais. Os teores de cinza em raízes de mandioca são bastante variáveis, com relatos de maiores valores em variedades de “mesa” (MENEGUCCI, 2020).

O açúcar total teve redução até a dose 3,2 g pl⁻¹, com aumento a partir dessa dose.

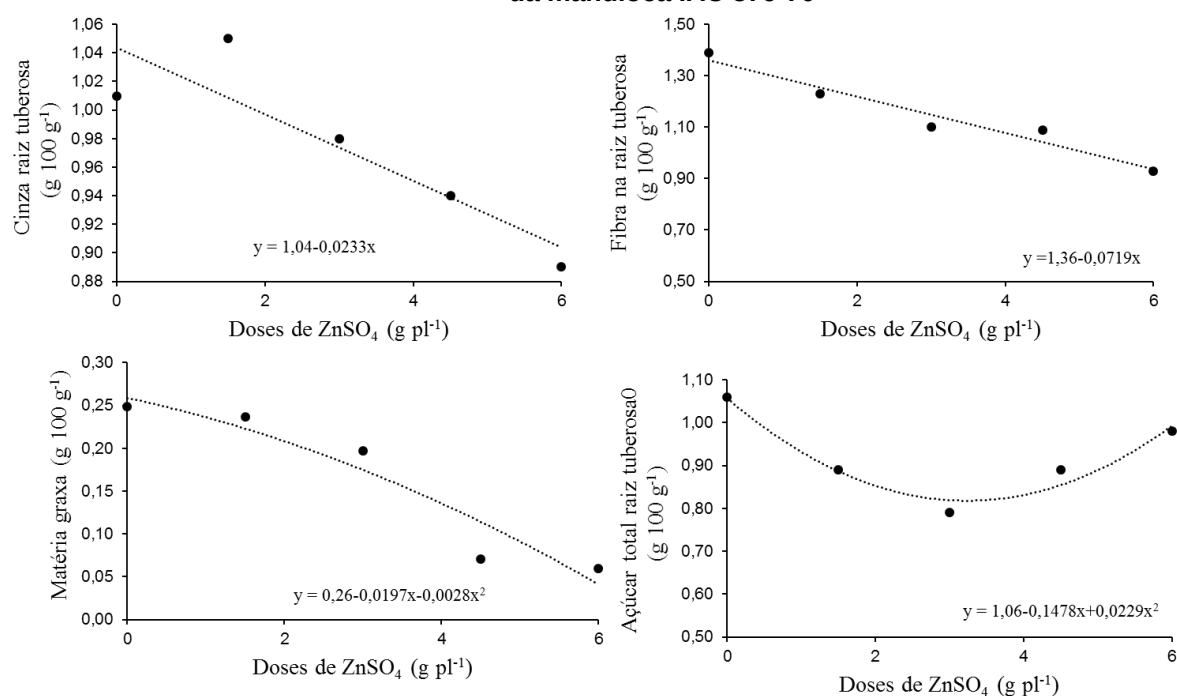
As composições das raízes tuberosas variam com o genótipo, fase de crescimento da planta, tipo de solo e práticas culturais. A composição média é de 63,4% de umidade; 0,2% de açúcares totais; 0,7% de fibras; 1,0% de proteína; 0,4% de matéria graxa e 0,7% de cinzas, dados que variam com os dados dessa pesquisa (ALBUQUERQUE, 1969; OLIVEIRA; MORAES, 2009).

Tabela 14 - Composição centesimal, umidade, cinza, fibra, matéria graxa, açúcar total, açúcar redutor, proteína, amido e cor e textura antes do cozimento nas raízes tuberosas da mandioca em diferentes doses de ZnSO_4

	Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0,0	1,50	3,00	4,50	6,00		
Umidade (g 100 g^{-1})	60,90	62,00	60,80	61,07	61,60	ns	ns
Cinza (g 100 g^{-1})	1,01	1,05	0,98	0,94	0,89	0,80	0,0014
Fibra (g 100 g^{-1})	1,39	1,23	1,10	1,09	0,93	0,96	0,0000
Matéria graxa (g 100 g^{-1})	0,23	0,23	0,19	0,07	0,06	0,91	0,0000
Açúcar total (g 100 g^{-1})	1,06	0,89	0,79	0,89	0,98	0,94	0,0445
Açúcar redutor (g 100 g^{-1})	0,33	0,36	0,34	0,34	0,33	ns	ns
Proteína (g 100 g^{-1})	0,88	0,82	0,94	0,92	0,91	ns	ns
Amido (g 100 g^{-1})	34,15	33,37	34,85	34,65	34,27	ns	ns
Cor antes do cozimento (L^*)	77,96	75,88	77,74	79,48	78,18	ns	ns
Chroma	16,60	17,96	17,71	19,09	18,40	ns	ns
Hue	77,07	77,82	78,28	79,49	79,33	ns	ns
Textura antes do cozimento	21,5	23,71	22,84	21,41	24,51	ns	ns

ns é não significativo.

Figura 24 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre a composição centesimal das raízes tuberosas da mandioca IAC 576-70



2.6.2.2 Minerais nas raízes cruas

O teor de nutrientes no controle (sem a adubação com ZnSO_4) seguiu a ordem do maior para o menor teor $\text{K} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$, mostrando que o Zn é o sétimo maior teor na raiz tuberosa.

O teor de nutrientes na raiz tuberosa da mandioca fertilizadas com diferentes níveis de ZnSO_4 estão apresentados nas Tabelas 15 e Figura 25. A análise dos dados não mostrou efeito das doses de ZnSO_4 sobre os teores de Mg e S, e para os micronutrientes Cu e Mn.

O teor de Ca teve redução linear nas raízes tuberosas. Para o Fe, o teor diminuiu nas menores doses e aumentou nas doses maiores de ZnSO_4 , para o teor de Zn, teve aumento até a dose estimada de $3,2 \text{ g pl}^{-1}$ de ZnSO_4 .

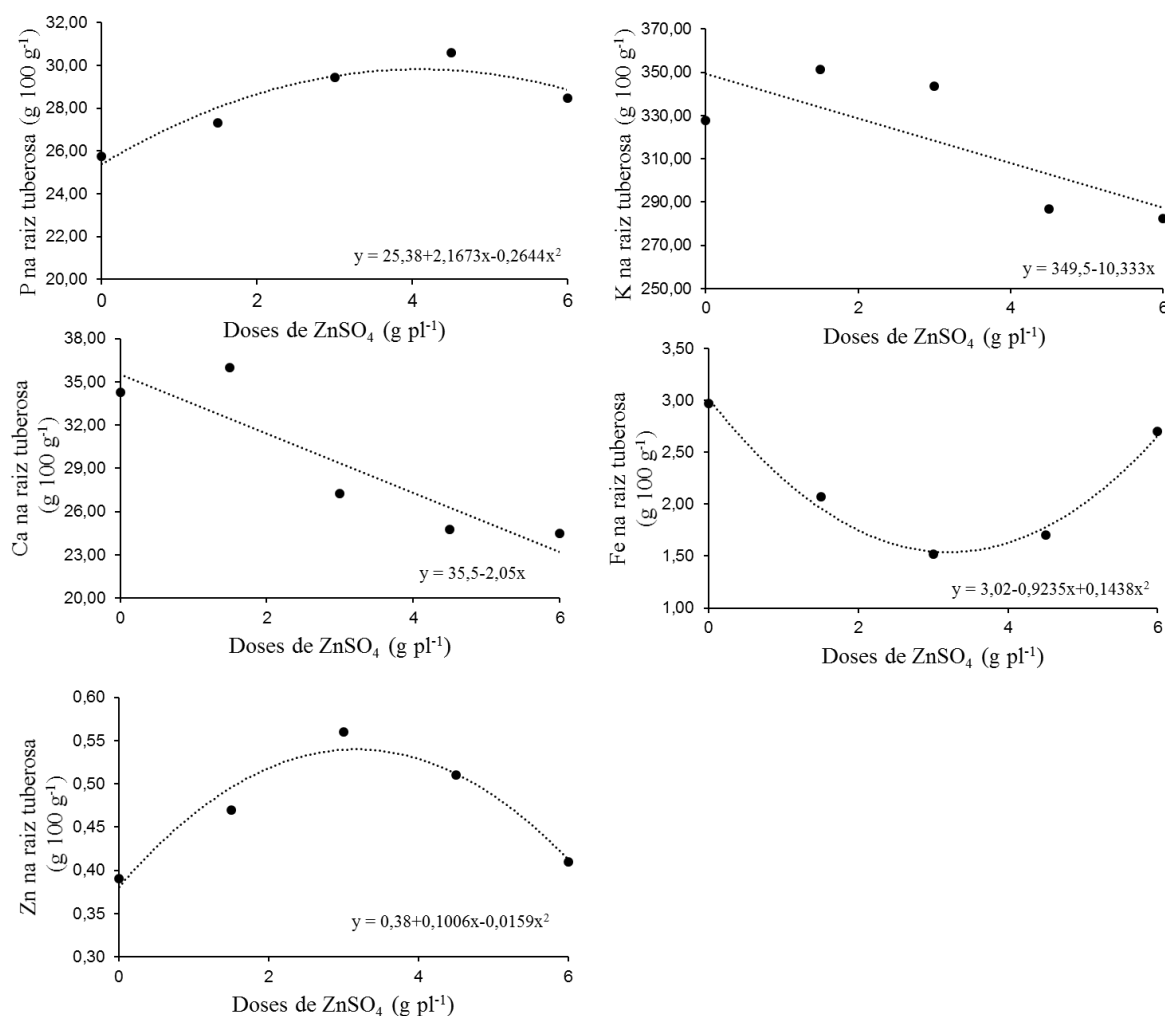
O aumento do Zn na raiz tuberosa é um resultado importante na biofortificação da mandioca, pois mostra que a adubação com ZnSO_4 resultou em teores maiores do que a testemunha, onde não se tem a adubação. O Zn é um mineral que atua em vários processos bioquímicos (NRIAGU, 2007), como também está envolvido na síntese de ácidos nucleicos (DNA e RNA) e no crescimento e diferenciação celular (MAYER; PFEIFFER; BEYER, 2008).

Tabela 15 - Teores dos minerais P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn e Mn nas raízes tuberosas da mandioca em diferentes doses de ZnSO_4

	Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0,0	1,50	3,00	4,50	6,00		
P ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	25,76	27,30	29,45	30,59	28,47	0,89	0,0056
K ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	327,75	351,50	343,75	287,00	282,50	0,59	0,0001
Ca ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	34,25	36,00	27,25	24,75	24,50	0,81	0,0000
Mg ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	16,50	18,50	18,50	16,25	15,00	ns	ns
S ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	12,50	13,25	12,25	11,75	11,00	ns	ns
Fe ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	2,97	2,07	1,52	1,70	2,70	0,98	0,0000
Cu ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	0,10	0,09	0,08	0,09	0,08	ns	ns
Zn ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	0,39	0,47	0,56	0,51	0,41	0,94	0,0000
Mn ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)	0,28	0,25	0,23	0,26	0,24	ns	ns

ns é não significativo.

Figura 25 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o teor de minerais na raiz tuberosa da mandioca IAC 576-70



2.6.2.3 Análises de cozimento

As variáveis tempo de cozimento, ganho de peso, hidratação, L^* e Chroma não apresentaram resultados significativos. O ângulo hue ($^{\circ}h$) indica a tonalidade de cor em que: $^{\circ}h = 0$ indica cor vermelha, $^{\circ}h = 90$ indica cor amarela, $^{\circ}h = 180$ indica cor verde, e $^{\circ}h = 270$ indica cor azul. As raízes após o cozimento, apresentaram cor amarela, sendo que as mandiocas que receberam a adubação com ZnSO_4 até a dose estimada de 3,5 g pl^{-1} apresentaram a cor mais amarela do que a testemunha (Tabela 16 e Figura 26).

O tempo de cozimento varia com as variedades das raízes e o tempo decorrido a partir da data de plantio; sendo que raízes mais velhas geralmente demoram mais para o cozimento (BELEIA et al., 2007 & NGEVE, 2003). Lorenzi (1994) afirma que quanto menor for o tempo de cozimento das raízes tuberosas, melhor será as qualidades sensoriais da massa gerada.

A textura das raízes após o cozimento teve influência da adubação, mostrando que até a dose estimada de $5,9 \text{ g pl}^{-1}$ de ZnSO_4 , a textura das raízes diminuiu, portanto, as raízes ficaram mais macias do que a testemunha. Resultado importante por ser uma cultivar de mesa.

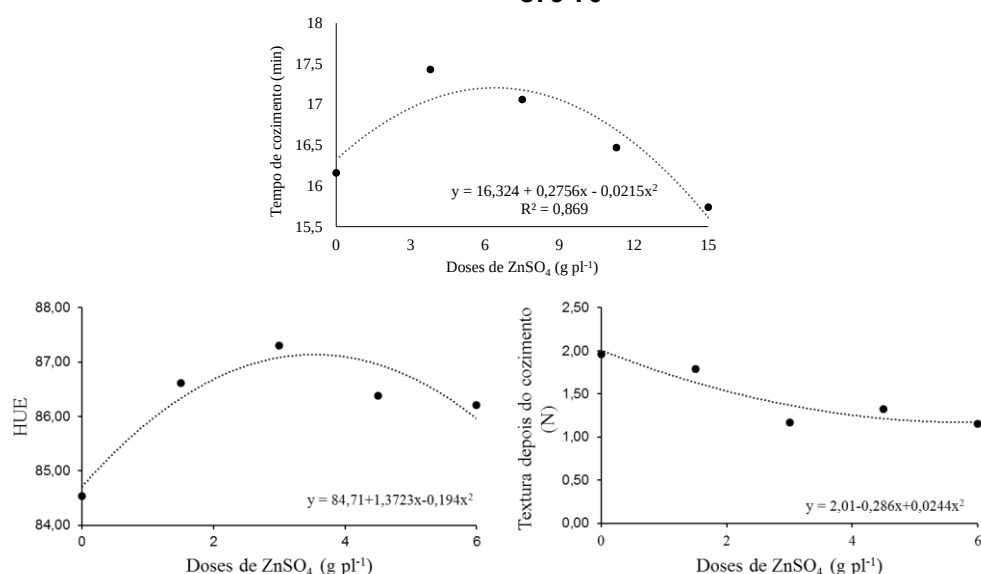
A textura após o cozimento provavelmente depende das propriedades de componentes da parede celular, suas composições, proporções e interações em relação aos diferentes níveis de estrutura (WALDRON et al.,2003), incluindo também o mecanismo molecular pelo qual as células aderem umas às outras.

Tabela 16 - Avaliações tecnológicas nas raízes cozidas como: tempo do cozimento, cor e textura depois cozimento nas raízes tuberosas da mandioca em diferentes doses de ZnSO_4
Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})

	0,0	1,50	3,00	4,50	6,00	R ²	P-value
Tempo de cozimento (min)	16,16	17,43	17,06	16,47	15,74	0,86	0,0001
Ganho de peso (g)	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	ns	ns
Hidratação (%)	12,89	37,70	15,03	14,94	15,94	ns	ns
Cor depois do cozimento (L*)	67,74	64,29	66,04	66,87	67,14	ns	ns
Chroma	33,08	32,52	34,24	33,29	32,13	ns	ns
Hue	84,53	86,61	87,31	86,38	86,21	0,87	0,0479
Textura depois do cozimento	1,96	1,79	1,17	1,32	1,15	0,86	0,0000

ns é não significativo.

Figura 26 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o tempo de cozimento, a cor (HUE) depois do cozimento e textura depois do cozimento nas raízes tuberosas da mandioca IAC 576-70



2.6.2.4 Perda de nutrientes com o cozimento

A ordem de perda no tratamento controle (dose 0) foi de Fe>Cu>Ca>Mn>S>Mg>K>P>Zn, mostrando que no controle se teve a menor perda do Zn. Com o aumento das doses do Zn esta ordem foi alterada e na dose máxima a perda de nutrientes foi Fe>Ca>Cu>Zn>S>P>K>Mn>Mg (Tabela 17).

Durante o cozimento da mandioca ocorre a desestruturação da parede celular e a lixiviação de sólidos para a água do cozimento o que leva a perda de minerais.

A análise dos dados mostrou não terem ocorridos efeito significativos das doses de ZnSO₄ sobre a perda dos micronutriente S e Fe.

A perda de Ca e Cu na raiz tuberosa após o cozimento teve diminuição com o aumento das doses, mostrando que a dose estimada de 5,2 e 1,1 g pl⁻¹, respectivamente preservou a maior quantidade do mineral (Tabela 17 e Figura 27). A perda de Zn aumentou nas maiores doses comparado com a testemunha, resultado importante para a pesquisa e também para a biofortificação da cultura, segundo Who (2007), a deficiência de Zn é responsável por 16% das infecções respiratórias, 18% dos casos de malária e 10% das diarreias no mundo.

Quanto maior foi a dose da adubação de ZnSO₄, maior foi a perda de P nas raízes tuberosas após o cozimento.

Resultado importante para a pesquisa e também para a biofortificação da cultura, segundo Who (2007), a deficiência de Zn é responsável por quase 16% das infecções respiratórias, 18% dos casos de malária e 10% das diarreias no mundo. O Zn é importante durante períodos de rápido crescimento, para os tecidos que crescem e renovam-se constantemente, como o sistema imunológico e o trato gastrointestinal (BROWN, WUEHLER, PEERSON, 2001).

A perda de Mg foi reduzida também nas maiores doses de ZnSO₄ e evidências apontam que o Mg possui um papel importante na imunidade (LAIRES e MONTEIRO, 2008).

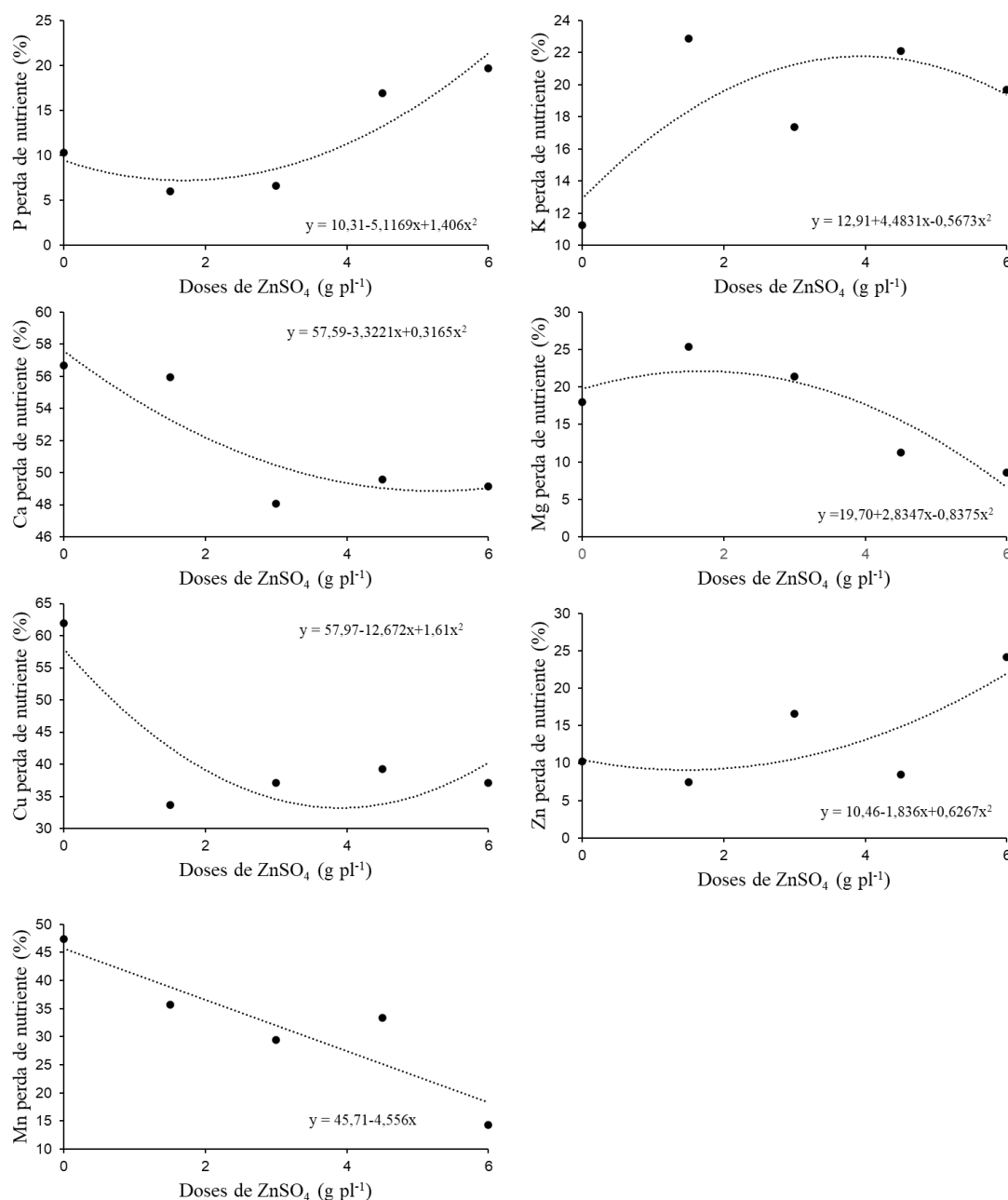
Pode-se observar que ao aumentar as doses de ZnSO₄ a perda de Mn nas raízes tuberosas foi diminuindo, tendo uma redução linear. Sendo que o Mn é um mineral de grande importância para o corpo humano, possuindo um papel fundamental nas atividades enzimáticas (BUENO, 2008). Age como cofator em muitas reações metabólicas, como no metabolismo energético e proteico, glicólise e síntese de adenosina trifosfato (WILBORN, 2004).

Tabela 17 - Perda de nutrientes P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn e Mn nas raízes tuberosas da mandioca após o cozimento em diferentes doses de ZnSO₄

	Doses de ZnSO ₄ (g pl ⁻¹)					R ²	P-value
	0,0	1,50	3,00	4,50	6,00		
P (%)	10,40	6,00	6,50	17,05	19,77	0,86	0,0000
K (%)	11,27	22,92	17,42	22,15	19,75	0,56	0,0000
Ca (%)	56,67	55,95	48,07	49,62	49,17	0,79	0,0000
Mg (%)	17,92	25,42	21,40	11,30	8,65	0,81	0,0000
S (%)	24,20	24,72	24,82	25,60	20,65	ns	ns
Fe (%)	92,80	94,27	93,05	90,70	92,15	ns	ns
Cu (%)	62,00	33,70	37,07	39,30	37,10	0,73	0,0000
Zn (%)	10,27	7,50	16,60	8,50	24,20	0,57	0,0000
Mn (%)	47,37	35,65	29,40	33,37	14,37	0,82	0,0000

ns é não significativo.

Figura 27 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre as perdas de nutrientes nas raízes tuberosas da mandioca IAC 576-70



2.6.2.5 Análises de correlação e componentes principais

Os coeficientes de correlação de *Pearson's* para o ensaio de fertilização com zinco em mandioca estão apresentados no *heatmap* da Figura 28. O teor de Zn nas raízes cruas de mandioca correlacionou-se positivamente com o teor de amido. O teor de matéria graxa tiveram correlação positiva com teores de fibra e cinza. O teor de fibra nas raízes foi positivamente correlacionado com teor de cinzas. O L^* foi

correlacionado com o teor de proteína. O Chroma se correlacionou com Hue. O teor de matéria graxa nas raízes de mandioca foi negativamente correlacionado com Chroma e Hue (Figura 28A).

Para a análise de correlações entre os minerais, o Zn correlacionou-se positivamente com P, o Ca correlacionou-se positivamente Cu, S, K e Mg (Figura 28B).

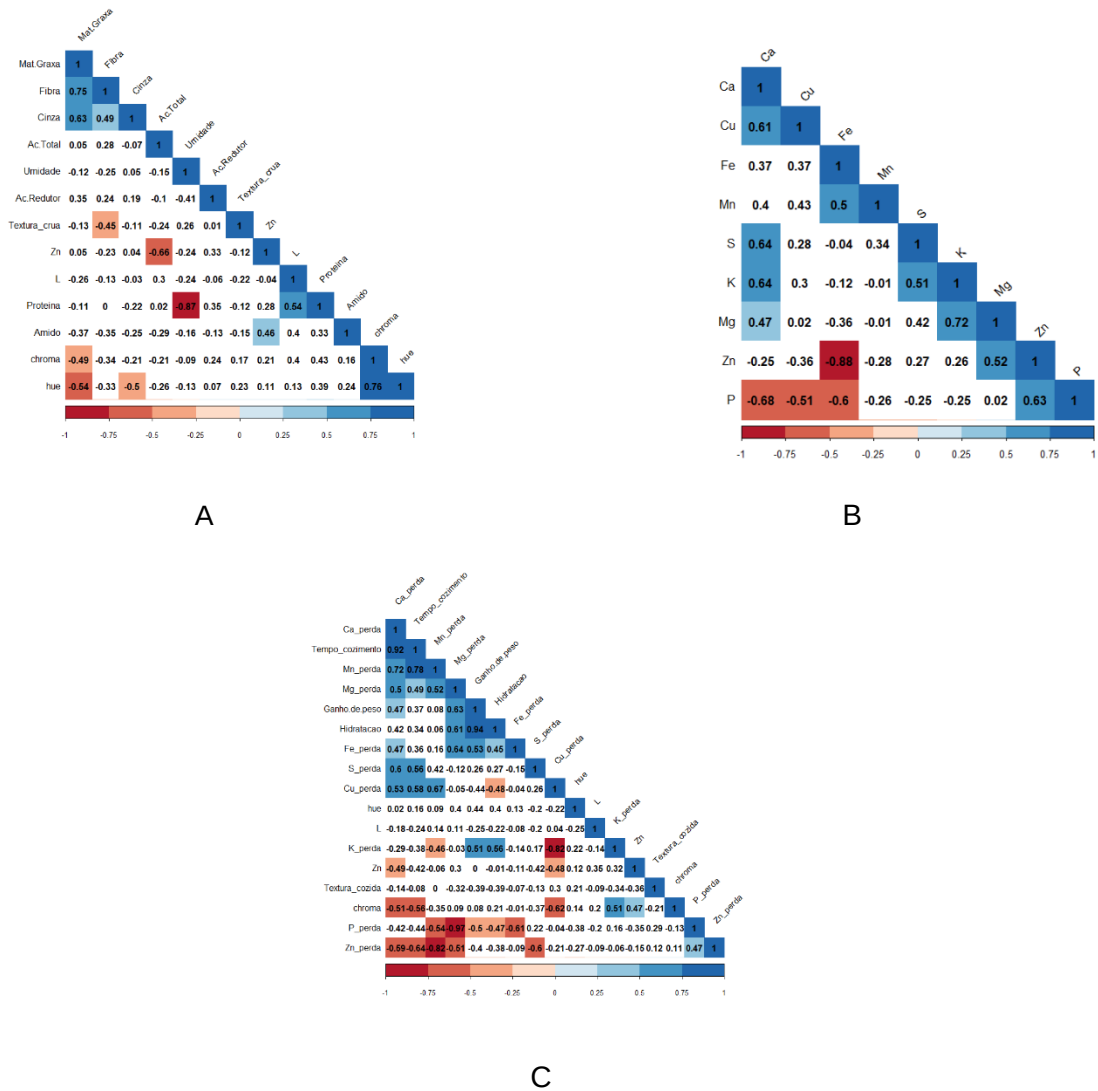
Nos parâmetros analisados para o cozimento das raízes de mandioca (Figura 28C), o teor de Zn nas raízes cruas se correlacionou positivamente com o Chroma, observou-se também a correlação da perda de Zn com a perda de Ca, Mn, Mg, Fe, S, Cu e o tempo de cozimento.

Segundo Silva e Sbrissia (2010), a análise de componentes (PC) melhora a interpretação dos dados, uma vez que ele contém o máximo de informações possível em um menor número de PCs.

A análise dos componentes principais (PCA) para a composição nutricional das raízes de mandioca crua evidenciou que 85,4% da variação dos dados são explicados por PC1 e PC2 (Figura 29A). Os teores de açúcar total, matéria graxa e fibra são os principais responsáveis pela separação (Figura 29B). Para os efeitos das doses de fertilizantes de Zn é possível observar com nitidez a separação dos tratamentos, com a dose de 6 g pl^{-1} como ponto crítico para a diferenciação dos parâmetros analisados (Figura 29C).

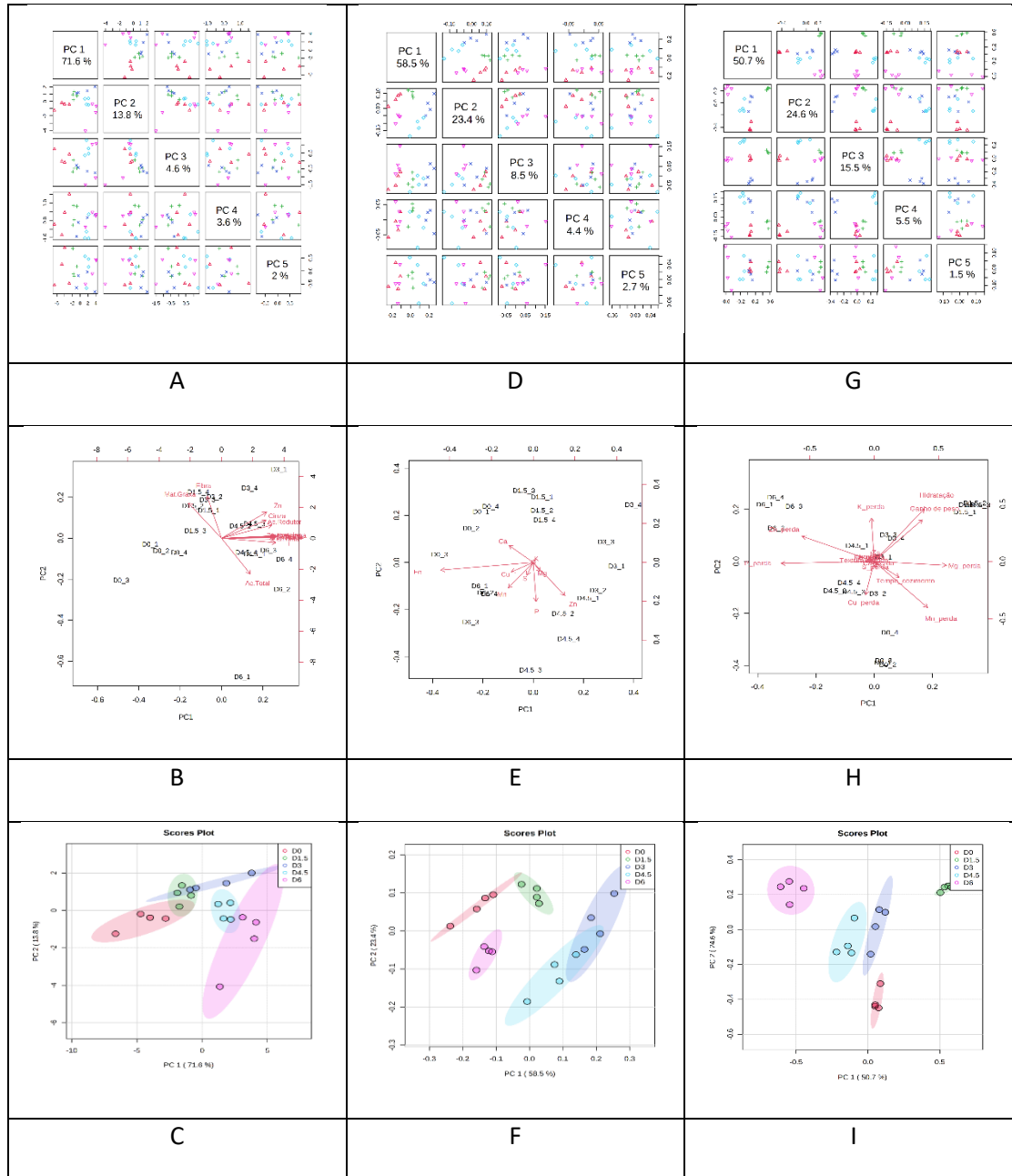
A análise de PCA para os minerais nas raízes cruas de mandioca mostrou que 81,9% da variação dos dados é explicados por PC1 e PC2 (Figura 29D), com maior interferência do Fe, seguida por Zn, P e Ca (Figura 29E). A separação do tratamento controle com os demais tratamentos está bem visível (Figura 29F), mostrando que as doses 3 e 4,5 g pl^{-1} foi limitante na separação.

Figura 28 - Mapa de calor (Heatmap) das correlações de Pearson's entre zinco, fibra, açúcar redutor, açúcar total, umidade, cinzas, proteína, matéria graxa, cor, textura e minerais das raízes cruas e parâmetros de cozimento e perda de nutrientes nas raízes cozidas. A cor das barras indica o tipo de correlação, onde 1 indica correlação perfeitamente positiva (azul escuro) e -1 significa perfeitamente negativa (vermelho escuro)



Para os parâmetros de cozimento e perda de nutrientes, a análise dos componentes principais mostrou que PC1 e PCS correspondem a 77,3% da variabilidade total (Figura 29G). Ganho de peso, hidratação, perda de Mn, P e Zn após o cozimento foram os principais responsáveis pela variabilidade (Figura 29H). A separação por doses evidenciou a diferença dos tratamentos em relação ao controle para os parâmetros estudados (Figura 29I).

Figura 29 - Análise de componentes principais para a composição nutricional, cor e textura nas raízes de mandioca cruas, parâmetros de cozimento e perdas de nutrientes. *O teor de zinco foi incluído para a verificação da interferência na separação dos componentes



2.7 CONCLUSÕES

Para o experimento de ferro, a adubação com FeSO_4 aumentou os teores de fibras, açúcar total, proteína e cálcio até a dose estimada de 14,7; 10,4; 5,3 e 6,1 g pl^{-1} , respectivamente. Houve a preservação dos minerais nas raízes tuberosas após o cozimento nas doses estimadas de 14,9; 12,2; 11,3; 9,6; 10,6 e 7,9 g pl^{-1} P, K, Mg, S, Cu, Zn e Mn respectivamente.

Para o experimento de zinco, a adubação de ZnSO_4 aumentou os teores de açúcar total e Zn até a dose estimada de 3,2 e 3,2 g pl^{-1} , respectivamente. A perda de Ca e Cu após o cozimento teve diminuição com o aumento das doses, mostrando que as doses estimadas de 5,2 e 3,9 g pl^{-1} preservou a quantidade de minerais.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. **A mandioca na Amazônia**. Belém: SUDAM, 222 p. 1969
- ANDRADE, O. J. et al. Efeito da densidade populacional na produtividade de raízes de mandioca. **Bioenergia em revista: diálogos**, n. 1, p. 08-18, jan./jun. 2017.
- ANDRADE, R.L.P., MARTINS, J.F.P. Influência da adição da fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) sobre a viscosidade do permeado de soro de queijo. **Food Science and Technology**, v. 22, p. 249-253, 2002.
- AOAC - **ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS** - International. 19th edition – Gaithersburg. Current Through Revision 2, 2012.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL**. 19th. AOAC INTERNATIONAL.
- BERTINI, I.; ROSATA, A. From genes to metalloproteins: a bioinformatics approach. **European Journal Inorganic Chemistry**, v. 18, p. 2546-55, 2007
- BELEIA, A., PRUDENCIO, F., S. H., YAMASHITA, F., SAKAMOTO, T. M., & BERTINI, I.; ROSATA, A. From genes to metalloproteins: a bioinformatics approach. **European Journal Inorganic Chemistry**, Weinheim, v. 18, n. 1, p. 2546-55, May 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.
- BOLTON, P. R.; HEATON, K. W. & BURROUGHS, L. F. The role of dietary fiber in satiety, glucose, and insulin: studies with fruit and fruit juice. **J. Clin. Nutr.**, v. 34, p. 211-217, 1981.
- BROWN, K.H.; PERSON, J.M.; ALLEN, L.H. Effects of zinc supplementation on children growth: a meta-analysis of intervention trial. **Bibliotheca Nutrition et Diet**, 54:76-83. 2001.
- BUENO L. **Effect of medium-chain triglycerides, fiber and calcium on the availability of magnesium and zinc by an in vitro method and response surface methodology**. Quim Nova, 31:306-11, 2008.
- CARVALHO, J. V.; NUTTI, M. R. Biofortificação de produtos agrícolas para nutrição humana. **Anais da 64ª Reunião Anual da SBPC** – São Luís, MA – julho/2012.
- CEREDA, M. P. **Caracterização dos resíduos da industrialização da mandioca**. In: **Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil**. São Paulo: Paulicéia, p.11-50. 1994.
- CORGUINHA, A. P. B. **Biofortificação de mandioca: perspectivas para o enriquecimento com ferro e zinco**. Lavras – MG. 2015.

DAVIES, J. R.; BROWN J. C. & LIVESEY, G. Energy values and energy balance in rats fed on supplements of guar gum or cellulose. **Br. J. Nutr.**, v. 65, p. 415-433, 1991.

EASTWOOD, M. A.; BRYDON, W. G.; BAIARD, J. D.; ELTON, R. A.; HELLIWELL, S.; SMITH, J. H. & PRITCHARD, J. L. Faecal weight and composition, serum lipids, and diet among subjects age 18 to years not seeking health care. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 40, p. 628-634, 1984.

EGGLESTON, G.; ASIEDU, R. Effects of boiling on the texture of cassava clones: a comparison of compressive strength, intercellular adhesion and physicochemical composition of the tuberous roots. **Tropical Science**, v.34, n.3, p.259-273, Mar. 1994.

ELIAS, M.C. et al. Umidade de colheita, métodos de secagem e tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de grãos de trigo (cv.'Embrapa 16'). **Ciência Rural**, v. 39, p. 25-30, 2009.

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Produzir mais com menos – Mandioca – informe de política**, 2013. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/80223/6144862/102_Mandioca.pdf/bce1f95e-0128-161a-8746-63c69c9ac9fa.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Protecting cassava, a neglected crop, from pests and diseases. 2019.

FAVARO, S. P., BELÉIA, A., FONSECA-JUNIOR, N.S., & WALDRON, K. W. **The roles of cell wall polymers and intracellular components in the thermal softening of cassava roots**. *Food Chemistry*, 108(1), 220-227. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.070>. Acessado em: 05 de mar de 2021.

FERNANDES, F. D. Produtividade e valor nutricional da parte aérea e de raízes tuberosas de oito genótipos de mandioca de indústria. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.17, n.1, p.1-12, 2016.

FIORETO, A. M. C. **Viabilidade de cultivo de *Trichosporon sp.* em manipueira**. Botucatu, 96p. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu. Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), 1987.

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.

HARADA, T.; TIRTOHUSODO, H.; PAULUS, K. Influence of the composition of potatoes on their cooking kinetics. **J. Food Sci.**, v. 50, p. 463-468, 1985.

IEA-APTA – Instituto de Economia Agrícola. **A transformação na produção e comercialização da mandioca de mesa**. 2021. Disponível em: <https://www.portalr3.com.br/2021/02/a-transformacao-na-producao-e-comercializacao-da-mandioca-de-mesa/#:~:text=As%20lavouras%20paulistas%20produziram%20247,de%2030%25%20da%20safra%20estadual>. Acessado em 13 de setembro de 2021.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes**. Washington DC: National Academic Press, 2003.

KOK, E. A. O farelo de raspas de mandioca na alimentação dos animais. **Bol. Ind. Alim.**, São Paulo, v. 5, n. 4, p. 195-205, 1942.

KROTKIEWSKI, M. & SMITH, U. Dietary fiber in obesity. In: LEEDS. A. R., AVENEL, A. **Dietary of fibre perspectives – reviews and bibliography**, London: John Libbey, 19p.61-67, 1984.

LAIRES, M. J.; MONTEIRO, C. Exercise, magnesium and immune function. **Magne Res**; 21:92-6, 2008.

LEONEL, M. **Uso de enzimas complementares no processo de produção de etanol a partir de farelo de mandioca**. Botucatu, 114p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. 1998.

LORENZI, J.O. Variação na qualidade culinária das raízes de mandioca. **Bragantia**. Campinas. v.53, n.2, p.237-245, 1994.

LORENZI, J.O.; MONTEIRO, P.A.; MIRANDA FILHO, H.S.; RAIJ, B. van. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., ed. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas. p.221-229. (Boletim Técnico, 100). 1997.

MACKENZIE, G.G. et al. Zinc deficiency in neuronal biology. **Life**, Rockville, v. 59, n.4-5, p. 299-307, May 2007.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: **Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo**. 319 p, 1997.

MAYER, J.E.; PFEIFFER, W.H.; BEYER, P. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 11, n. 2, 166–170, Apr. 2008.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **Horticultural Science**, v. 27, p. 1254-1255, 1992.

MENEGUCCI, N. C. **Mandioca para indústria: matéria seca e nutrientes em plantas de mandioca com diferentes estádios de desenvolvimento**. Dissertação

(Mestrado) – Curso de Agronomia, Energia na Agricultura, “Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2020.

MEZETTE, T. F. *et al.* Seleção de clones-elite de mandioca de mesa visando a características agronômicas, tecnológicas e químicas. **Bragantina**, v. 68, n. 03, p. 601-609, 2009.

MILLER, D.D.; WELCH, R.M.; Food system strategies for preventing micronutrient malnutrition. **Food Policy**, Guildford, v. 42, n.1, 115-123, Oct. 2013.

MONTAGNAC, J. A., DAVIS, C. R., & TANUMIHARDJO, S. A. **Nutritional value of cassava for use as a staple food and recent advances for improvement.** *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8(3), 181-194. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00077.x>. Acessado em: 5 de agos/2021.

MORAES, M. F., PASCOALINO, J. A. L., ALVES, S. J. F., NUTTI, M. R., CARVALHO, J. L. V. Biofortificação alternativa a segurança nutricional. **Informações AGRONOMICAS** Nº 140. 2012.

NELSON, N.A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 153, n. 2, p. 375-380, fev. 1944.

NGEVE, J. M. Cassava root yields and culinary qualities as affected by harvest age and test environment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 4(83), 249–257. 2003.

NRIAGU, J.; **Zinc Toxicity in Humans**, Amsterdam: Elsevier, 7 p. 2007.

OLIVEIRA, M.A.; LEONEL, M.; CABELLO, C.; CEREDA, M.P.; JANES, D.A. Metodologia para avaliação do tempo de cozimento e características tecnológicas associadas em diferentes cultivares de mandioca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras v.29, n.1, p.126-133, 2005.

OLIVEIRA, M. A., M, P. S. B. Características físico-químicas, cozimento e produtividade de mandioca cultivar IAC 576-70 em diferentes épocas de colheita. **Revista Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v.33, p. 837-843, maio/jun, 2009.

PAPADAKIS, S. E.; ABDUL-MALLEK, S.; KAMDEM, R. E.; Yam, K. L. A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods. **Food Technology**, v. 54, p. 48-51, 2000.

PEREIRA, G. A. P., GENARO, P. S., PINHEIRO, M. M., SZEJNFELD, V. L., MARTINI, L. A. Cálcio dietético – estratégias para otimizar o consumo. **Rev. Bras. Reumatol**, 2009.

PEREIRA, L.T.P.; BELÉIA, A del P. Isolamento, fracionamento e caracterização de paredes celulares de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.1, p.59-63, jan/mar.2004.

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.

RAIJ, B. van. **Fertilidade e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres. 343p. 1991.

SAFO-KANTANKA, O.; OWSU-NIPAH, J. Cassava varietal screening for cooking quality: relationship between dry matter, starch content, mealiness and certain microscopic observations of the raw and cooked tuber. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v.60, n.1, p.99-104, Jan. 1992.

SANTOS, A. F. S., DONADIA, J. T., SANTOS, L. L. Ferro: benéficos a saúde. **8º Simpósio de Ensino de Graduação**. 2010.

SANTOS, V. S. "**Mandioca**"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/saude/mandioca.htm>. Acesso em 29 de abril de 2021.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Escola Superior de Propaganda e Marketing (ESPM). **Estudo de Mercado sobre a Mandioca (Farinha e Fécula)**. 2008. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/80223/6144862/102_Mandioca.pdf/bce1f95e-0128-161a-8746-63c69c9ac9fa.

SGARBIERI, V. C. Alimentação e Nutrição: fator de saúde e desenvolvimento. São Paulo: editora Almed, 1987. 387 p.

SILVA, S.C, SBRISIA, A.F. Análise de componentes principais entre características morfogênicas e estruturais em capimmarandu sob lotação contínua. **Ciênc. Rural**. 40: 690-693. 2010. Disponível em: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/artigo%20PCA%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/artigo%20PCA%20(1).pdf). Acessado em: 14 de junh/2021.

SOMOGYI, M. Determination of blood sugar. **Journal of Biological Chemistry, Baltimore**, n. 160, p. 69-73, 1945.

TAGLIAPIETRA, B. L., RUCHEL, F., SILVA, M. N., ALVEZ, A. F., MARCKS, P., ZANON, A. J., RICHARD, N. S. P. S. **Avaliação físico-química de raízes de mandioca com diferentes tipos de manejo cultivadas no rio grande do Sul, Brasil**. Revista brasileira de iniciação científica. 2019.

VILPOUX, O.; CEREDA, M.P. Processamento de raízes e tubérculos para uso culinário minimamente processadas, pré-cozidas, congeladas e fritas (french-fries). In: CEREDA, M.P.; VILPOUX, O. (Coord.). **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberoses amiláceas latino-americanas**. São Paulo: Fundação Cargil. p.81-131. 2003. (Série culturas de tuberosas amiláceas latino-americanas, 3).

WALDRON, K. W., PARKER, M. L., & SMITH, A. C. Plant cell walls and food quality. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 4(2), 101–119. 2003.

WILBORN, Colin D. et al. Effects of zinc magnesium aspartate (ZMA) supplementation on training adaptations and markers of anabolism and catabolism. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 1, n. 2, p. 1-9, 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Micronutrient deficiencies**, 2007. Disponível em: <<http://www.who.int/nutrition/topics/ida/en/index.html>>. Acesso em: 05 de maio de 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **The World Health Report 2002: Reducing risks, promoting healthy life**. Geneva: WHO. 230 p, 2002.

CAPÍTULO 3

EFEITOS DE DOSES DE ZINCO SOBRE OS COMPONENTES PRODUTIVOS E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE BATATA-DOCE

Resumo

O zinco (Zn) é um dos micronutrientes que mais atua na fisiologia vegetal, pois ele é presente em várias rotas metabólicas compondo enzimas essenciais. Este estudo objetivou avaliar os efeitos de doses de Zn sobre a produtividade e o acúmulo de nutrientes na cultura da batata-doce. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 7 repetições. Os tratamentos foram 5 doses de 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} . O experimento foi conduzido em vasos de 25 L contendo 1 planta de batata-doce em cada vaso. Os resultados evidenciaram poucas alterações das características morfológicas e na produção da batata-doce sob influência da adubação de ZnSO_4 . Para o acúmulo de nutrientes a maioria dos nutrientes teve seu acúmulo na planta aumentado até a dose estimada de 1,3 g pl^{-1} . Nas raízes tuberosas, houve aumento no acúmulo de Ca, P, K, Mg, Fe, Zn e Mn. O Fe e Cu na parte aérea e Mn na raiz absorvente teve uma redução linear no acúmulo. O acúmulo de Zn na raiz tuberosa aumentou até 1,8 g pl^{-1} de ZnSO_4 . Para o acúmulo de Fe e Mn na raiz tuberosa aumentou até a dose de 1,3 g pl^{-1} em ambos os nutrientes. Portanto, a adubação de ZnSO_4 influenciou para o aumento de alguns nutrientes nas partes da planta, aumento de comprimento das hastes, mostrando ser uma adubação com grande potencial para aumento de produção das raízes.

Palavras-chave: adubação; micronutriente; zinco; *Ipomoea batatas*.

Abstracts

Zinc (Zn) is one of the most active micronutrients in plant physiology, as it is present in several metabolic pathways, composing essential enzymes. This study aimed to evaluate the effects of Zn doses on yield and nutrient accumulation in sweet potato. The experiment was carried out under greenhouse conditions. The experimental design used was randomized blocks with 7 replications. The treatments were 5 doses of 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} . The

experiment was conducted in 25 L pots containing 1 sweet potato plant in each pot. The results showed few changes in the morphological characteristics and production of sweet potato under the influence of ZnSO_4 fertilization. For nutrient accumulation, most nutrients had their accumulation in the plant increased up to the estimated dose of 1.3 g pl^{-1} . In tuberous roots, there was an increase in the accumulation of Ca, P, K, Mg, Fe, Zn and Mn. Fe and Cu in the shoot and Mn in the absorbent root had a linear reduction in accumulation. The accumulation of Zn in the tuberous root increased up to 1.8 g pl^{-1} of ZnSO_4 . For the accumulation of Fe and Mn in the tuberous root, it increased up to the dose of 1.3 g pl^{-1} in both nutrients. Therefore, the ZnSO_4 fertilization influenced the increase of some nutrients in the plant parts, increasing the length of the stems, showing to be a fertilization with great potential to increase the production of the roots.

Keywords: fertilization; micronutrient; zinc; *Ipomoea batatas*.

3.1 INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) é uma cultura originária da América Latina e a raiz tuberosa ocupa o 7º lugar entre os alimentos vegetais mais produzidos no mundo (FAO, 2020).

O cultivo alimentar da batata-doce apresenta certa relevância, após o arroz, trigo, milho e a batata inglesa, sendo que suas raízes possuem valores nutricionais exigidos pelo corpo humano (MU; SINGH, 2019). A produção de 2019 foi de aproximadamente 805.412 toneladas (IBGE, 2020).

A produtividade média nacional de batata-doce em 2019 foi de 14 t ha^{-1} , mas em estados como Mato Grosso e Paraná as médias foram aproximadamente de $32,8$ e $23,3 \text{ t ha}^{-1}$, enquanto no Maranhão e Piauí a produtividade média não ultrapassou $2,7$ e $5,7 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente (SIDRA, 2020). No estado de São Paulo, entre os anos de 2015 e 2019, houve um aumento aproximado de 35,7% na área plantada, chegando a 8,7 mil hectares e uma produtividade média de $17,7 \text{ t ha}^{-1}$ (SIDRA, 2020).

É uma cultura cultivada em todos os continentes, a Ásia produz aproximadamente 70,56% da produção mundial, sendo a China é o maior produtor mundial, com cerca de 71,7 milhões de toneladas (WANG et al., 2016, FAO, 2019).

A determinação das quantidades de nutrientes que é acumulado na planta durante seu ciclo, é de grande importância para poder auxiliar o produtor na hora da

adubação, podendo assim contribuir com o aumento da produtividade (GRANGEIRO et al. 2011).

A batata-doce apresenta um sistema radicular absorvente bastante ramificado e bem desenvolvido, podendo chegar a 90cm de profundidade (FILGUEIRA, 2003). Mostrando que essa cultura seja eficiente na absorção de nutrientes do solo (RÓS et al, 2015).

A cultura tolera variações na acidez do solo, podendo crescer e produzir bem em condições de pH que variam de 4,5 a 7,5 sendo que o ideal para o desenvolvimento das plantas está entre 5,6 e 6,5 (MIRANDA et al., 1995; FILGUEIRA, 2003).

Quando se fala na dinâmica do Zn na planta ainda não se tem tantos esclarecimentos, pois na literatura, há divergências quanto a sua mobilidade na planta, podendo ele absorvido na forma bivalente ou de quelatos. Sendo que sua atividade iônica no floema é reduzida por causa da alcalinidade e da alta concentração de íons fosfatos no meio (TAIZ; ZEIGER, 2004).

As fontes mais solúveis de Zn são destinadas às pesquisas de biofortificação agronômica. Mas tem as outras fontes que também não destinadas para agricultura, como o quelato, o óxido, o carbonato, o cloreto (TEIXEIRA et al., 2008), oxissulfato (OLIVEIRA et al., 2003), o sulfato de zinco (TEIXEIRA et al., 2008; MUNER et al., 2011) (que foi utilizado neste trabalho) e algumas outras fontes menos utilizadas.

Diante da grande importância da batata-doce como fonte de energia e da fertilização como forma de garantir melhores rendimentos agrícolas, este estudo teve por objetivo avaliar os efeitos de doses de Zn sobre a produtividade e o acúmulo de nutrientes na cultura da batata-doce.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido em vasos de 25 L em uma estufa com cobertura de plástico transparente de 150 µm, com dimensões de 4,8 m de altura, 7 m de largura e 25 m de comprimento, sendo fechada nas laterais com tela, localizada no Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), município de Botucatu- SP. As coordenadas geográficas são 22°50' S; 48° 25' W e 772 m de altitude.

3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso com 7 repetições, com cinco doses de ZnSO_4 sendo elas: 0, 0,25; 0,5; 1,0 e 2,0 g pl^{-1} equivalentes a 0, 5, 10, 20 e 40 kg ha^{-1} .

Cada parcela foi representada por um vaso de 25 L contendo 1 rama de 30-40 cm retiradas de plantio jovem a partir do ápice da batata-doce da cultivar Canadense, com espaçamento de 1,0m x 0,5m.

3.2.3 Instalação e condução dos experimentos

Previamente a instalação do experimento foi coletado solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, e determinou-se as características químicas do solo (RAIJ et al., 1991), cujos resultados estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0-20 cm antes da adubação de solo

Antes da adubação	
Atributos*	
pH (CaCl_2)	5,1
M.O (g dm^{-3})	10,0
P resina (mg dm^{-3})	6,0
H + AL (mmolc dm^{-3})	14,0
K (mmolc dm^{-3})	1,1
Ca (mmolc dm^{-3})	11,0
Mg (mmolc dm^{-3})	5,0
SB (mmolc dm^{-3})	17,0
CTC (mmolc dm^{-3})	31,0
V%	55,0
Fe (mg dm^{-3})	5,0
Cu (mg dm^{-3})	0,4
Mn (mg dm^{-3})	2,2
Zn (mg dm^{-3})	0,4
B (mg dm^{-3})	0,1

*MO = matéria orgânica; CTC = capacidade de troca catiônica e V% = saturação por bases.

O solo coletado foi da Fazenda Experimental da UNESP, localizado no município de São Manuel-SP, o solo do local é um Latossolo Vermelho distrófico, de textura arenosa. Não foi necessário a realização da calagem devido aos valores de V estarem próximos a faixa considerada como adequada para a cultura ($V = 60\%$). Para o plantio da batata-doce inicialmente o solo foi colocado nos vasos e abriram-se covas no centro dos vasos. A adubação de plantio foi realizada aplicando-se as doses de 2,22 g vaso^{-1} de N (equivalente a 40 mg dm^{-3} de N), 48 g vaso^{-1} de P_2O_5 (equivalente a 150 mg dm^{-3} de P_2O_5) e 2,5 g vaso^{-1} de K_2O (equivalente a 50 mg dm^{-3} de K_2O). Já

em cobertura foram aplicados 2,22 g vaso⁻¹ de N (equivalente a 40 mg dm⁻³ de N) e 2,5 g vaso⁻¹ de K₂O (equivalente a 50 mg dm⁻³ de K₂O) e as doses dos tratamentos de Zn. A adubação de cobertura foi realizada aos 40 dias após o plantio (DAP).

Como fontes de N, P e K foram utilizados os fertilizantes ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P₂O₅), cloreto de potássio (60% de K₂O), respectivamente.

A fonte de Zn utilizada foi o sulfato de zinco (ZnSO₄) e o seu fornecimento foi de acordo com os tratamentos. A adubação de plantio com todos os fertilizantes foi incorporada ao solo com auxílio de uma betoneira. Após a colocação dos solos nos vasos, foi aberta uma cova e depositada uma rama de batata-doce horizontalmente e a cova foi fechada manualmente (Figura 31).

Foram utilizadas ramas entre 30-40 cm retiradas de plantio jovem a partir do ápice. O plantio foi realizado em 13/03/2020. A irrigação da cultura foi realizada através de um sistema de gotejamento atendendo as necessidades de demanda hídrica para a cultura.

O controle fitossanitário foi realizado de acordo com a necessidade e as recomendações técnicas. A colheita das plantas foi realizada em 13/08/2020.

Durante a condução do ensaio experimental foram coletados dados diários de temperaturas máximas, mínimas e médias (Figura 30).

Figura 30 - Temperaturas máximas, médias e mínimas ao longo do experimento, no período de março de 2020 a agosto de 2020. Botucatu, SP

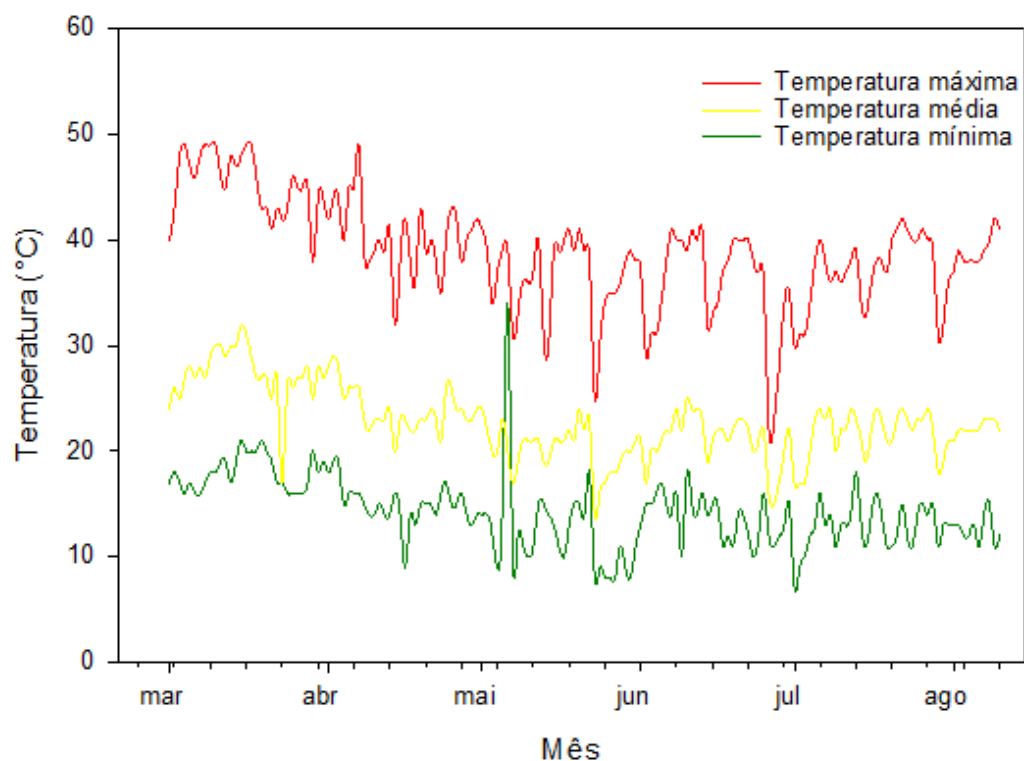


Figura 31 - Condução do experimento de batata-doce cultivar Canadense



Fonte: Jessica Silva (2020)

3.2.4 Avaliações na colheita

A colheita das plantas foi realizada aos 135 dias após o plantio (agosto de 2020) no período da manhã e as partes das plantas foram separadas.

3.2.4.1 Número de folhas por planta e comprimento da haste principal

O número de folhas por planta foi determinado mediante contagem. O comprimento da haste principal foi medido 5 cm acima da superfície do solo até o ponto mais alto da planta.

3.2.4.2 Número, comprimento, diâmetro e produtividade de raízes tuberosas

O número de raízes por planta foi contado, sendo determinado o comprimento e o diâmetro das raízes tuberosas. O comprimento foi medido de uma extremidade a outra das raízes e o diâmetro foi determinado na região do terço médio com auxílio de um paquímetro. O peso total das raízes por planta (produtividade) foi aferido em balança digital.

3.2.4.3 Acúmulos de matéria seca das partes aérea, raízes absorventes, raízes tuberosas e planta inteira

Foram realizadas pesagens das partes das plantas para se obter os valores de matéria fresca. Em seguida, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingir peso constante. Em sequência a secagem, o material foi pesado para obtenção do teor de matéria seca (MS). Os teores de MS acumuladas em cada parte da planta foram calculados considerando o peso fresco e o teor de MS das partes das plantas. As amostras secas foram moídas em moinho tipo Wiley (modelo TECNAL, TE-650/01), com peneira de 1 mm e em seguida armazenadas em embalagens plásticas para as análises laboratoriais.

3.2.4.4 Acúmulos de macro e micronutrientes na parte aérea, raízes absorventes e raízes tuberosas

As amostras secas e moídas (item 4.2.4.3) foram submetidas a análise dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn (MALAVOLTA et al.,1997). Após esses resultados, foram estimadas as quantidades de nutrientes acumuladas em cada parte da planta, multiplicando-se o teor de cada nutriente pela MS do referido órgão.

3.2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. O efeito das doses de ZnSO_4 foram avaliados por análise de regressão ($p \leq 0,05$). A análise estatística foi realizada com auxílio do *software* Sisvar. Os gráficos foram feitos no Excel.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Efeitos das doses de adubação com ZnSO_4 sobre as características morfológicas e da produtividade das plantas de batata-doce

A adubação com ZnSO_4 teve pouca interferência na arquitetura da planta. Na parte aérea foi observado que a altura das plantas foi maior até a dose estimada de $0,9 \text{ g pl}^{-1}$. Não foi observado interferência das doses de ZnSO_4 no número de folhas por planta, número de raiz e comprimento de raiz. Para o diâmetro das raízes tuberosas, o aumento das doses de fertilizantes aplicadas reduziu o diâmetro das raízes (Tabela 19 e Figura 32), sendo que o tratamento controle apresentou diâmetro maior do que nas raízes adubadas.

Resultados mostram que a adubação com ZnSO_4 teve pouca interferência na arquitetura da planta, sendo que quando não se teve a adubação de ZnSO_4 a raiz apresentou diâmetro maior do que nas raízes adubadas.

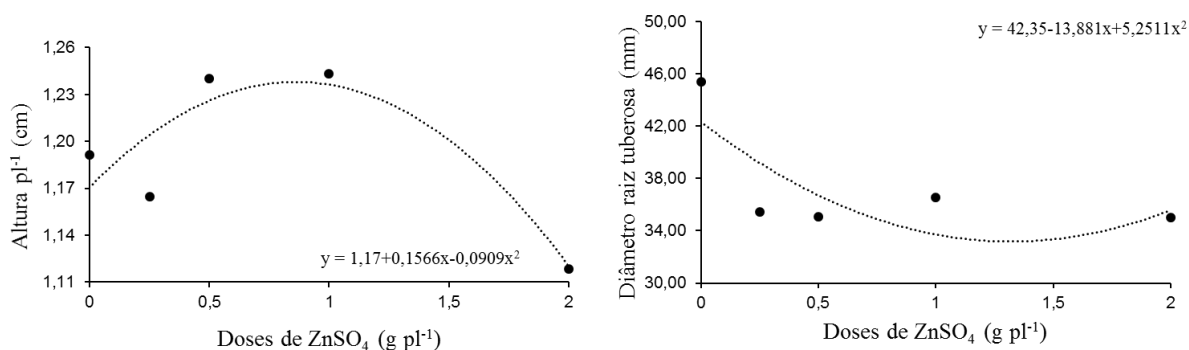
Os resultados do aumento da planta estão relacionados aos efeitos que o Zn na fisiologia, pois o Zn participa da síntese do aminoácido triptofano que é precursor da auxina, o mais importante hormônio de crescimento da parte aérea (MALAVOLTA et al., 1997).

Tabela 19 - Altura da planta, número de folhas, número, comprimento e diâmetro médio de raízes tuberosas nas plantas de batata-doce com diferentes doses de ZnSO_4

	Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0	0,25	0,5	1,0	2,0		
Altura de planta (cm)	1,19	1,16	1,24	1,24	1,12	0,78	0,0126
Folhas pl^{-1} (no.)	153	157	186	170	163	ns	ns
Raiz tuberosa pl^{-1} (no.)	8,86	8,29	11,29	9,71	10,00	ns	ns
Comprimento raiz pl^{-1} (no.)	17,84	19,88	17,56	15,75	16,50	ns	ns
Diâmetro raiz pl^{-1} (mm)	45,41	35,47	35,10	36,57	35,04	0,57	0,0000

ns é não significativo.

Figura 32 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre as características morfológicas das plantas de batata-doce



A adubação com ZnSO_4 não interferiu na produtividade das raízes tuberosas das plantas e na MS das raízes tuberosas e da raiz absorvente (Tabela 20). A MS de parte aérea e da planta inteira foi influenciada pelas doses de ZnSO_4 (Tabela 20 e Figura 33).

Segundo Rós et al. (2017), a MS é a característica que determina um alto ou baixo rendimento industrial das raízes, por estar diretamente relacionada aos diversos produtos derivados da batata-doce. Segundo Conceição, Lopes e Fortes (2004), o crescimento da MS total da planta possui relação direta com as raízes tuberosas, pois elas representam uma alta proporção do total de MS.

Quando se tem o aparecimento e conseqüentemente o crescimento das raízes de reservas, ocorre uma capacidade de mobilização de assimilados e nutrientes, as mesmas se tornam drenos metabólicos preferenciais, provocando o menor acúmulo de MS da parte aérea (CONCEIÇÃO et al. 2004).

Na Tabela 20 podemos observar que a maior quantidade de MS está nas raízes tuberosas, porque a planta direciona a produção de foto assimilados, apenas nos primeiros meses para a formação da parte aérea, e depois estes foto assimilados são direcionados para os órgãos de reserva (LEIHNER 1983, HILLOCKS et al. 2002, EL-SHARKAWY 2004).

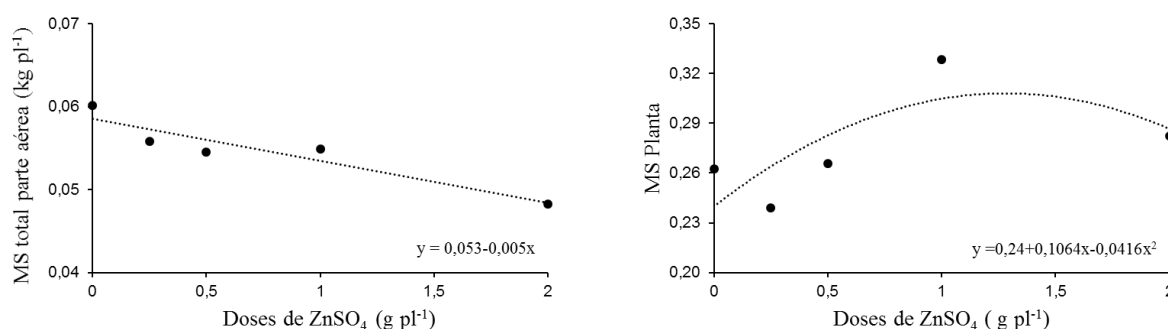
A produção de MS dos órgãos da batata-doce apresentou a ordem de: raiz tuberosa, parte aérea e raiz absorvente, resultado que corroboram com Echer et al. (2009), que obtiveram a mesma ordem.

Tabela 20 - Produtividade e acúmulo de massa seca (MS) na parte aérea, raiz absorvente, raiz tuberosa e na planta inteira de batata-doce em diferentes doses de ZnSO_4

	Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0	0,25	0,5	1,0	2,0		
Produtividade (kg pl^{-1})	0,861	0,859	0,859	0,865	0,842	ns	Ns
MS parte aérea (kg pl^{-1})	0,055	0,051	0,050	0,050	0,043	0,88	0,0003
MS raiz absorvente (kg pl^{-1})	0,018	0,018	0,017	0,016	0,016	ns	Ns
MS de raiz tuberosa (kg pl^{-1})	0,199	0,191	0,206	0,259	0,237	ns	Ns
MS da planta inteira (kg pl^{-1})	0,263	0,239	0,266	0,328	0,282	0,55	0,0000

ns é não significativo.

Figura 33 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre as características de produção das plantas de batata-doce



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

O acúmulo de macronutrientes nas partes da planta de batata-doce adubadas com diferentes níveis do fertilizante ZnSO_4 estão apresentados na Tabela 21 e Figuras 34 e 35.

Não houve efeito das doses de ZnSO_4 sobre os acúmulos de K e Mg na parte aérea, sobre o acúmulo de N, P, Ca, Mg e S na raiz absorvente, e N na raiz tuberosa.

Para o N teve um comportamento de redução linear na planta. Sendo que a maior acúmulo de N foi na testemunha. O alto valor de acúmulo de N na parte aérea é importante para a nutrição animal, sendo que este nutriente faz parte da constituição da molécula de proteína.

O P na parte aérea e na raiz tuberosa aumentou até a dose estimada de 1,3 e 0,6 g pl^{-1} respectivamente.

Para o acúmulo de K na raiz tuberosa o aumento foi até a dose estimada de 1,1 g pl^{-1} e para o acúmulo de Mg foi até a dose de 1,3 g pl^{-1} .

Foram obtidos resultados importantes para os acúmulos de macronutrientes nas raízes, como para o acúmulo de Ca, pois para a planta o Ca melhora o crescimento das raízes, aumenta a atividade microbiana, entre outras funções (GIRACCA e NUNES, 2010).

O acúmulo dos nutrientes, independentemente, da parte da planta e do nutriente, quando houve aumento do acúmulo, o mesmo não ultrapassou a dose estimada de $1,3 \text{ g pl}^{-1}$ de ZnSO_4 , exceção do Ca na raiz tuberosa que apresentou aumento linear no acúmulo e o N na parte aérea, K na raiz absorvente e S na raiz tuberosa que apresentaram redução linear no acúmulo.

Podemos observar que doses intermediárias de ZnSO_4 é o suficiente para a cultura, pois nas doses mais altas não houve resultados positivos e seria um gasto a mais no uso do fertilizante.

O acúmulo de macronutriente na raiz tuberosa na dose máxima seguiu a seguinte ordem crescente no acúmulo $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{S}$.

O baixo acúmulo de Mg na raiz da batata-doce pode estar associado com a alta quantidade de K disponível. Segundo Faquin (2005), há inibição competitiva entre o K, Mg e Ca, sendo que a manutenção de teores equilibrados destes cátions no solo é fundamental para prevenir futuramente uma deficiência.

Tabela 21 - Acúmulo de macronutrientes na parte aérea, raiz absorvente e raiz tuberosa de batata-doce com diferentes doses de ZnSO_4

	Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0	0,25	0,5	1,0	2,0		
N na parte aérea (g pl^{-1})	1,13	1,03	1,04	1,05	0,96	0,71	0,0156
N na raiz absorvente (g pl^{-1})	0,141	0,140	0,142	0,147	0,151	ns	Ns
N na raiz tuberosa (g pl^{-1})	1,18	1,00	1,12	1,38	1,02	ns	Ns
P na parte aérea (g pl^{-1})	0,063	0,082	0,091	0,086	0,86	0,72	0,0003
P na raiz absorvente (g pl^{-1})	0,019	0,019	0,017	0,019	0,017	ns	Ns
P na raiz tuberosa (g pl^{-1})	0,261	0,245	0,256	0,265	0,206	0,84	0,0169
K na parte aérea (g pl^{-1})	0,457	0,459	0,469	0,471	0,433	ns	Ns
K na raiz absorvente (g pl^{-1})	0,119	0,129	0,123	0,098	0,101	0,61	0,0002
K na raiz tuberosa (g pl^{-1})	1,77	1,69	2,06	2,55	1,93	0,76	0,0000
Ca na parte aérea (g pl^{-1})	0,864	0,833	0,944	0,899	0,737	0,82	0,0007
Ca na raiz absorvente (g pl^{-1})	0,107	0,152	0,154	0,145	0,140	ns	Ns
Ca na raiz tuberosa (g pl^{-1})	0,233	0,247	0,276	0,293	0,337	0,97	0,0001
Mg na parte aérea (g pl^{-1})	0,191	0,183	0,205	0,207	0,186	ns	Ns
Mg na raiz absorvente (g pl^{-1})	0,035	0,047	0,051	0,043	0,038	ns	Ns
Mg na raiz tuberosa (g pl^{-1})	0,090	0,092	0,100	0,137	0,113	0,77	0,0075
S na parte aérea (g pl^{-1})	0,052	0,064	0,073	0,073	0,059	0,92	0,0001
S na raiz absorvente (g pl^{-1})	0,109	0,333	0,263	0,170	0,102	ns	Ns
S na raiz tuberosa (g pl^{-1})	0,066	0,075	0,062	0,061	0,052	0,70	0,0047

ns é não significativo.

Figura 34 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o acúmulo de macronutrientes nas partes das plantas de batata-doce

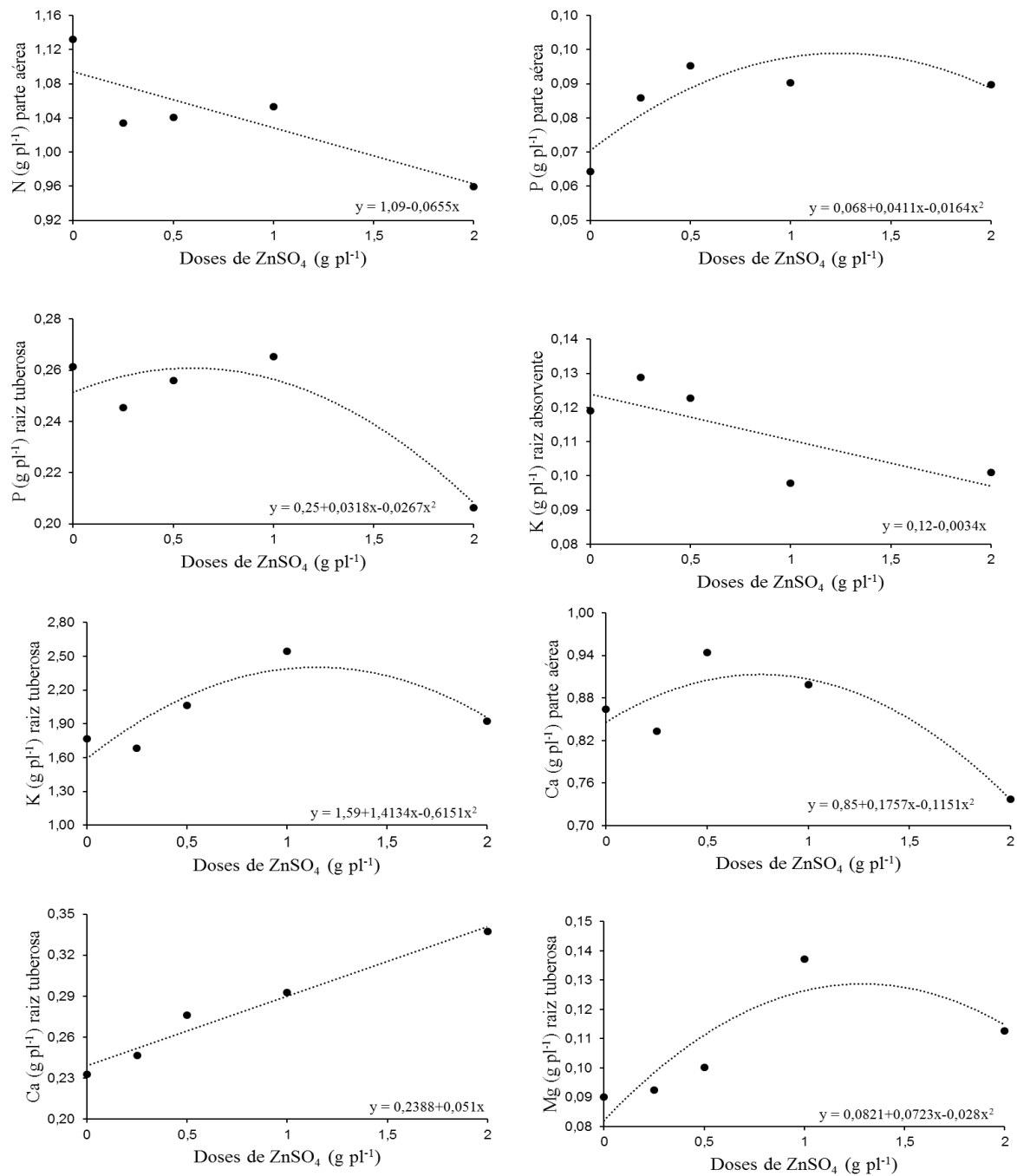
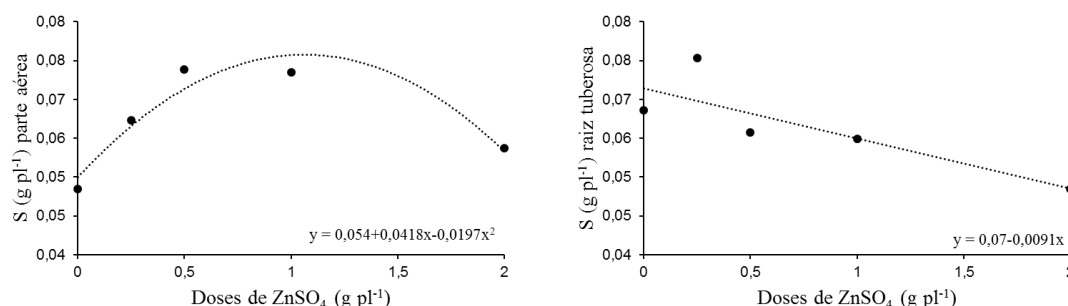


Figura 35 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o acúmulo de macronutrientes nas partes das plantas de batata-doce



O acúmulo de micronutrientes nas partes da planta de batata-doce adubadas com diferentes níveis do fertilizante ZnSO_4 estão apresentados na Tabela 22 e Figuras 36 e 37.

A aplicação de ZnSO_4 não apresentou resultados significativos sobre o acúmulo de Zn na parte aérea da batata-doce, bem como para o acúmulo Cu na raiz tuberosa. Enquanto, para os demais nutrientes todos foram influenciados significativamente pelas doses de Zn.

O acúmulo de Fe e Cu na parte aérea e Mn na raiz absorvente apresentaram uma redução linear, já para o Fe e o Zn na raiz absorvente houve aumento linear no acúmulo.

O acúmulo de Zn na raiz tuberosa aumentou até a dose estimada de $1,8 \text{ g pl}^{-1}$, ou seja, nessa dose a raiz tuberosa apresentou um grande incremento no acúmulo de Zn comparado com a testemunha, o que mostra a biofortificação na raiz.

O ferro foi o micronutriente mais exigido na parte aérea. Segundo Almeida et al. (2014), o Fe também é o micronutriente mais exigido pela melancia, atribuindo como fator em diversas funções desempenhadas pelo elemento no processo fotossintético e na pigmentação de folhas e caules.

O acúmulo de Fe na raiz tuberosa aumentou também em relação a testemunha, também é um nutriente importante para a biofortificação das raízes, resultado que corroboram com Ferreira (2017) e Araújo et al. (2016), mostrando que o Fe se destaca como o micronutriente mais exigido, que a batata-doce é fornecedora de sais minerais, dentre eles, o Fe para a alimentação humana.

Alta concentração de Fe nas raízes tem como consequência, uma quantidade maior deste nutriente para a dieta humana, é desejável, pois auxilia no combate a anemia, que é uma doença causada pela falta de Fe (PAIVA, 2020).

Esta quantidade de Fe na raiz absorvente pode ser devida a alguma quantidade de solo que após a lavagem das raízes ainda restou. Resultado que foi igual ao acúmulo de macronutrientes onde a maioria apresentou acúmulo até a dose estimada de 1,3 g pl⁻¹.

As curvas de acúmulos de nutrientes são de grande importância para determinar a necessidade da planta ao longo do ciclo de cultivo, enquanto a quantidade a ser fornecida dependerá da eficiência de aproveitamento dos nutrientes, que pode ser por diferentes condições de solo, manejo e clima entre outros fatores (GRANGEIRO et al. 2011).

Tabela 22 - Acúmulo de micronutrientes na parte aérea, raiz absorvente e raiz tuberosa de batata-doce com diferentes doses de ZnSO₄

	Doses de ZnSO ₄ (g pl ⁻¹)					R ²	P-value
	0	0,25	0,5	1,0	2,0		
Fe na parte aérea (mg pl ⁻¹)	19,37	17,95	20,17	18,31	16,65	0,54	0,0016
Fe na raiz absorvente (mg pl ⁻¹)	39,15	42,57	34,93	54,05	61,66	0,80	0,0000
Fe na raiz tuberosa (mg pl ⁻¹)	8,53	8,57	9,71	14,19	11,00	0,75	0,0000
Cu na parte aérea (mg pl ⁻¹)	0,243	0,217	0,202	0,190	0,150	0,95	0,0019
Cu na raiz absorvente (mg pl ⁻¹)	0,200	0,243	0,257	0,278	0,224	0,98	0,0019
Cu na raiz tuberosa (mg pl ⁻¹)	0,355	0,289	0,399	0,407	0,363	ns	ns
Zn na parte aérea (mg pl ⁻¹)	2,27	2,01	2,13	2,47	2,22	ns	ns
Zn na raiz absorvente (mg pl ⁻¹)	0,460	0,993	0,983	1,110	1,686	0,88	0,0000
Zn na raiz tuberosa (mg pl ⁻¹)	0,337	0,305	0,615	2,170	1,071	0,84	0,0000
Mn na parte aérea (mg pl ⁻¹)	14,88	13,48	11,86	12,02	9,94	0,91	0,0000
Mn na raiz absorvente (mg pl ⁻¹)	1,290	1,264	1,247	1,244	0,996	0,88	0,0054
Mn na raiz tuberosa (mg pl ⁻¹)	3,18	3,35	3,51	3,85	4,52	0,94	0,0000

ns é não significativo.

Figura 36 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o acúmulo de micronutrientes nas partes das plantas de batata-doce

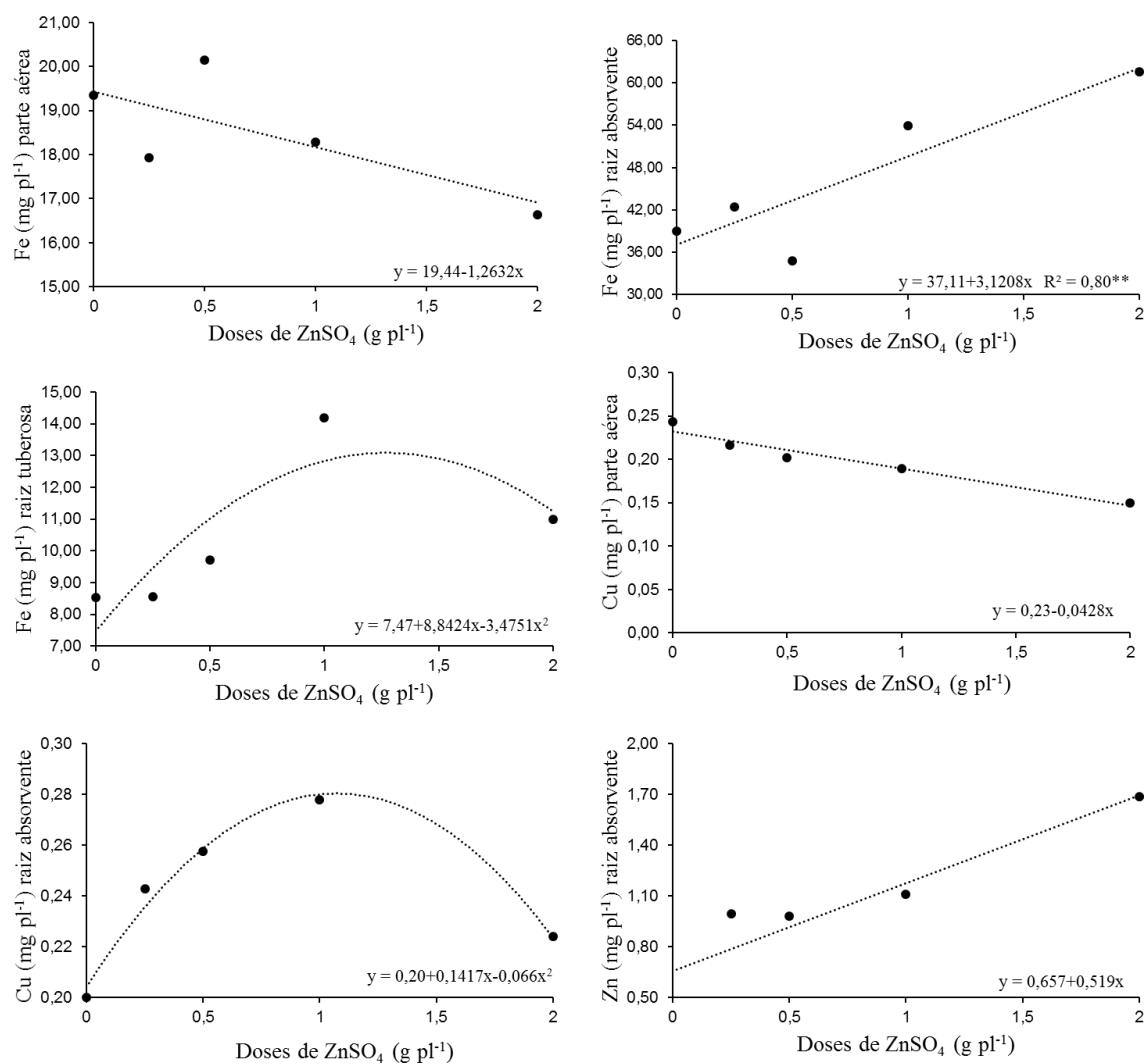
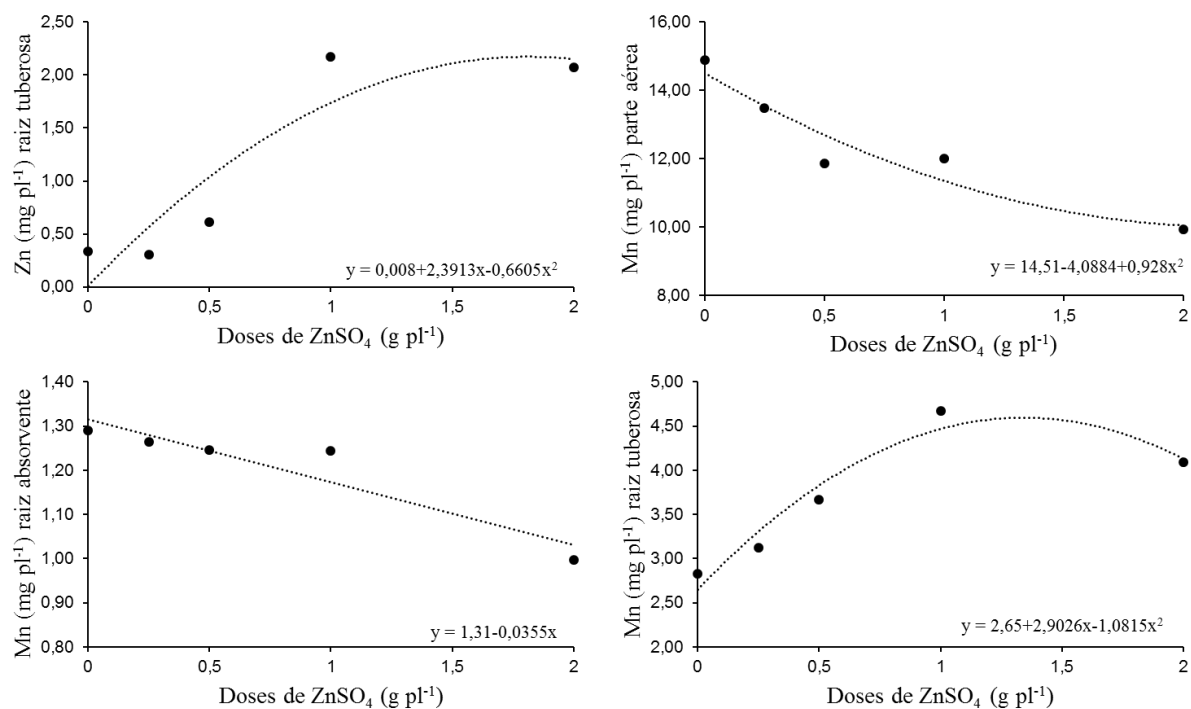


Figura 37 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o acúmulo de micronutrientes nas partes das plantas de batata-doce



3.4 CONCLUSÕES

A adubação de ZnSO_4 aumentou o comprimento das ramas e o diâmetro das raízes, houve redução linear da MS total da parte aérea. Houve também aumento nos acúmulos de P, K, Mg, Ca, Fe, Zn e Mn nas raízes tuberosas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. I. B.; NÓBREGA, G. N.; CORRÊA, M. C. de M.; PINHEIRO, E. A. R.; ARAÚJO, N. A. de. Crescimento e Marcha de Absorção de Micronutrientes para a Cultivar de Melancia Crimson Sweet. **Revista Agroambiente (On-line)**, Boa Vista, v. 8, n. 1, p. 74- 80, 2014.
- ARAÚJO, C. S. P. de; ANDRADE, F. H. A. de.; GALDINO, P. O.; PINTO, M. do. S. de C. Desidratação de batata-doce para fabricação de farinha. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.11, n. 4, p. 33 - 41, 2016.
- CONCEIÇÃO, M. K. da.; LOPES, N. F.; FORTES, G. R. de L. Partição de Matéria Seca entre Órgãos de Batata-Doce (*Ipomoea Batatas* (L.) Lam), Cultivares Abóbora e Da Costa. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 10, n. 3, p. 313 - 316, 2004.
- ECHER, F.R., DOMINATO, J.C., CRESTE, J.E. Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata-doce. **Horticultura Brasileira** 27: 176-182. 2009.
- EL-SHARKAWY, M. A. Cassava biology and physiology. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 56, n. 1, p. 481- 501, 2004.
- FAO (2020) **Faostat**. Disponível em: (Acesso em 14 out 2020).
- 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.
- FAQUIN, V. Nutrição Mineral de Plantas - Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: **Solos e Meio Ambiente**. Lavras: UFLA / FAEPE. 186 p. 2005.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agro tecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 412p, 2003.
- GIRACCA, E. M. N., NUNES, J. L. S. **Cálcio**. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/calcio_361447.html. Acessado em 14 de junh/2021. 2010.
- GRANGEIRO, L. C.; FREITAS, F. C. L. de.; NEGREIROS, M. Z. de.; MARROCOS, S. de T. P.; LUCENA, R. R. M. de.; OLIVEIRA, R. A. de. Crescimento e Acúmulo de Nutrientes em Coentro e Rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p.11 - 16, 2011.
- HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. **Cassava: biology, production, and utilization**. London: CABI Publishing, 2002.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA**, 2020. Disponível em: (Acesso em 14 out 2020).

LEIHNER, D. Management and evaluation of intercropping systems with cassava. **Calí: Centro Internacional de Agricultura Tropical**, 1983.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: **POTAFÓS**. 319p, 1997.

MIRANDA, J.E.C.; FRANÇA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; PERREIRA, W.; LOPES, C.A.; SILVA, J.B.C. **A cultura da batata-doce**. Brasília: EMBRAPA-CNPq. 94p. (Coleção Plantar). 1995.

MU, T. H.; SINGH, J. **Sweet Potato Chemistry, Processing, and Nutrition**. London: Elsevier Inc, 286 p. 2019.

MUNER, L.H, et al. Disponibilidade de zinco para o milho em resposta a localização de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.1, p.29-36, Jan. 2011.

OLIVEIRA, S.C. et al. Resposta de duas cultivares de arroz a doses de zinco aplicado como oxissulfato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 387-396, mar. 2003.

PAIVA, A. A.; RONDO, P. H. C.; GUERRA-SHINOHARA, E. M. Parâmetros para avaliação do estado nutricional de ferro. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 421 - 426, 2000.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 343p, 1991.

RÓS, A. B.; FERNANDES, A. M.; MONTES, S. M. N. M.; FISCHER, I. H.; LEONEL, M.; FRANCO, C. M. L.. Batata-doce (*Ipomoea batatas*). In: Magali Leonel; Adalton Mazetti Fernandes; Célia Maria Landi Franco. (Org.). **Culturas amiláceas: batata doce, inhame, mandioca e mandioquinha-salsa**. 1ed. Botucatu: Universidade. 2017.

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. Tabela 5447 - **Número de estabelecimentos agropecuários e Quantidade produzida, por produtos da horticultura - resultados preliminares 2020**. IBGE, Brasília, DF. 2020. Disponível em:< <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/5447> >. Acesso em Set/2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TEIXEIRA, I.R. et al. Fontes e doses de zinco no feijoeiro cultivado em diferentes épocas de semeadura. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.2, p. 255-259, maio 2008.

WANG, S.; NIE, S.; ZHU, F. Chemical constituents and health effects of sweet potato. **Food Research International**, V.89, p.90-116, 2016.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DE DOSES DE ZnSO_4 PARA A QUALIDADE TECNOLÓGICA DE RAÍZES TUBEROSAS DE BATATA-DOCE

Resumo

A cultura da batata-doce é uma grande fonte de energia, por possuir um alto valor energético, mineral e vitamínico. O zinco, por fazer parte do sistema enzimático, é essencial para a atividade, regulação e estabilização de estrutura proteica e também na síntese e conservação de auxina, hormônio vegetal envolvido no crescimento podendo auxiliar em uma maior produtividade. Este estudo objetivou avaliar os efeitos da adubação de Zn na cultura da batata-doce sobre a composição nutricional e na qualidade tecnológica de cozimento das raízes. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 7 repetições. Os tratamentos foram 5 doses de 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} . O experimento foi conduzido vasos de 25 L contendo 1 planta de batata-doce em cada vaso. Os resultados evidenciaram que a quantidade de cinza na raiz tuberosa variou de 0,59 a 1,30 g 100 g^{-1} . A umidade nas raízes tuberosas reduziu com o aumento das doses de ZnSO_4 . Para o teor de fibra e a textura antes do cozimento houve aumento linear. O teor dos minerais K, Mg, Fe e Mn nas raízes cruas aumentou até a dose estimada de 1,1; 1,3; 1,6 e 1,4 g pl^{-1} respectivamente, para o Ca e o Zn houve aumento linear dos teores e o S teve redução no teor até a dose estimada de 1,5 g pl^{-1} . O tempo de cozimento teve redução linear. A textura das raízes cozidas foi maior até a dose estimada de 0,9 g pl^{-1} . A perda de K e S teve diminuição linear, para os nutrientes Fe, Cu, Zn e Mn a perda dos nutrientes foram menores a partir da dose estimada de 1,4; 1,1; 1,6; e 1,1 g pl^{-1} de ZnSO_4 . Portanto, a adubação com ZnSO_4 interferiu na composição da batata como o teor de fibras, textura e outro resultado importante foi a preservação de alguns nutrientes após o cozimento.

Palavras-chaves: nutrição mineral; sulfato de zinco; cozimento.

Abstract

The sweet potato crop is a great source of energy, as it has a high energy, mineral and vitamin value. Zinc, being part of the enzymatic system, is essential for the activity, regulation and stabilization of protein structure and also in the synthesis and conservation of auxin, a plant hormone involved in growth that can help in greater productivity. This study aimed to evaluate the effects of Zn fertilization on the sweet potato crop on the nutritional composition and on the technological quality of root cooking. The experiment was carried out under greenhouse conditions. The experimental design used was randomized blocks with 7 replications. The treatments were 5 doses of 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} . The experiment was conducted in 25 L pots containing 1 sweet potato plant in each pot. The results showed that the amount of ash in the tuberous root ranged from 0.59 to 1.30 g 100 g $^{-1}$. Moisture in tuberous roots reduced with increasing doses of ZnSO_4 . For fiber content and texture before cooking there was a linear increase. The content of minerals K, Mg, Fe and Mn in the raw roots increased up to the estimated dose of 1.1; 1.3; 1.6 and 1.4 g pl^{-1} respectively, for Ca and Zn there was a linear increase in the contents and S had a reduction in the content until the estimated dose of 1.5 g pl^{-1} . The cooking time had a linear reduction. The texture of the cooked roots was higher up to the estimated dose of 0.9 g pl^{-1} . The loss of K and S had a linear decrease, 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} of ZnSO_4 . Therefore, fertilization with ZnSO_4 interfered in potato composition such as fiber content, texture and another important result was the preservation of some nutrients after cooking.

Keywords: mineral nutrition; zinc sulfate; cooking.

4.1 INTRODUÇÃO

A batata-doce é um vegetal classificado como raiz tuberosa promissora, em uma visão da agricultura mundial, devido sua facilidade de adaptação ao clima e seu baixo custo de cultivo (SOARES et al., 2014).

A espécie *Ipomoea batatas* é originária de regiões tropicais com baixa altitude na América do Sul, sendo que seu cultivo foi feito pelos indígenas há séculos. É uma planta herbácea possui caule rastejante, que pode atingir cerca de 3 metros de comprimento, e as folhas com pecíolos longos. É considerada uma planta perene,

porém cultivada como anual (FILGUEIRA, 2008). A cultura da batata-doce possui 2 tipos de raízes uma sendo a de reserva ou tuberosa, que é a principal parte de interesse comercial, e tem as outras raízes que são chamadas de raízes absorventes, responsáveis pela absorção de nutrientes e água. As raízes de reserva começam a se desenvolver desde o início do desenvolvimento da planta, sendo fácil de identificar por ter uma maior espessura. As raízes absorventes se formam a partir do meristema cambial, tanto nos nós quanto nos entrenós, contém grande quantidade e muito ramificado o que favorece a absorção de nutrientes (SILVA; LOPES; MAGALHÃES, 2002).

A cultura da batata-doce é a quarta hortaliça mais produzida no Brasil. É uma cultura rústica e de ampla adaptação climática, sendo cultivada em todo o território brasileiro, principalmente nas regiões sul e nordeste (FERREIRA; RESENDE, 2019). A batata-doce desempenha importante papel socioeconômico, pois é direcionada tanto para comercialização quanto para a subsistência (MELLO, 2015).

A batata-doce é preferida para o consumo humano e pode ser consumida, cozidas, assada, frita ou amassada para fazer doces caseiros e salgados. Para os processos industriais está incluída como fonte de amido e na produção de pães (NZAMWITA, DUIDU, MINNAAR, 2017), e como matéria prima na produção de cosméticos, tecidos adesivos e papel (SILVA et al., 1995) e bioetanol (WIDODO, WAHYUNINGSIH, UEDA, 2015).

Além do carboidrato que a batata-doce pode fornecer, ela também pode servir como uma fonte de proteína, carotenoides ou compostos fenólicos e vitaminas, particularmente na produção de saúde e produtos farmacêuticos (ONWUDE et al. 2018).

A raiz tuberosa também possui muitos benefícios para a saúde humana como tratamento de doenças como diabetes tipo II, câncer, anemia, inflamações e hipertensão. Relatada por Mohanraj e Sivasankar (2014) em vários artigos científicos que destacam os valores nutricionais e os fitoquímicos em várias partes da batata-doce (LUDVIK, NEUFFER, PACINI, 2004 E GRACE et al. 2014).

Com várias características e alto valor nutritivo, a batata-doce foi selecionada pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) como alimento inclusivo na ingestão dos astronautas nas missões espaciais. Portanto, é uma cultura que tem potencial imenso e papel importante a desempenhar na alimentação humana,

segurança alimentar e na redução da pobreza nos países em desenvolvimento (BOVELL BENJAMIN, 2007).

Diante da grande importância que a batata-doce tem na alimentação humana, este estudo objetivou avaliar os efeitos da adubação de Zn na cultura da batata-doce sobre a composição nutricional e na qualidade tecnológica de cozimento das raízes.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido em vasos de 25 L em estufa com cobertura de plástico transparente de 150 μm , com dimensões de 4,8 m de altura, 7 m de largura e 25 m de comprimento e fechamento nas laterais com tela, localizada no Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), município de Botucatu- SP. As coordenadas geográficas são 22°50' S; 48° 25' W e 772 m de altitude.

4.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos ao acaso com 7 repetições, com cinco doses de ZnSO_4 sendo elas: 0, 0,25; 0,5; 1,0 e 2,0 g pl^{-1} equivalentes a 0, 5, 10, 20 e 40 kg ha^{-1} .

Cada parcela foi representada por um vaso de 25 L contendo 1 rama de 30-40 cm retiradas de plantio jovem a partir do ápice da batata-doce da cultivar Canadense, com espaçamento de 1,0m x 0,5m.

4.2.3 Instalação e condução dos experimentos

Previamente a instalação do experimento foi coletado solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, e determinou-se as características químicas do solo (RAIJ et al., 1991), cujos resultados estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0-20 cm antes da adubação de solo

Antes da adubação	
Atributos*	
pH (CaCl ₂)	5,1
M.O (g dm ⁻³)	10,0
P resina (mg dm ⁻³)	6,0
H + AL (mmolc dm ⁻³)	14,0
K (mmolc dm ⁻³)	1,1
Ca (mmolc dm ⁻³)	11,0
Mg (mmolc dm ⁻³)	5,0
SB (mmolc dm ⁻³)	17,0
CTC (mmolc dm ⁻³)	31,0
V%	55,0
Fe (mg dm ⁻³)	5,0
Cu (mg dm ⁻³)	0,4
Mn (mg dm ⁻³)	2,2
Zn (mg dm ⁻³)	0,4
B (mg dm ⁻³)	0,1

*MO = matéria orgânica; CTC = capacidade de troca catiônica e V% = saturação por bases.

O solo foi coletado na UNESP de São Manuel-SP, na profundidade de 0-20 cm, o solo do local é um Latossolo Vermelho distrófico, de textura arenosa. Não foi necessário a realização da calagem devido aos valores de V estarem próximos a faixa considerada como adequada para a cultura (V = 60%). Para o plantio da batata-doce inicialmente o solo foi colocado nos vasos e abriram-se covas no centro dos vasos. A adubação de plantio foi realizada aplicando-se as doses de 2,22 g vaso⁻¹ de N (equivalente a 40 mg dm⁻³ de N), 48 g vaso⁻¹ de P₂O₅ (equivalente a 150 mg dm⁻³ de P₂O₅) e 2,5 g vaso⁻¹ de K₂O (equivalente a 50 mg dm⁻³ de K₂O). Para a adubação em cobertura foram aplicados 2,22 g vaso⁻¹ de N (equivalente a 40 mg dm⁻³ de N) e 2,5 g vaso⁻¹ de K₂O (equivalente a 50 mg dm⁻³ de K₂O) e as doses dos tratamentos de Zn. A adubação de cobertura foi realizada aos 40 dias após o plantio (DAP).

Como fontes de N, P e K foram utilizados os fertilizantes ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P₂O₅), cloreto de potássio (60% de K₂O), respectivamente.

A fonte de Zn utilizada foi o sulfato de zinco (ZnSO₄) e o seu fornecimento foi de acordo com os tratamentos. A adubação de plantio com todos os fertilizantes foi incorporada ao solo com auxílio de uma betoneira. Após a colocação dos solos nos vasos, foi aberta uma cova e depositada uma rama de batata-doce horizontalmente e a cova foi fechada manualmente.

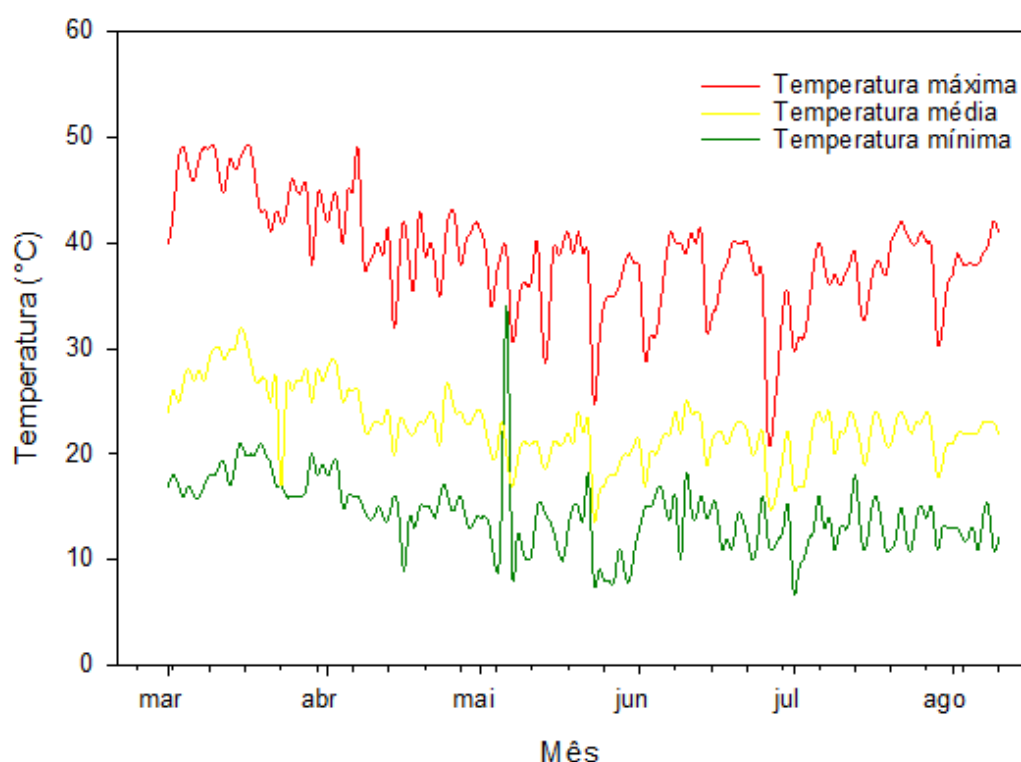
Foram utilizadas ramas entre 30-40 cm retiradas de plantio jovem a partir do ápice. O plantio foi realizado em 13/03/2020. A irrigação da cultura foi realizada

através de um sistema de gotejamento atendendo as necessidades de demanda hídrica para a cultura.

O controle fitossanitário foi realizado de acordo com a necessidade e as recomendações técnicas. A colheita das plantas foram realizadas em 13/08/2020.

Durante a condução do ensaio experimental foram coletados dados diários de temperaturas máximas, mínimas e médias (Figura 38).

Figura 38 - Temperaturas máximas, médias, mínimas e precipitação ao longo do experimento, no período de março de 2020 a agosto de 2020. Botucatu, SP



4.3 Composição nutricional das raízes de batata-doce

4.3.1 Determinação de umidade

Para se determinar o teor de umidade nas raízes, foram pesados aproximadamente 3 g de cada amostra e depois colocadas em estufa a aproximadamente 105 °C por 8 horas, até a obtenção de massa constante. Depois desse período as amostras foram retiradas da estufa e colocadas em dessecador e posteriormente pesadas, obedecendo ao método AOAC (2012).

4.3.2 Determinação do teor de cinza

Para a determinação do teor de cinzas, que é o conteúdo que representa o total de sais minerais na amostra (substâncias não voláteis até 550 °C), foram utilizados aproximadamente 3 g de amostra, que foram submetidas a mufla a 550 °C por 2 horas, até que a calcinação ficasse completa. Após esse período as amostras foram colocadas em dessecador e pesadas, seguindo a metodologia da AOAC (2012). Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

4.3.3 Determinação do teor de fibra

A determinação do teor de fibra total foi realizada por hidrólise ácida (H₂SO₄ 1,25%) seguida de hidrólise alcalina (NaOH 1,25%). Onde foram utilizados 3 g de cada amostra processadas em um bloco digestor de fibras, seguindo a metodologia seguida por AOAC (2012). Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

4.3.4 Determinação matéria graxa

Para determinação da matéria graxa foram utilizados cerca de 3 g de cada amostra e realizadas em extrator Soxhlet, utilizando éter de petróleo para a extração, conforme a metodologia descrita por AOAC (2012). E os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

4.3.5 Determinação do teor de proteína

Para a determinação do teor de proteína, onde representa o conteúdo total de protídeos na amostra, foram utilizadas três repetições com cerca de 200 mg de amostra, as quais foram submetidas em bloco digestor de proteína, seguido de destilação, seguindo a metodologia da AOAC (2012), sendo que o fator utilizado para conversão do teor de N em proteína bruta foi de 6,2. Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

4.3.6 Determinação do teor de açúcares totais

Para determinação do teor de açúcares totais, que representa o conteúdo total de açúcares redutores, mais a quantidade de sacarose e outros possíveis açúcares solúveis presentes na amostra, foram pesadas três repetições de aproximadamente 500 mg de cada amostra. As amostras foram colocadas em Erlenmeyer de 250 ml, em seguida foram acrescentados 30 ml de etanol absoluto P.A. e 30 ml de água

destilada, e levados para o banho-maria com temperatura entre 60 e 65 °C por 1 hora. Após esse tempo, colocou-se 1mL de HCl P.A. concentrado, seguido de leve agitação, e levou novamente a banho-maria, por mais 1 hora, na mesma faixa de temperatura. Os teores açúcares totais foram determinados e os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

4.3.7 Determinação do teor de açúcares redutor

Para a obtenção do teor de açúcares redutores, onde representa o conteúdo total de açúcares livres na amostra, utilizou-se triplicata de cerca de 1 g de cada amostra em erlenmeyer de 125 ml. Em seguida foi acrescentado 50 ml de H₂O destilada e em seguida aquecidos em banho-maria à temperatura de 65 °C durante 30 minutos, com agitação constante. Depois desse procedimento, os erlenmeyer foram esfriados até a temperatura ambiente e depois transferida para um balão volumétrico de 100 mL, no qual foi completado seu volume com água destilada. Logo após a homogeneização, a amostra foi filtrada em filtro de papel e determinado os açúcares redutores seguindo o método de Somogy (1945) e Nelson (1944). Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

4.3.8 Determinação do teor de amido

A determinação do teor de amido foi realizada pelo método enzimático. Após feito a passagem pela peneira de abertura de 0,180 mm, as amostras de aproximadamente 200 mg foram colocadas em erlenmeyers, aos quais foram acrescentados 42 ml de água destilada e 100 µL de solução comercial da enzima liquozyme (Supra 2.2 x, Novozymes) e 1 ml de solução tampão Acetato de Sódio 2 mol L⁻¹ em pH 5,35. Em seguida, foram agitadas suavemente em banho-maria com à temperatura de 90 °C, durante 120 minutos, tendo uma prova em branco. Em seguida adicionou 100 µL de solução comercial da enzima amiloglucosidase (AMG 300L, Novozymes), e agitada suavemente no banho-maria com à temperatura de 60 °C, por 120 minutos. Após essas etapas, a solução foi filtrada com um papel simples e no material filtrado foi dosado o teor de açúcares redutores, seguindo a metodologia descrita por Somogy (1945) e Nelson (1944) e AOAC (2012), utilizando o fator de conversão de 0,9, os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

4.3.9 Minerais

Foram analisados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, e Zn, seguindo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

4.4 Avaliações tecnológicas nas raízes cruas e cozidas

4.4.1 Tempo de cozimento

Para a determinação do tempo de cozimento foram cortados toletes de 3 cm de comprimento retirados do terço médio das raízes frescas. O corte dos toletes foi realizado em cortador manual (Vitax Médio) com uma grade de 10 milímetros para obtenção de palitos de 10x10x30 mm. A determinação do tempo de cozimento foi conduzida em um cozedor Mattson modificado e adaptado para avaliar o cozimento de mandioca, seguindo a metodologia descrita por Oliveira et al. (2005).

4.4.2 Ganho de peso e hidratação

A diferença de peso foi calculada pela razão entre o peso dos toletes crus e os toletes cozidos. A porcentagem de hidratação foi quantificada pela seguinte fórmula (FAVARO et al., 2008):

$$\% \text{ de hidratação} = \frac{(\text{Massa do tolete cozido} - \text{Massa do tolete cru}) \times 100}{(\text{Massa do tolete cru})}$$

4.4.3 Cor

A determinação da cor foi realizada em colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing), antes e após o cozimento das raízes tuberosas. Foram determinados os valores de L* (representa luminosidade), a* (representa variação de cor do verde ao vermelho), b* (representa variação de cor do azul ao amarelo) (PAPADAKIS et al., 2000). A partir dos valores de a* e b* foi calculado o ângulo hue ($^{\circ}h = \tan^{-1} (b^* / a^*)$) que define a tonalidade de cor e o chroma ($C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$) que define a intensidade de cor (MCGUIRE, 1992).

4.4.4 Textura

A determinação da textura foi avaliada em cada uma das amostras de raízes tuberosas (sem casca) de cada parcela experimental antes e após cozimento. Para a determinação foram utilizados toletes com aproximadamente 3 cm de comprimento,

sem casca e retirados do terço médio das raízes tuberosas frescas de cada parcela experimental. Para a avaliação da firmeza utilizou-se o texturômetro (TA.XT Plus Texture Analyser) com ponta de prova SMS P/2N e velocidade de penetração de 2,5 mm s⁻¹. A leitura foi realizada em dois diferentes pontos centrais dos toletes, cujos resultados obtidos foram expressos em Newton (N).

4.4.5 Perda de minerais

Após o cozimento das raízes as amostras foram colocadas em estufa a 55 °C, para a determinação de umidade, e em seguida foram moídas e feita as análises de macro e micronutriente para a obtenção da porcentagem da perda de nutrientes no cozimento (MALAVOLTA, 1997).

4.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância separadamente. O efeito das doses ZnSO₄ foram analisados por análise de regressão ($p \leq 0,05$). A análise estatística foi realizada com auxílio do *software* Sisvar.

Para a visualização da performe da batata-doce submetida a diferentes doses de ZnSO₄, foi realizado inicialmente a divisão em 3 grupos das variáveis analisadas, para cada micronutriente, sendo que o critério foi a relação agrônômica existente entre elas. Assim, aplicou-se o teste de correlação de *Pearson* e em seguida verificou-se a significância ($\alpha = 5\%$), utilizando os pacotes “latticeExtra” e “Hmisc” no Programa R. Para melhor visualização foram elaborados heatmaps (mapas de calor) utilizando os pacotes “corrplot” e “RColorBrewer” e em seguida aplicou o método “FPC” para agrupar as correlações positivas e negativas.

A análise multivariada por PCA foi construída utilizando todas as variáveis, primeiro transformou-se os dados em “log”, a fim de padronizá-las. Para isso, utilizou os pacotes “PCAtools”, “chemometrics”, “ellipse” e “stats” no *software* R.

4.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.6.1 Composição nutricional das raízes

A umidade nas raízes tuberosas reduziu com o aumento das doses de ZnSO₄. Mostrando que na maior dose se tem uma menor quantidade de teor de água na raiz tuberosa. Segundo Fernandes et al. (2010) o alto teor de umidade pode ser indicadas

para cozimento, onde elevado teor de umidade irá conferir firmeza e manutenção da forma de raiz tuberosa.

A quantidade de cinza foi maior na maior dose do ZnSO_4 , resultado que mostra que contém mais minerais presente na raiz tuberosa. Os teores variaram de 0,59 a 1,30 g 100 g⁻¹. A tabela Brasileira de Composição de Alimentos, TACO-Unicamp (2011) apresenta para batata-doce valor médio de 0,9 g de cinzas. A dose de 2 g pl⁻¹ de ZnSO_4 foi a que apresentou maior quantidade de cinzas acima do recomendado. Segundo Cecchi (2003), o teor de cinzas irá depender muitas vezes da natureza do alimento e do método de determinação empregado. Já para Favoretto (2005) as variações o teor de cinzas pode ser influenciado também pela cultivar, clima, maturação dos tubérculos, prática agrônômica e local de plantio.

Para o teor de fibra e a textura antes do cozimento houve aumento linear.

De acordo com Franco et al. (2001), quanto menor o teor de fibras, melhor serão as características de um cultivar de batata-doce, sendo que as fibras podem interferir no processo de extração da fécula, porque elas retêm a fécula e dificultam a moagem, o que modifica o rendimento final.

As fibras alimentares são importantes para alimentação humana além de causar efeitos fisiológicos benéficos na função gastrointestinal humana, aumentar a massa fecal, reduzir glicemia e reduzir o nível de colesterol do plasma sanguíneo (IFT, 1979; PENTEADO, 1981; SAURA-CALIXTO, 1993).

Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO/UNICAMP (2011), a cada 100 g de batata-doce, 2,6 g é fibra alimentar, valor este que é maior do que neste experimento.

A resolução RDC nº54 de 2012 sugere a ingestão diária de 5g de fibras alimentares para serem benéficos ao organismo.

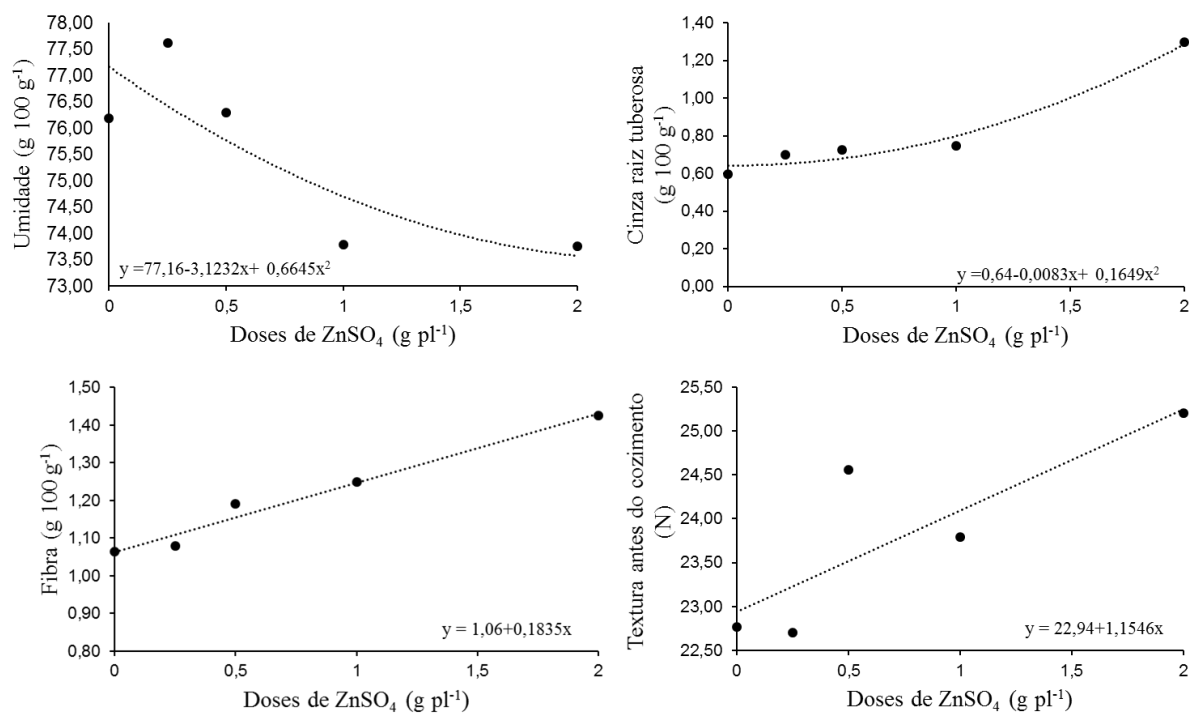
Os teores de fibras na batata-doce variam dependendo da genética e das condições de cultivo das culturas (MEI et al. 2010).

A textura antes do cozimento foi maior na última dose de 2,0 g pl⁻¹.

Tabela 24 - Umidade, cinza, fibra, matéria graxa, açúcar total, açúcar redutor, proteína, amido e cor e textura antes do cozimento nas raízes tuberosas da batata-doce em diferentes doses de ZnSO_4

	Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0	0,25	0,5	1,0	2,0		
Umidade (g 100 g^{-1})	76,18	77,61	76,29	73,79	73,75	0,69	0,0321
Cinza (g 100 g^{-1})	0,59	0,70	0,72	0,74	1,30	0,97	0,0000
Fibra (g 100 g^{-1})	1,06	1,08	1,19	1,25	1,42	0,98	0,0000
Matéria graxa (g 100 g^{-1})	0,28	0,29	0,34	0,19	0,27	ns	ns
Açúcar total (g 100 g^{-1})	5,13	4,68	4,56	5,41	4,89	ns	ns
Açúcar redutor (g 100 g^{-1})	2,39	1,89	2,20	2,15	2,07	ns	ns
Amido (g 100 g^{-1})	16,73	15,57	16,38	18,57	17,59	ns	ns
Proteína (g 100 g^{-1})	0,86	0,78	0,80	0,89	0,75	ns	ns
Cor antes do cozimento (L^*)	82,93	83,17	85,80	82,89	84,57	ns	ns
Chroma	24,21	26,08	25,74	24,78	24,19	ns	ns
Hue	83,49	83,17	83,91	83,52	83,58	ns	ns
Textura antes do cozimento	22,77	22,70	24,56	23,79	25,20	0,69	0,0029

Figura 39 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre a composição centesimal das raízes tuberosas de batata-doce



4.6.2 Minerais nas raízes tuberosas cruas

O teor de K, Mg, Fe e Mn aumentou até a dose estimada de 1,1; 1,3; 1,6 e 1,4 g pl^{-1} respectivamente, já o Ca e o Zn tiveram o aumento linear dos teores e o S teve redução no teor até a dose estimada de 1,5 g pl^{-1} .

De acordo com a tabela TACO-UNICAMP (2011), 100 g de batata-doce crua pode fornecer 344 mg de potássio, 17 mg de magnésio, 0,4 mg de ferro e 0,18 de manganês, 21 mg de cálcio e 0,11 mg de zinco. Com os resultados encontrados para os teores de Fe, Mn e Ca ficaram abaixo da tabela TACO-UNICAMP (2011).

Para o Zn as doses de 1,0 e 2,0 g pl^{-1} de ZnSO_4 teve o teor maior que da tabela TACO-UNICAMP (2011).

O aumento de Zn na raiz tuberosa mostra resultado importante para a biofortificação, tendo um teor maior quando a planta é adubada com ZnSO_4 .

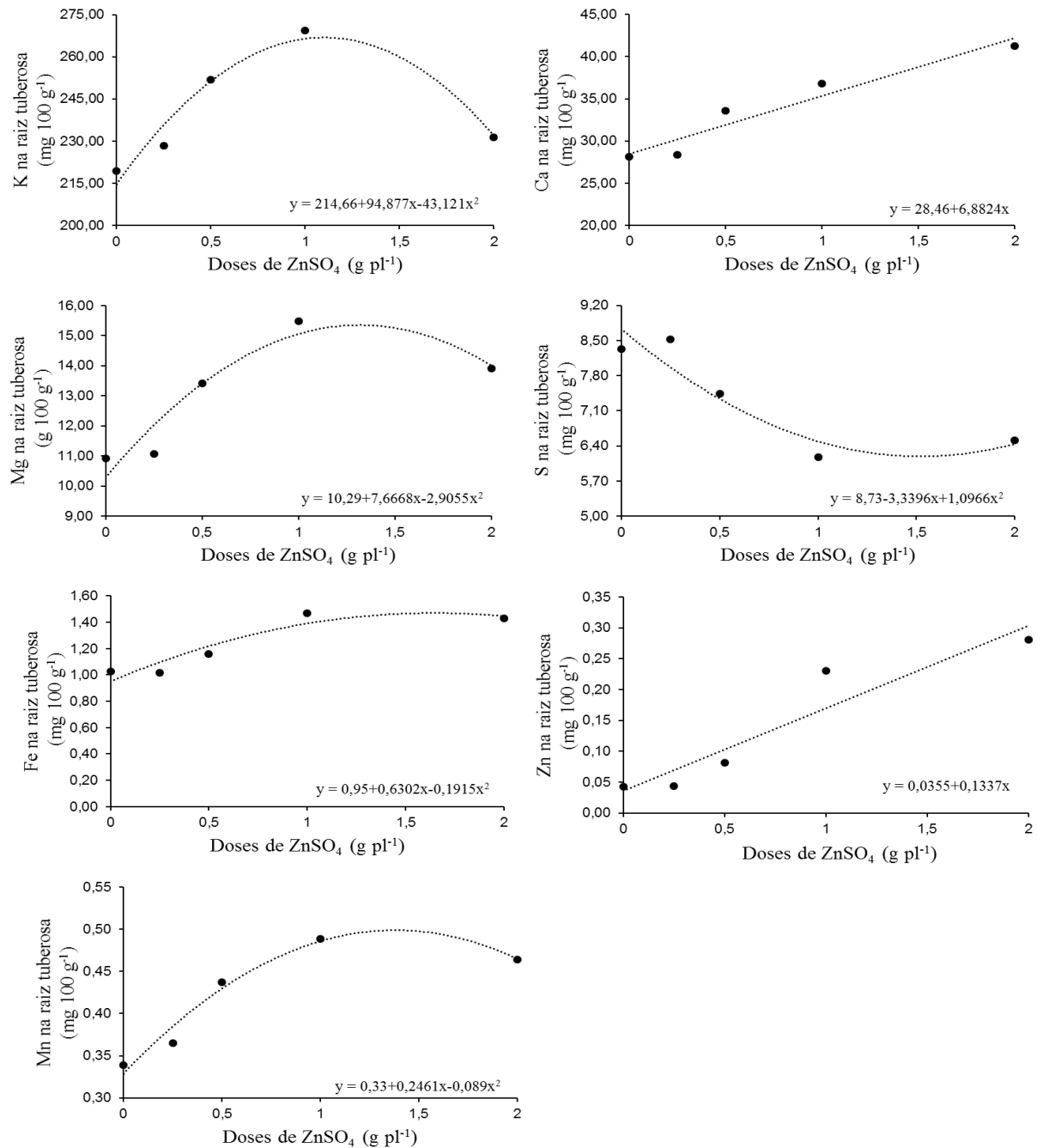
Com o aumento de alguns teores na raiz tuberosa da batata-doce pode ajudar muitas pessoas que apresentam problemas relacionados a desnutrição, principalmente entre as mulheres, gestantes e crianças, promovendo uma melhora na alimentação (WUEHLER; OUEDRAOGO, 2011).

Os macronutrientes são necessários em quantidades de 100 mg/dia ou as vezes mais, como o cálcio (Ca) e o potássio (K), dentre outros minerais. Já os micronutrientes ou elementos traço são necessários em quantidades muito menores, em torno de 15 mg dia^{-1} , como o ferro (Fe) e o Zinco (Zn) (AVEGLIANO, 2009).

Tabela 25 - Teores dos minerais P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn e Mn nas raízes tuberosas de batata-doce em diferentes doses de ZnSO_4

	Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0	0,25	0,5	1,0	2,0		
P (mg 100 g $^{-1}$)	30,99	33,52	32,14	31,43	28,99	ns	ns
K (mg 100 g $^{-1}$)	219,36	228,23	251,80	269,30	231,29	0,95	0,0435
Ca (mg 100 g $^{-1}$)	28,09	28,33	33,55	36,84	41,29	0,93	0,0000
Mg (mg 100 g $^{-1}$)	10,92	11,07	13,40	15,47	13,91	0,90	0,0000
S (mg 100 g $^{-1}$)	8,33	8,52	7,43	6,17	6,50	0,87	0,0000
Fe (mg 100 g $^{-1}$)	1,03	1,02	1,16	1,47	1,43	0,88	0,0000
Cu (mg 100 g $^{-1}$)	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	ns	ns
Zn (mg 100 g $^{-1}$)	0,04	0,04	0,08	0,23	0,28	0,89	0,0000
Mn (mg 100 g $^{-1}$)	0,34	0,36	0,44	0,49	0,46	0,97	0,0000

Figura 40 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre os teores dos minerais nas raízes tuberosas de batata-doce



4.6.3 Análises de cozimento

O tempo de cozimento teve uma redução linear. Mostrando que na maior dose o tempo foi menor, considerando um indicativo de boa característica culinária.

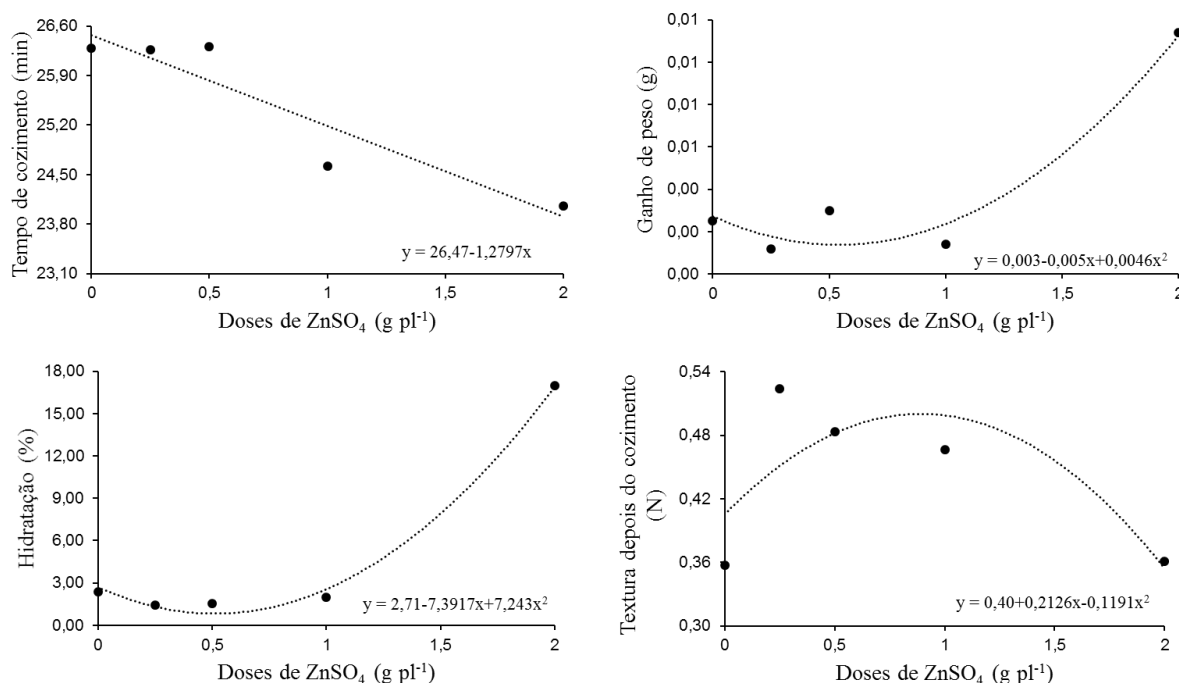
O ganho de peso e a hidratação obtiveram o mesmo comportamento sendo menor nas primeiras doses e sendo maior nas maiores doses de ZnSO_4 .

A textura das raízes cruas foi maior até a dose estimada de $0,9 \text{ g pl}^{-1}$.

Tabela 26 - Avaliações tecnológicas nas raízes cozidas: tempo do cozimento, cor e textura nas raízes tuberosas de batata-doce em diferentes doses de ZnSO_4

	Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0	0,25	0,5	1,0	2,0		
Tempo de cozimento (min)	26,29	26,26	26,31	24,62	24,06	0,87	0,0182
Ganho de peso (g)	0,002	0,001	0,003	0,001	0,011	0,95	0,0000
Hidratação (%)	2,38	1,42	1,54	1,98	17,90	0,99	0,0000
Cor depois do cozimento (L^*)	61,95	63,85	61,49	64,95	61,51	ns	ns
Chorma	30,82	31,19	32,17	34,50	32,82	ns	ns
Hue	92,08	92,20	92,23	91,91	92,47	ns	ns
Textura depois do cozimento	0,36	0,52	0,48	0,47	0,36	0,61	0,0000

Figura 41 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre o tempo de cozimento, ganho de peso, hidratação e textura depois do cozimento nas raízes tuberosas de batata-doce



4.6.4 Perda de nutrientes com o cozimento

A perda de K e S teve uma diminuição linear, mostrando que na maior dose se teve a menor perda dos nutrientes.

Para os nutrientes Fe, Cu, Zn e Mn a perda dos nutrientes foram menores a partir da dose estimada de 1,4; 1,1; 1,6 e 1,1 g pl^{-1} de ZnSO_4 .

O aumento do Fe é de grande importância sendo essencial para a formação de hemoglobina (COOK et al. 1997).

A ingestão média de Cu através da dieta varia, sendo normalmente, entre 0,9 e 2,7 mg por dia (WHO, 2004).

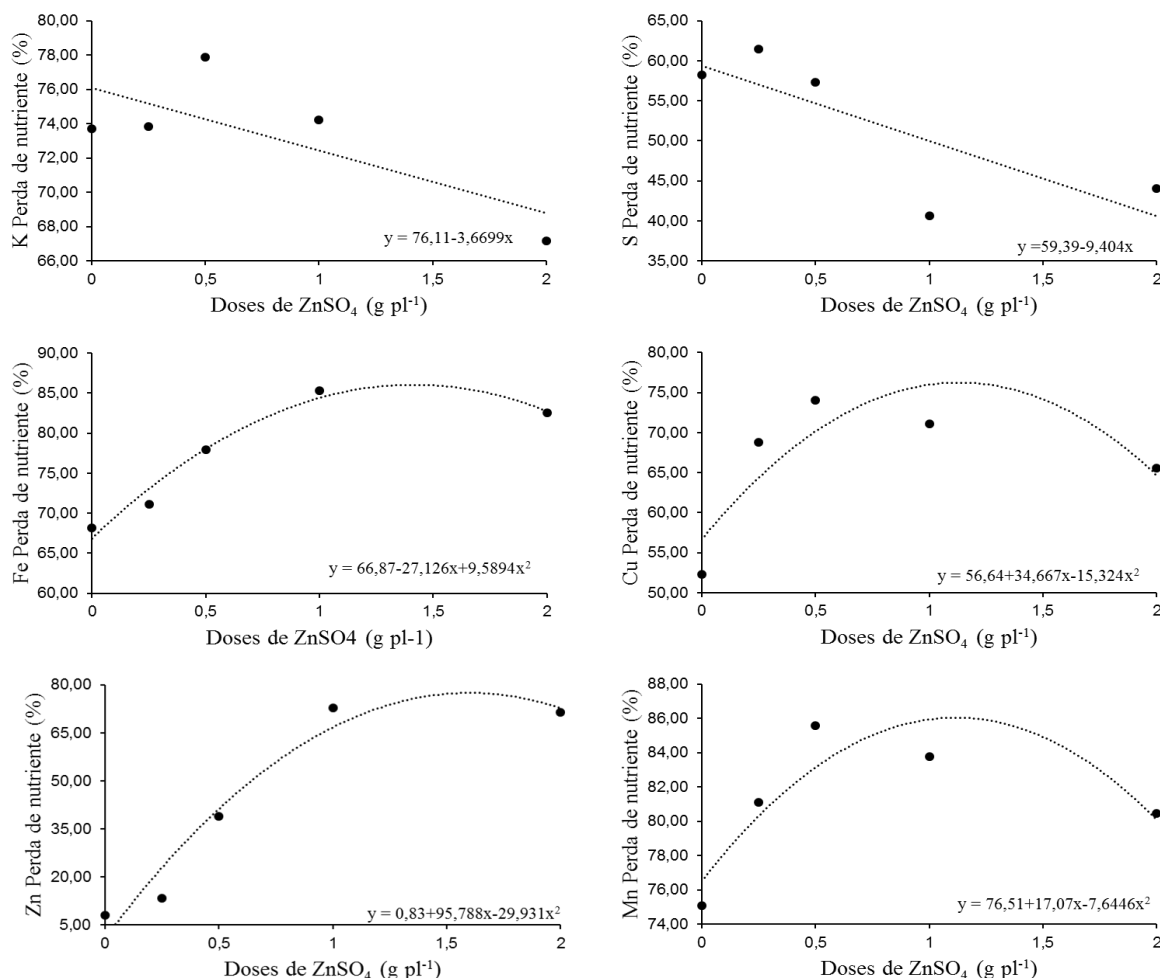
A recomendação diária de ingestão (RDI) do Zn são de 11 mg dia^{-1} para homens e 8 mg dia^{-1} para mulheres adultas, já em algumas fases da vida, como na gestação, infância e puberdade (HAMBIDGE et al. 2008).

O cozimento das raízes pode ser prejudicial aos nutrientes tendo perdas durante o processo (YANG; GADI, 2008). Porém, o cozimento das raízes leva a melhoria da qualidade microbiológica e qualidades organolépticas, destrói também toxinas e fatores antinutricionais, aumenta a digestibilidade e biodisponibilidade de nutrientes (ERDMAN; SCHNEIDER, 1994).

Tabela 27 - Perda de minerais P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn e Mn na raiz tuberosa de batata-doce após o cozimento em diferentes doses de ZnSO_4

	Doses de ZnSO_4 (g pl^{-1})					R^2	P-value
	0	0,25	0,5	1,0	2,0		
P (%)	66,57	65,31	68,38	63,60	62,23	ns	ns
K (%)	73,71	73,82	77,89	74,20	67,15	0,56	0,0429
Ca (%)	81,50	79,36	84,51	86,18	85,38	ns	ns
Mg (%)	76,54	77,51	81,39	80,72	75,26	ns	ns
S (%)	58,25	61,43	57,28	40,66	44,04	0,64	0,0032
Fe (%)	68,16	71,14	77,94	85,32	82,57	0,97	0,0000
Cu (%)	52,25	68,80	74,08	71,09	65,59	0,72	0,0021
Zn (%)	8,02	13,33	38,80	72,70	71,47	0,95	0,0000
Mn (%)	75,06	81,12	85,56	83,75	80,45	0,79	0,0073

Figura 42 - Efeitos das doses de ZnSO_4 sobre a perda de nutrientes nas raízes tuberosas de batata-doce



4.6.5 Análises de correlação e componentes principais

Os coeficientes de correlação de Pearson's para o ensaio de fertilização com ZnSO_4 em batata-doce estão apresentados no heat map da Figura 44. O teor de Zn nas raízes cruas correlacionou positivamente com o teor de amido, fibra, cinza, textura crua, mas se relacionou negativamente com o teor de matéria graxa e umidade. O amido correlacionou positivamente com fibra, açúcar total e proteína e negativamente com matéria graxa, chroma e umidade (Figura 44A).

Para a análise de correlações entre minerais, o Zn correlacionou-se positivamente com Ca, Mg e Mn, e teve uma correlação negativa com P e S (Figura 44B).

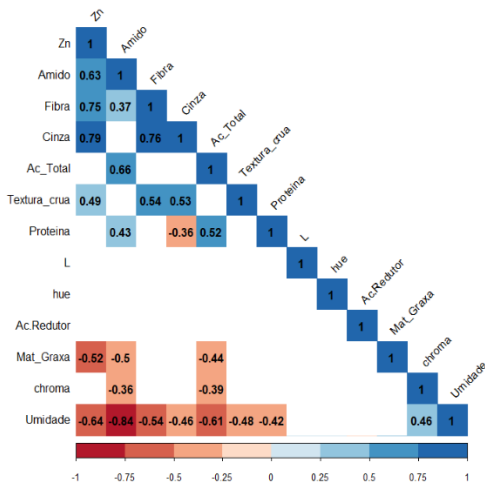
Nos parâmetros analisados para o cozimento das raízes de batata-doce (Figura 44C), o teor de Zn obteve resultado positivo com hidratação, ganho de peso, perda de Zn, perda de Fe e correlação negativa com tempo de cozimento, perda de S e perda de K.

A análise dos componentes principais (PCA) para a composição nutricional das raízes de mandioca crua evidenciou 93% da variação dos dados são explicados por PC1 e PC2 (Figura 45A). Os teores de matéria graxa, cinza e zinco são os principais responsáveis pela separação (Figura 45B). Para os efeitos das doses de ZnSO_4 é possível observar com nitidez a separação dos tratamentos, mostrando que o tratamento 0 e $0,25 \text{ g pl}^{-1}$ de ZnSO_4 é similar um com o outro, porém é muito diferente do tratamento com 1 e 2 g pl^{-1} de ZnSO_4 (Figura 45C).

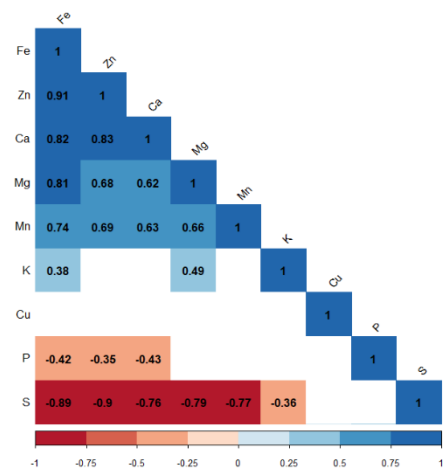
A análise de PCA para os minerais nas raízes cruas de batata-doce mostrou que 94,2% da variação dos dados são explicados por PC1 e PC2 (Figura 45D), tendo maior interferência do Zn, seguida de S e P (Figura 45E). A separação da dose de $0,5 \text{ g pl}^{-1}$ de ZnSO_4 está bem visível (Figura 45F).

Para os parâmetros de cozimento e perda de nutrientes, a análise dos componentes principais mostrou que PC1 e PC2 correspondem a 94,4% da variabilidade total (Figura 45G). Perda de Zn, ganho de peso e hidratação foram os principais parâmetros para a variabilidade dos dados (Figura 45H).

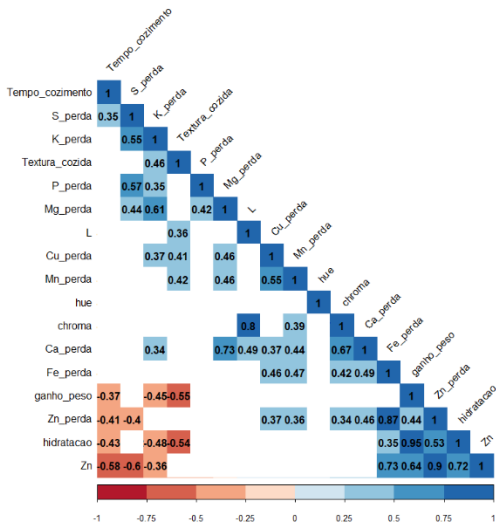
Figura 43 - Mapa de calor (Heatmap) das correlações de Pearson's entre zinco, fibra, açúcar redutor, açúcar total, umidade, cinzas, proteína, matéria graxa, cor, textura e minerais das raízes cruas e parâmetros de cozimento e perda de nutrientes nas raízes cozida. A cor das barras indica o tipo de correlação, onde 1 indica correlação perfeitamente positiva (azul escuro) e -1 significa perfeitamente negativa (vermelho escuro)



A

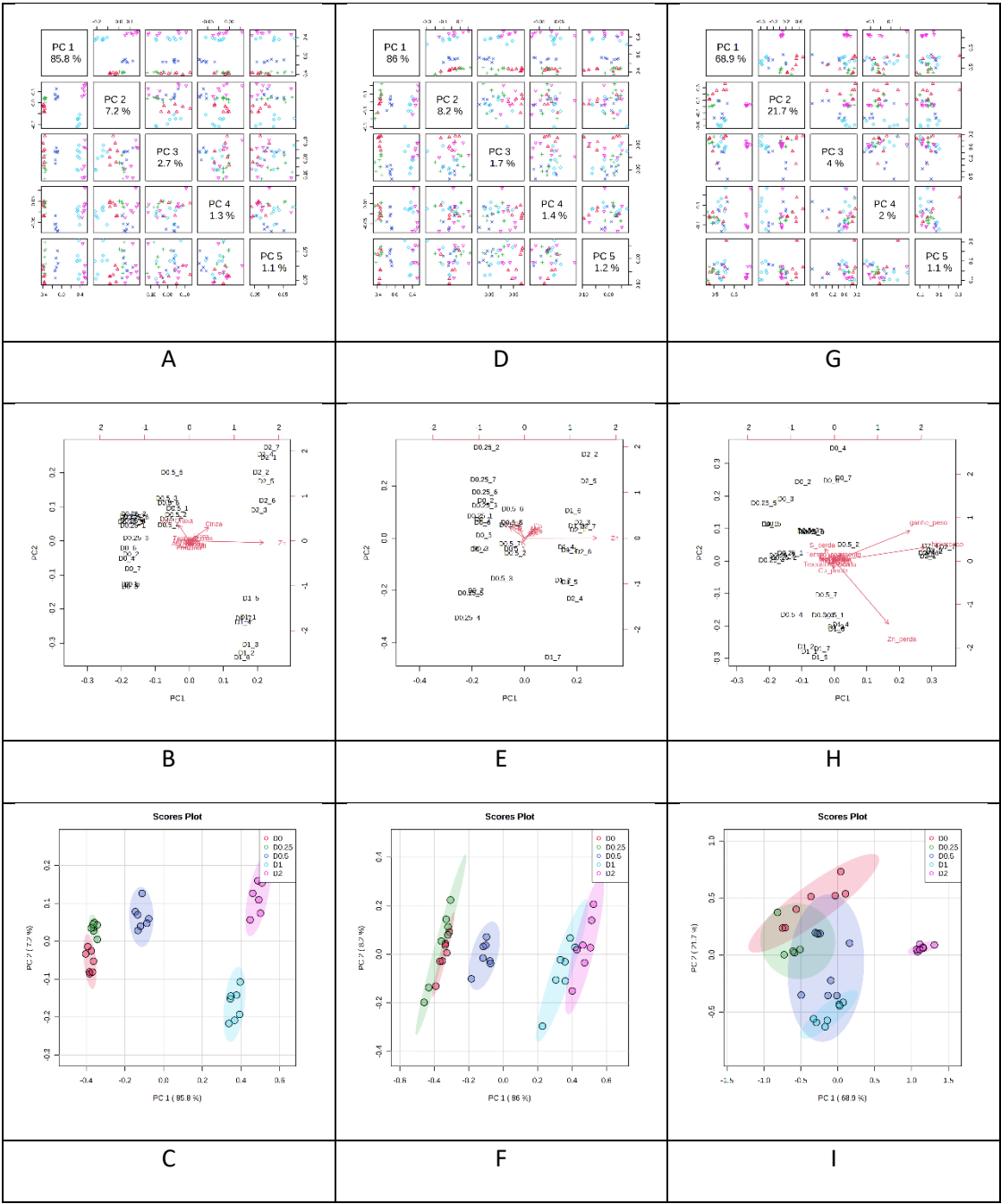


B



C

Figura 44 - Análise de componentes principais para a composição nutricional, cor e textura nas raízes de batata-doce cruas, parâmetros de cozimento e perdas de nutrientes. *O teor de zinco foi incluído para a verificação da interferência na separação dos componentes



4.7 CONCLUSÕES

A quantidade de cinza foi maior na maior dose de ZnSO_4 . O teor da fibra e a textura das raízes antes do cozimento houve aumento linear.

O teor de K, Mg, Fe e Mn aumentou até a dose estimada de 1,1; 1,3; 1,6 e 1,4 g pl^{-1} de ZnSO_4 , para o teor de Ca e Zn houve o aumento linear.

Para a perda de nutrientes após o cozimento das raízes o K e S teve uma diminuição linear, já o Fe, Cu, Zn e Mn as perdas foram menores a partir das doses 1,4; 1,1; 1,6 e 1,1 g pl^{-1} de ZnSO_4 .

REFERÊNCIAS

- AOAC - **ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS** - International. 19th edition – Gaithersburg. Current Through Revision 2, 2012.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL**. 19th. AOAC INTERNATIONAL.
- AVEGLIANO, R.P. Estudo de dieta total no estado de São Paulo: Estimativa de ingestão dietético de elementos tóxicos (arsênio e cádmio) e essenciais (cálcio, cromo, ferro, selênio, sódio, potássio e zinco). **Tese**. São Paulo. 2009.
- BOVELL BENJAMIN, A. C. Sweet potato: a review of its past, present, and future role in human nutrition. **Advances in Food and Nutrition Research**, 52, 1-59, 2007.
- CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Editora da UNICAMP: 2ª ed. rev.- Campinas, SP, editora da UNICAMP. 207p. 2003.
- COOK, J.D., REDDY, M.B., BURRI, J., JUILLERAT, M.A. and HURRELL, R.F. The influence of different cereal gains on iron adsorption from infant cereal foods. *Ame. J. Clin. Nutr.* 65: 964 – 969, 1997.
- ERDMAN, J.W.J. and SCHNEIDER, A.G.P. (1994). Factors affecting nutritive value in processed foods. In: Shils, M.E., Olson and Shike, M (eds.) **Modern Nutrition in Health and Disease**, 8th edn. Lea and Febiger, Philadelphia, pp. 1569 – 1578.
- FAVORETTO, P. **Parâmetros de crescimento e marcha de absorção de nutrientes na produção de mini tubérculos de batata cv. 'Atlantic'**. Piracicaba, 2005. 98 p. Tese (Mestrado em Agronomia, Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- FAVARO, S. P., BELÉIA, A., FONSECA-JUNIOR, N.S., & WALDRON, K. W. **The roles of cell wall polymers and intracellular components in the thermal softening of cassava roots**. *Food Chemistry*, 108(1), 220-227. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.070>. Acessado em: 05 de mar de 2021.
- FERNANDES, A. M et al. Crescimento, acúmulo e distribuição de matéria seca em cultivares de batata na safra de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 826-835, 2010.
- FERREIRA, J. C., & RESENDE, G. M. (2019). Batata-doce: Cultivar adequada faz toda a diferença. Fonte: <https://revistacampoenegocios.com.br/batata-doce-cultivar-adequada-faz-toda-a-diferenca/#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20mundial%20de%20batata,%2C26%20t%20ha%2D1>. Acessado em: 20 de fev. de 2022.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: Agro tecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa. UFV. cap. 21. p. 371-377, 2008.

FRANCO, C. M. L. et al. Propriedades do amido. In: Cereda, M.P. (Coord.). Propriedades gerais do amido. Campinas: **Fundação Cargill**, 2001. p. 141-184.

GRACE, M H., YOUSEF, G. G., GUSTAFSON, S. J., TRUONG, V. D., YENCHO, G. C., & LILA, M. A. Phytochemical changes in phenolics, anthocyanins, ascorbic acid, and carotenoids associated with sweet potato storage and impacts on bioactive properties. **Food Chemistry**, 145, 717-724. 2014.

HAMBIDGE, Michael K.; MILLER Leland V.; WESTCOTT, Jamie E. et al. Dietary Reference Intakes for Zinc May Require Adjustment for Phytate Intake Based upon Model Predictions. **J. Nutr.** v.138, p.2363–2366, 2008.

IFT (Institute of Food Technologists). **Dietary fiber**. Food Technology, Van Buren, v. 33, n.1, p. 35-39, 1979.

LUDVIK, B., NEUFFER, B., & PACINI, G. Efficacy of Ipomoea batatas (Caiapo) on diabetes control in type 2 diabetic subjects treated with diet. **Diabetes Care**, 27, 436-440. 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: **Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo**. 319 p, 1997

MELLO, A. F. S. Importância socioeconômica da batata-doce para a agricultura brasileira. Brasília: **Embrapa Hortaliça**, 2015.

MEI, X., UM, T. H., & HAN, J. J. Composition and physicochemical properties of dietary fiber extracted from residues of 10 varieties of sweet potato by a sieving method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 58, 7305-7310. 2010.

MOHANRAJ, R., & SIVASANKAR, S. Sweet potato (Ipomea batatas (L.) Lam) – A valuable medicinal food: a review. **Journal of Medicinal Food**, 17, 733-741. 2014.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **Horticultural Science**, v. 27, p. 1254-1255, 1992.

NZAMWITA, M., DUODU, K. G., & MINNAAR, A. Stability of B-carotene during baking of Orange-fleshed sweet potato-wheat composite bread and estimated contribution to vitamin A requirements. **Food Chemistry**, 228, 85-90. 2017.

OLIVEIRA, M.A.; LEONEL, M.; CABELLO, C.; CEREDA, M.P.; JANES, D.A. Metodologia para avaliação do tempo de cozimento e características tecnológicas associadas em diferentes cultivares de mandioca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras v.29, n.1, p.126-133, 2005.

ONWUDE, D., HASHIM, N., ADBAN, K., JANIUS, R., CHEN, G. Combination of computer vision and backscattering imaging for predicting the moisture content and colour changes of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during drying. **Comput. Electron. Agric.** 150 (April), 178-187. 2018.

PENTEADO, R. L. B. Fibras vegetais na alimentação humana. **Boletim Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP, v. 15, n. 3, p. 279-302, 1981.

SAURA CALIXTO, F. D. Fibra dietetic de manzana: hacia nuevos tipos de fibras de alta calidad. Alimentaria: **Revista de tecnología e higiene de los alimentos**, Rioja, v. 242, n. 4, p. 57-62, 1993.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. **Cultura da batata-doce**. In: CEREDA MP; Agricultura: Tuberosas amiláceas latino-americanas, São Paulo: Cargill, v. 2, p. 449-503, 2002.

SILVA, J. B. C. et al. Cultivo da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). **Embrapa Hortaliças-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E)**, 1995.

SOARES, I. M., BASTOS, E. G. P., SOBRINHO, T. J. S. P., ALVIM, T. C., SILVEIRA, M. A., AGUIAR, R. W. S., & ASCÊNCIO, S. D. Conteúdo fenólico e atividade antioxidante de diferentes cultivares de *ipomoea batatas* (L.) lam. obtidas por melhoramento genético para produção industrial de etanol. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 35, n. 3, 2014.

TACO. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Universidade Estadual de Campinas. 2ed. Campinas. 2006.

WHO, Copper in drinking-water - WHO Guidelines for Drinking-Water Quality, Geneva, World Health Organization, 2004.

WIDODO, Y., WAHYUNINGSIH, S., & UEDA, A. Sweet potato production for bioethanol and food related industry in Indonesia: Challenges for sustainability. **Procedia Chemistry**, 14, 493-500. 2015.

WUEHLER, S. E.; OUEDRAOGO, A. W.: Situational analysis of infant and young child nutrition policies and programmatic activities in Burkina Faso. **Maternal and Child Nutrition**, n. 7(Suppl.1), p. 35-62, 2011.

YANG, J. and GADI, R.L. Effects of steaming and dehydration on anthocyanins, antioxidant activity, total phenols and color characteristics of purple flashed sweet potatoes (*Ipomea batatas*). *Am. J. Food Technol.* 3: 224 – 234, 2008.

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.