

NUMBER

RENILDES LÚCIO FERREIRA FONTES

UFV	BIBLIOTECA	BBT	OBRA	RG000114634
	CLASSIFICAÇÃO	T 581.1335 / F683p		
TÍTULO Purificação de soluções nutritivas para in				
				
96807 BBT				

PURIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES NUTRITIVAS PARA INDUÇÃO
DE DEFICIÊNCIAS DE ZINCO E COBRE, EM PLANTAS

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
Exigências do Curso de Solos e Nu-
trição de Plantas, para Obtenção do
Título de "Magister Scientiae".

BIBLIOTECA CENTRAL - UFV -
96.807
06-06-86

T
581.1335
F683p
1986
ex. 1

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
JULHO - 1986

DOAÇÃO

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

F683p
1986

Fontes, Renildes Lúcio Ferreira.
Purificação de soluções nutritivas para
indução de deficiências de zinco e cobre,
em plantas. Viçosa, UFV, Impr. Univ.,
1986.

72p.

Tese (M.S.) - UFV

1. Plantas - Nutrição mineral. 2. Plan-
tas - Deficiência de zinco. 3. Plantas -
Deficiência de cobre. 4. Micronutrientes.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Tí-
tulo.

CDD - 18.ed. 581.1335

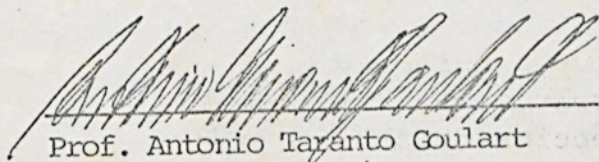
CDD - 19.ed. 581.1335

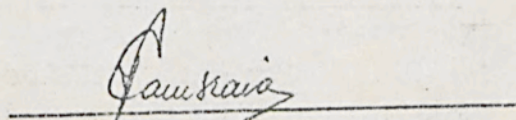
RENILDES LÚCIO FERREIRA FONTES

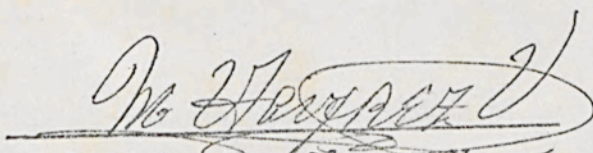
PURIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES NUTRITIVAS PARA INDUÇÃO
DE DEFICIÊNCIAS DE ZINCO E COBRE, EM PLANTAS

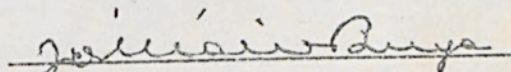
Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
Exigências do Curso de Solos e Nu-
trição de Plantas, para Obtenção do
Título de "Magister Scientiae".

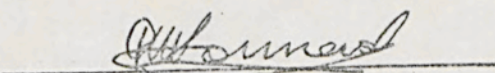
APROVADA: 30 de dezembro de 1985


Prof. Antonio Taranto Goulart
(Conselheiro)


Prof. José Cambraia


Prof. Victor Hugo Alvarez V.


Prof. José Mário Braga


Prof. Pedro Henrique Monnerat
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Beth pelo amor e convívio.

Aos meus pais e irmãos pelo carinho e incentivo.

Ao prof. Cid e a Sr.^a Myrthes pela amizade, apoio e estímulo.

A Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade e apoio oferecidos para

A meus pais, Rubens e Gertrudes

Ao prof. Pedro H. A minha esposa, Beth

Aos meus filhos, Érica e Andrei

Aos professores José Mário Braga, Antonio Taranto, Goulart, José Gandraia e Vitor Hugo Alvarez V. pelas críticas e sugestões apresentadas.

Aos amigos Domingos Sávio da Silva e Mário Roberto de Almeida pela dedicação e auxílio na condução do experimento na casa de vegetação e nos trabalhos de purificação de soluções e análises químicas do material vegetal.

Ao colega Ricardo Frederico Eulýdes pela atenção e ajuda na programação e processamento dos dados para as análises estatísticas.

Ao colega Luiz Eduardo Dias e aos técnicos Jacir Gomes e Adir Gomes pelo trabalho fotográfico.

Ao Prof. Dr. Antonio Mendes pela coteção do Portafólio.

Ao amigo João Alberto Cardoso pelo trabalho de datilografia.

A todos aqueles que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Beth pelo amor e convívio.

Aos meus pais e irmãos pelo carinho e incentivo.

Ao prof. Cid e a Sr.^a Myrthes pela amizade, apoio e estímulo.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade e apoio oferecidos para a realização do curso.

Ao prof. Pedro Henrique Monnerat pela orientação segura e pela valiosa ajuda na elaboração desta tese.

Aos professores José Mário Braga, Antonio Taranto Goulart, José Cambraia e Vitor Hugo Alvarez V. pelas críticas e sugestões apresentadas.

Aos amigos Domingos Sávio da Silva e Mário Noberto de Almeida pela dedicação e auxílio na condução do experimento na casa de vegetação e nos trabalhos de purificação de soluções e análise química do material vegetal.

Ao colega Ricardo Frederico Euclydes pela atenção e ajuda na programação e processamento dos dados para as análises estatísticas.

Ao colega Luiz Eduardo Dias e aos técnicos Jacir Gomes e Adir Gomes pelo trabalho fotográfico.

Ao Prof. Pe. Antonio Mendes pela correção do Português.

Ao amigo Júlio Alberto Cardoso pelo trabalho de dactilografia.

A todos aqueles que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

RENILDES LÚCIO FERREIRA FONTES, filho de Rubens Resende Fontes e Cartrudes Ferreira Fontes, nasceu em 13 de Abril de 1957.

Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, em 1979.

Contratado em 1980, como Professor de Ensino da 2ª grau, pela Universidade Federal de Viçosa, transferindo-se em 1981 para o Departamento de Química, lotado como Auxiliar de Ensino.

Concluiu o curso de Pós-graduação, área de Solos e Nutrição Mineral de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, em 1985.

BIOGRAFIA

RENILDES LÚCIO FERREIRA FONTES, filho de Rubens Resende Fontes e Gertrudes Ferreira Fontes, nasceu em 13 de abril de 1957.

Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, em 1979.

Contratado em 1980, como Professor de Ensino do 2º grau, pela Universidade Federal de Viçosa, transferindo-se em 1981 para o Departamento de Química, lotado como Auxiliar de Ensino.

Concluiu o curso de Pós-graduação, área de Solos e Nutrição Mineral de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, em 1985.

2.2.1. Cobalto	10
2.2.2. Zinco	11
2.2.3. Interações Cobalto-Zinco e Outros Elementos	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Purificação da Água para Determinação das Substâncias	13
3.2. Recipientes e Equipamentos usados no Experimento	13
3.3. Purificação da Água	14
3.4. Reagentes Químicos e Métodos de Verificação	14
3.4.1. Método I	15
3.4.2. Método II	17

3.4.3. Método III	18
3.4.4. Purificação do Clorato Férrico	19
3.5. Soluções Nutricionais Utilizadas na Condução dos Experimentos	19
3.5.1. Solução A	20
3.5.2. Solução B	20
3.6. Escolha das Sementes e Produção das Mudas ..	21
3.7. Delineamento, Instalação e Condução do Ensaio.	21
3.8. Métodos de Análise da Matéria Seca Vegetal ..	23
3.9. Análises Estatísticas	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26

EXTRATO	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. As Fontes de Contaminação de Micronutrien- tes e os Recursos para sua Redução.....	4
2.1.1. Utensílios e Recipientes	4
2.1.2. Água e Areia	5
2.1.3. Reagentes Químicos	6
2.2. Sintomas de Deficiência de Cobre e Zinco e Suas Funções Nutricionais nas Plantas	10
2.2.1. Cobre	10
2.2.2. Zinco	11
2.2.3. Interações Cobre-Zinco e Outros Elemen- tos	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Purificação da Areia para Germinação das Se- mentes	13
3.2. Recipientes e Utensílios Usados no Experi- mento	13
3.3. Purificação da Água	14
3.4. Reagentes Químicos - Métodos de Purificação	14
3.4.1. Método I	15
3.4.2. Método II	17

3.4.3. Método III	18
3.4.4. Purificação do Cloreto Férrico	19
3.5. Soluções Nutritivas Utilizadas na Condução dos Experimentos	19
3.5.1. Solução X	20
3.5.2. Solução Y	20
3.6. Escolha das Sementes e Produção das Mudas ..	21
3.7. Delineamento, Montagem e Condução do Ensaio.	21
3.8. Métodos de Análise da Matéria Seca Vegetal..	23
3.9. Análises Estatísticas	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Deficiência de Cobre - Sintomas Visuais	26
4.2. Deficiência de Zinco - Sintomas Visuais	27
4.3. Matéria Seca e Concentrações de Cobre e de Zinco nas Plantas de Tomate	32
4.4. Interação Zinco - Fósforo	41
4.5. Interações Zinco-Enxofre e Zinco-Manganês...	44
4.6. Interações Cobre-Manganês, Cobre-Potássio e Cobre-Enxofre	47
5. RESUMO E CONCLUSÕES	49
BIBLIOGRAFIA	51
APÊNDICE	58

alinhamento experimental inicialmente casualizado com 5 tratamentos e 4 repetições, usando-se vasos plásticos de 3 litros como recipientes para cultivo das plantas em solução nutritiva.

Os três métodos de purificação de soluções permitiram a indução de sintomas de deficiência de cobre e zinco nas plantas de tomate, sendo que os sintomas mais severos para deficiência de zinco foram observados no tratamento com APDC, enquanto que nas plantas deficientes em cobre houve certa uniformidade na expressão dos sintomas, independentemente do método de purificação utilizado.

EXTRATO

FONTES, Renildes Lúcio Ferreira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 1986. *Purificação de Soluções Nutritivas para Indução de Deficiências de Zinco e Cobre em Plantas*. Professor Orientador: Pedro Henrique Monnerat. Professores Conselheiros: Roberto Ferreira de Novais e Antônio Taranto Goulart.

Foram testados 3 métodos de purificação de soluções nutritivas para indução de deficiência de cobre e zinco em plantas: adsorção de cobre e zinco com CaCO_3 , seguida de extração simultânea dos dois micronutrientes, com ditizona, em pH 5,0; adsorção com CaCO_3 , seguida de extração de cobre em pH 2,5 e zinco em pH 8,3, com ditizona; extração de cobre e zinco com pirrolidina ditiocarbamato de amônio (APDC) em pH 4,5. Compararam-se os três métodos de purificação de soluções, determinando-se qual deles proporcionou melhores resultados para cobre e para zinco, quais as diferenças entre a adsorção com CaCO_3 seguida de extração com ditizona e a extração com APDC, bem como comparou-se a extração simultânea de cobre e zinco com ditizona em pH 5,0, com a extração de cobre em pH 2,5 e de zinco em pH 8,3, com ditizona, após adsorção com CaCO_3 .

Um ensaio com plantas de tomate, tendo como fonte de nutrientes as soluções nutritivas purificadas pelos três métodos, foi conduzido em casa de vegetação, seguindo um

delineamento experimental inteiramente casualizado com 9 tratamentos e 4 repetições, usando-se vasos plásticos de 5 litros como recipientes para cultivo das plantas em solução nutritiva.

Os três métodos de purificação de soluções permitiram a indução de sintomas de deficiência de cobre e de zinco nas plantas de tomate, sendo que os sintomas mais severos de deficiência de zinco foram observados no tratamento com APDC, enquanto que nas plantas deficientes em cobre houve certa uniformidade na manifestação dos sintomas, independentemente do método de purificação utilizado.

Além dos sintomas de deficiência observados, a análise da matéria seca, das plantas de tomate, mostrou interações entre zinco e cobre, zinco e fósforo, zinco e enxofre, zinco e manganês, cobre e manganês, e cobre e potássio.

1. INTRODUÇÃO

A deficiência mineral de micronutrientes em plantas constitui campo pouco explorado, se comparado com a área relativa aos trabalhos desenvolvidos com macronutrientes. Esse fato torna-se ainda mais evidente, quando se faz referência a cobre e zinco.

Pode-se atribuir este fato às dificuldades encontradas, quando se faz pesquisa com nutrientes exigidos em quantidades mínimas para o desenvolvimento das plantas.

São inúmeros os fatores que podem interferir em experimentos envolvendo zinco e cobre, visto que as concentrações desses nutrientes, exigidas para suprir as carências das plantas, são em níveis reduzidos.

Os trabalhos, visando deficiências de micronutrientes em solução nutritiva, exigem cuidados no sentido de se impedir que agentes contaminantes gerem problemas que possam comprometer os resultados experimentais.

A água necessária à condução do experimento, os frascos e recipientes usados durante o trabalho e os sais que fornecem os nutrientes para as plantas, são as principais fontes de contaminação de micronutrientes (STOUT e ARNON, 1939; MITCHELL, 1960). A atmosfera constitui também uma possível fonte de contaminação que pode dificultar as pesquisas com micronutrientes (HEWITT e SMITH, 1975).

O controle de todos os fatores adversos, que possam interferir nos resultados, é condição fundamental para se lograr êxito na obtenção de deficiência de cobre e de zinco. O aparecimento dos sintomas, na planta, fornece subsídios para se avaliar a eficiência em se controlar tais fatores.

Explica-se, assim, o maior número de trabalhos envolvendo deficiência de macronutrientes em relação a seus similares na área de micronutrientes.

O presente trabalho teve por objetivo testar diferentes métodos de purificação de soluções nutritivas, no sentido de se desenvolverem pesquisas com indução de deficiência de cobre e de zinco em plantas. Procurou-se, também, caracterizar e descrever os sintomas causados pela deficiência desses dois micronutrientes na cultura de tomate, bem como estudar as possíveis interações entre cobre e zinco, e de cada um deles com outros nutrientes, na referida cultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os termos macronutrientes e micronutrientes foram sugeridos por Loomis e Shull (1937), passando a ser usados como terminologia padrão, por sugestão de Arnon (1938), citados por HEWITT e SMITH, 1975.

A importância dos micronutrientes, que são elementos que atuam em quantidades mínimas, é reconhecida desde o final do século passado (HEWITT e SMITH, 1975). A necessidade do zinco para as plantas superiores foi primeiro demonstrada por Mazé (1914), citado por HEWITT e SMITH (1975), enquanto que o cobre teve sua confirmação como elemento essencial por SOMMER (1928) e LIPMAN e MACKINNEY (1931).

Alguns autores (STOUT e ARNON, 1939; STOUT, 1956; HEWITT, 1966; HEWITT e SMITH, 1975), citam as dificuldades que se enfrentam, quando se trabalha com deficiência de micronutrientes, devido à facilidade de contaminação do meio com o micronutriente que se quer estudar. Especificando mais o problema, MITCHELL (1960) chama a atenção para o fato de que a contaminação, em trabalhos com solos e plantas, deve ser considerada sob o aspecto físico (contaminação das superfícies das amostras que aparece durante a amostragem, antes de se realizar qualquer procedimento analítico), e sob o aspecto químico (contaminação no laboratório, que pode ocorrer advinda dos procedimentos analíticos indispensáveis ao trabalho).

Os trabalhos com soluções nutritivas têm, como fontes de contaminação de micronutrientes, o material utilizado como água, areia, recipientes, sais minerais, sementes e a atmosfera, por meio da poeira, substâncias voláteis, aeração, ou simples exposição de raízes (STOUT e ARNON, 1939; HEWITT e SMITH, 1975).

2.1. As Fontes de Contaminação de Micronutrientes e os Recursos para sua Redução

2.1.1. Utensílios e Recipientes

O vidro pirex e o plástico polietileno de baixa densidade, incolor e sem revestimento, são destacados como os recipientes mais apropriados aos trabalhos com micronutrientes. O primeiro, quando apresenta o código CORNING 7740, está livre de zinco e cobre, contendo, porém, boro e o segundo, dependendo de como é fabricado, pode apresentar estearato de zinco. Entretanto, deve-se chamar a atenção para a presença, no polietileno colorido, de aditivos (substâncias minerais que conferem ao plástico textura, firmeza, resistência à deterioração etc.) que são responsáveis, dependendo de sua coloração, por contaminações com zinco, cobre, cobalto, manganês, molibdênio e outros metais, contaminantes estes que podem estar presentes também em recipientes constituídos de P.V.C. (MITCHELL, 1960; HEWITT, 1966; HEWITT e SMITH, 1975; VIDROS CORNING BRASIL LTDA., 1976).

Utensílios de borracha devem ser usados com cuidado visto que este material pode conter zinco. Esta possibilidade é sugerida por MITCHELL (1960) que, com a substituição de rolhas de borracha, de frascos para análise de solos por tampas de polietileno conseguiu reduzir o nível de zinco, nos extratos do solo, de 15 ppm para menos que 5 ppm.

Todos os utensílios e recipientes devem ser previamente lavados para se assegurar a ausência de zinco e de cobre. Para isso, recomenda-se lavar a vidraria com HCl comer

cial diluído na proporção de 1:1 (STOUT e ARNON, 1939). Já para o material plástico, é recomendada uma lavagem inicial com detergente, seguindo-se o uso de solução de HCl 1:1 a quente (HEWITT e SMITH, 1975). Também é indicado o uso de solução de HCl 1:1, a quente, para todo o material usado, tanto de vidro como de plástico (WALLIHAN e BRADFORD, 1977). É importante ressaltar que após lavado o material, é necessário que este seja enxaguado repetidas vezes com água desionizada.

2.1.2. Água e Areia

Os trabalhos com culturas em solução nutritiva exigem grande volume de água, devido à transpiração das plantas, havendo necessidade de reposição diária da quantidade consumida, o que faz da água uma possível fonte de contaminação de cobre e zinco, além de outros metais (STOUT e ARNON, 1939).

A água, purificada por destilação, pode conter contaminantes provenientes do material de que é feito o destilador, visto que, destiladores de vidro pirex podem introduzir boro, do mesmo modo que os de polietileno contaminam a água com sódio, enquanto que aqueles, nos quais os recipientes onde se faz a ebulição são revestidos de cobre, constituem fontes de alta contaminação de zinco e de cobre o que não ocorre para ferro, manganês e cloro (STOUT e ARNON, 1939; HEWITT e SMITH, 1975). Por outro lado, a água desionizada, purificada através de colunas de resinas trocadoras de ions, utilizada inicialmente por LIEBIG *et alii* (1943), facilitou a condução de trabalhos com micronutrientes, o que é confirmado por HEWITT (1966), CHUDE e OBIGESAN (1983), MCKENZIE e SOPER (1983), RUFNER e BARKER (1984) e OHKI (1984) que desenvolveram, com êxito, trabalhos envolvendo deficiência de micronutrientes, notadamente o zinco, utilizando água desionizada para suprir a necessidade das plantas.

A purificação da areia, para remoção do cobre e do zinco, pode ser feita tratando-a com solução ácida por dois

dias, solução básica por um dia e novamente solução ácida por um dia (HEWITT, 1966), entretanto, se a quantidade de areia necessária é pequena esta poderá ser tratada com solução de ácido clorídrico a 18% e ácido oxálico a 1%, a quente, em recipientes de vidro pirex, devendo-se, em seguida, lavar a areia com água e solução básica para eliminar o excesso de acidez remanescente do tratamento (HEWITT e SMITH, 1975).

2.1.3. *Sais Minerais*

Os sais minerais, usados no preparo das soluções nutritivas, estão freqüentemente contaminados com micronutrientes, sendo que, às vezes, produtos químicos considerados puros podem conter maior nível de contaminação do que fertilizantes e reagentes comerciais mais grosseiros, fazendo com que as soluções desses sais contenham alguns micronutrientes, especificamente cobre, zinco, manganês e molibdênio, em níveis suficientes para suprir as necessidades das plantas, chegando às vezes a atingir níveis tóxicos (STOUT e ARNON, 1939; MITCHELL, 1960; HEWITT e SMITH, 1975; WALLIHAN e BRADFORD, 1977).

A contaminação presente, nos fosfatos, geralmente, é maior, quando comparada com a dos nitratos. Já sais de magnésio parecem conter mais contaminantes que os de potássio (HEWITT, 1966). Por outro lado, os compostos de ferro são freqüentemente citados como possíveis fontes de contaminação de cobre, zinco e outros metais (HEWITT e SMITH, 1975) sendo que WALLIHAN e BRADFORD (1977) citam os sais de ferro como importante fonte de zinco.

A detecção das impurezas presentes nos produtos químicos é, muitas vezes, difícil de ser feita, apesar de existirem em níveis suficientes para causar interferências em trabalhos com micronutrientes. Torna-se necessário, então, a aplicação de técnicas específicas para sua remoção, técnicas estas que evitem o uso de substâncias tóxicas que não possam

ser prontamente removidas, tenham simplicidade, segurança e facilidade de aplicação, e sejam facilmente reprodutíveis (HEWITT, 1966; HEWITT e SMITH, 1975).

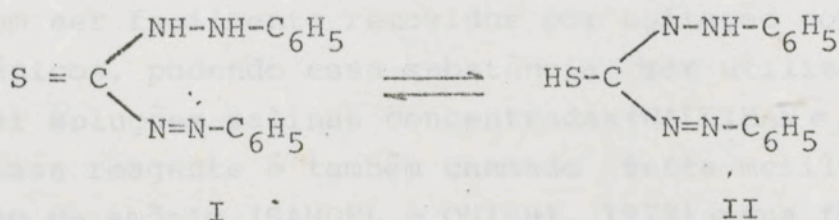
O padrão de pureza adequado aos trabalhos envolvendo deficiência de micronutrientes, em plantas superiores, requer a utilização de métodos especializados de purificação dos sais minerais. Os mais freqüentemente utilizados são a precipitação ou recristalização, a adsorção com carbonatos e fosfatos de metais alcalinos terrosos, a coprecipitação com reagentes orgânicos e sulfetos, a extração com solventes imiscíveis e a adsorção com resinas de troca iônica. Sabe-se que diferentes grupos de íons requerem para sua remoção métodos distintos de purificação, e que a obtenção de reagentes livres de todos os micronutrientes é uma tarefa difícil e laboriosa, justificando-se apenas em casos especiais, ressalte-se ainda o fato de que o cobre e o zinco podem ser removidos do meio ao mesmo tempo usando-se uma única técnica de purificação (HEWITT, 1966; HEWITT e SMITH, 1975).

A adsorção de traços metálicos a carbonato de cálcio foi inicialmente usada para purificar reagentes e serem utilizados em trabalhos com fungos (STEINBERG, 1935). A sua aplicação em experimentos com plantas foi feita após algumas modificações no método original, por STOUT e ARNON (1939) e mais tarde por LYON *et alii* (1943) que purificaram, com bons resultados, soluções nutritivas para estudo de deficiências de micronutrientes. Especificamente em relação a cobre e zinco, HEWITT e SMITH (1975) citam que esse método tem eficiência de 90 a 95%.

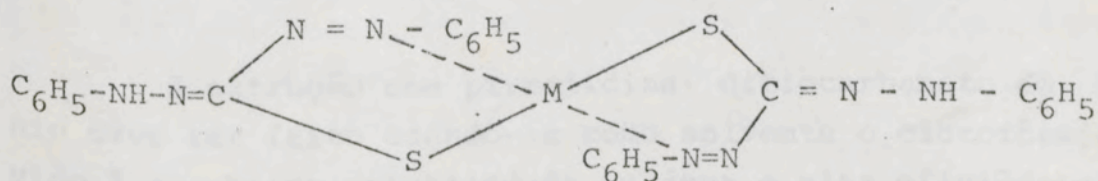
O uso de substâncias orgânicas complexantes para purificar soluções nutritivas foi feito por Piper (1942), citado por HEWITT e SMITH (1975). Ele extraía zinco e cobre com o extrator ditizona. REUTER *et alii* (1982), com o mesmo extrator, conseguiram induzir deficiência de zinco em plantas de trevo, leguminosa usada como pastagem na Austrália. Na estação de pesquisa de Long Asthon, Inglaterra, essa extração foi usada após a adsorção de zinco e cobre a carbonatos e fosfatos (HEWITT e SMITH, 1975).

A difeniltiocarbazona ou ditizona é um composto orgânico, cristalino de coloração violeta-escuro, peso molecular 256,3, solúvel em solventes orgânicos, soluções diluídas de amônio, insolúvel em água e soluções ácidas diluídas. É usada em aplicações analíticas, dissolvida em clorofórmio (CHCl_3) ou tetracloreto de carbono (CCl_4). Apresenta a cor verde em meio ácido e amarela em meio básico (MORRISON e FREISER, 1957; SANDEL e ONISHI, 1978). Sua reação com metais pesados forma complexos de coloração púrpura ou vermelha, muito solúveis em clorofórmio e tetracloreto de carbono e pouco solúveis em água (STOUT, 1956).

A molécula de ditizona apresenta um tautomerismo em que duas estruturas ficam em equilíbrio, sendo que cada estrutura pode formar um complexo metálico (SANDEL e ONISHI, 1978). O equilíbrio tautomérico é representado pelas estruturas:



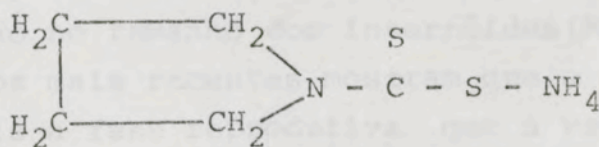
Os complexos metálicos formados pela estrutura I são mais estáveis e mais solúveis em solventes orgânicos, tendo assim maior utilidade analítica (MORRISON e FREISER, 1957). O modelo desses complexos formados por cátions metálicos bivalentes (M) (SANDEL e ONISHI, 1978) é representado por:



A ditizona forma complexos com zinco, cobre, níquel, cobalto, chumbo, mercúrio, tálio, bismuto e outros metais. Quanto aos dois primeiros, a extração de ditizonatos de

cobre é mais fácil e apresenta melhores resultados que a extração de ditizonatos de zinco (STOUT e ARNON, 1939; MORRISON e FREISER, 1957; SANDEL e ONISHI, 1978). Para extração simultânea de zinco e cobre, o pH do meio deve estar ajustado em 5,0 e deve-se utilizar solução de ditizona 0,005% em clorofórmio (CHCl_3). Por outro lado, é possível extrair o cobre em pH 2,5 e o zinco em pH 8,3, sendo necessário solução de ditizona 0,0013% e presença de tampão de citrato de amônio para o zinco (MORRISON e FREISER, 1957; HEWITT, 1966). Outra possibilidade é a extração do zinco, na faixa de pH entre 4,0 e 5,0, com solução de ditizona 0,001% em tetracloreto de carbono (CCl_4), ou na faixa de 6,0 a 9,5 usando-se solução mais concentrada do complexante, enquanto que o cobre pode ser extraído na faixa de pH entre 1,0 e 4,0 (MORRISON e FREISER, 1957; STARY, 1964; DE *et alii*, 1970; FRIES, 1971).

Outro reagente orgânico capaz de complexar zinco e cobre é a pirrolidina ditiocarbamato de amônio cujos complexos podem ser facilmente removidos por agitação com solventes orgânicos, podendo essa substância ser utilizada para purificar soluções salinas concentradas (WALLIHAN e BRADFORD, 1977). Esse reagente é também chamado tetra metilenoditiocarbamato de amônio (SANDEL e ONISHI, 1978) e sua fórmula molecular descrita por MALISSA e SCHOFMANN (1955) é representada por:



A extração com pirrolidina ditiocarbamato de amônio deve ser feita usando-se como solvente o clorofórmio, devido à sua baixa solubilidade em água e alta eficiência em extrair a maior parte dos ditiocarbamatos metálicos. Para cobre, zinco, níquel, chumbo, cobalto, cádmio, manganês e ferro a faixa de pH ideal para extração está entre os valores 4,0 e 6,0 (LO *et alii*, 1982). Além desses metais, vários

outros podem ser extraídos, variando-se o solvente utilizado e o pH de extração (Malissa e Gomiscek, 1959, citados por STARY, 1964; Malissa e Gomiscek, 1962 citados por DE *et alii*, 1970).

2.2. Sintomas de Deficiência de Cobre e Zinco e suas Funções Nutricionais nas Plantas

2.2.1. Cobre

O nível normal de concentração de cobre em tecidos vegetais está entre 5,0 e 20 ppm, valores abaixo de 4,0 ppm, na matéria seca, resultam em sinais de deficiência; por outro lado, a elevação acima de 20 ppm pode causar toxidez (JONES, 1973).

Os sintomas de deficiência de cobre, na cultura do tomate, se caracterizam, em termos visuais, pelo tamanho reduzido das folhas, margens das lâminas foliares encurvadas para cima, folhas cloróticas que em seguida ficam bronzeadas, pecíolos flexíveis, formando ângulos anormais com o caule, podendo aparecer uma coloração verde cinza que atinge a planta inteira, seguindo-se clorose das folhas baixas e escurecimento junto às nervuras (REED, 1939; LYON *et alii*, 1943). Para diferentes culturas, de modo geral, esses sintomas se manifestam pela troca de coloração da folhagem que fica verde-cinza ou verde azulado, ocorrendo tombamento das folhas e redução no tamanho dos internódios (NELSON *et alii*, 1956). Trabalhos mais recentes mostram que a deficiência do cobre afeta mais a fase reprodutiva que a vegetativa sendo que, para os cereais, há efeito sobre a viabilidade do grão de pólen e, mais especificamente para o trigo, são produzidas sementes estéreis (GRAHAN, 1975; MIZUNO, 1982; MENGEL e KIRKBY, 1982; MIZUNO *et alii*, 1983).

O cobre atua no metabolismo das plantas ativando enzimas que dele são dependentes e participando de reações da fotossíntese. A oxidase do ácido ascórbico, a carboxilase da ribulose difosfato e a tirosinase são algumas das enzimas

dependentes do cobre (CAMARGO e SILVA, 1975; HEWITT e SMITH, 1975; MALAVOLTA, 1980; MENGEL e KIRKBY, 1982). Deficiência de cobre pode inibir o funcionamento da cadeia de transporte de elétrons, causando também redução na quantidade do CO_2 fixado pela fotossíntese. Afeta, também, a ação da polifenol oxidase que está ligada à síntese de lignina (Bottrill *et alii*, 1970, citados por HORWARTH *et alii*, 1983, MENGEL e KIRKBY, 1982; HORWARTH *et alii*, 1983). A provável explicação para a necessidade de cobre na cadeia de transporte de elétrons, da fotossíntese, está ligada à descoberta da plastocianina e da participação do cobre nas proteínas dos cloroplastos (Kato, 1960; Barver, 1979, citados por HORWARTH, 1983).

2.2.2. Zinco

Para a maioria das plantas, a concentração de zinco, nas folhas, é considerada normal quando está entre 25 e 150 ppm. A deficiência ocorre, quando a concentração, na matéria seca, é inferior a 20 ppm, surgindo a toxidez com concentrações superiores a 400 ppm (JONES, 1973).

Os sintomas visuais de deficiências de zinco, na cultura de tomate, iniciam-se com uma clorose entre as nervuras das folhas basais, aparecendo uma coloração avermelhada nas nervuras das folhas mais velhas; todas as folhas apresentam curvatura para baixo, surgindo manchas escuras nos pecíolos e limbos foliares, ao mesmo tempo que aparecem pontos necróticos na superfície foliar; as raízes se mostram pouco desenvolvidas e de cor castanho-escura, o tecido cortical, xilema e floema apresentam-se castanhos, havendo morte dos brotos apicais (REED, 1939; LYON *et alii*, 1943, FAWCETT e ORMROD, 1975; WALLIHAN e BRADFORD, 1977). Para outras culturas, como sorgo e arroz, aparecem clorose internervais localizadas junto à nervura principal, manchas avermelhadas entre as nervuras e nas bordas das folhas, e pontos necróticos nas bainhas (GANGWAR e CHANDRA, 1976; OHKI, 1984).

O zinco participa do metabolismo vegetal por meio de enzimas como a anidrase carbônica que dele depende para atuar metabolicamente (HEWITT e SMITH, 1975) ou como componente essencial de desidrogenases, peptidases e proteinases (Valbe e Wacker, 1970, citados por PRICE *et alii*, 1973). A síntese do triptôfano, precursor do ácido indol acético, é outro processo dependente do zinco, existindo evidências também, de que o elemento atua no metabolismo do nitrogênio (MALAVOLTA, 1980; MENGEL e KIRKBY, 1982).

2.2.3. Interações Cobre-Zinco e Outros Elementos

A absorção de zinco e cobre se faz de modo competitivo, em áreas deficientes nos dois micronutrientes. A aplicação de zinco deve ser cuidadosa, pois quantidade maior que a recomendada pode causar deficiência de cobre; isto é evidenciado pelo fato de que diferentes espécies vegetais podem apresentar diferentes seletividades na absorção dos íons cobre e zinco (SCHMID *et alii*, 1965; BOWEN, 1969; Gilbey *et alii*, 1970, citados por OLSEN, 1973; AULIO e OJALA, 1983; CHUDE e OBIGBESAN, 1983).

Para diferentes culturas, zinco e fósforo interagem de forma negativa, o mesmo ocorrendo entre zinco e ferro, podendo-se observar também as interações negativas zinco-nitrogênio e zinco-manganês (BURLESON *et alii*, 1961; ROSELL e ULRICH, 1964; STUKENHOLTZ *et alii*, 1966; BURLESON e PAGE, 1967; SHARMA *et alii*, 1968; LEE *et alii*, 1969; ADRIANO *et alii*, 1971; Terman *et alii*, 1972; OLSEN, 1973; WALLACE *et alii*, 1976; McKENZIE e SOPER, 1983; RUFNER e BARKER, 1984).

O fornecimento de nitrogênio à planta pode interferir negativamente na atuação do cobre, dificultando sua ação metabólica. A deficiência de cobre, porém, não afeta diretamente o metabolismo do nitrogênio ou a síntese de proteínas (GILBERT, 1950). Quanto ao fósforo e ao manganês, cita-se uma interação negativa entre esses nutrientes e o cobre (LANDI e FAGIOLI, 1983; VARVEL, 1984).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. *Purificação da Areia para Germinação das Sementes*

Em 2 copos de Griffin, de 5 litros, foram medidos cerca de 3 litros de areia lavada, em cada copo. Adicionou-se solução de ácido clorídrico comercial 1:1, contendo ácido oxálico a 1% em peso por volume, até que toda a areia ficassem submersa. O material foi aquecido até a fervura, ficando em ebulição durante 1 hora. Após o resfriamento, a areia permaneceu em repouso por 12 horas, sendo então lavada com água desionizada até que o pH atingisse o valor 4,0. Neste ponto, adicionou-se solução de Ca(OH)_2 P.A. 0,001 M, deixando-se em repouso por 12 horas, lavando-se, em seguida, com água desionizada até que o pH, na areia, atingisse o valor 6,0.

3.2. *Recipientes e Utensílios Usados no Experimento*

Toda a vidraria utilizada no trabalho foi do tipo pirex. O material plástico utilizado foi o usualmente empregado em trabalhos com solução nutritiva.

A purificação das soluções estoque foi feita em utensílios de vidro pirex. Foram usados recipientes plásticos, da marca FLEX-A Carioca, de 5 litros de capacidade para o crescimento das plantas. As diluições das soluções

estoque foram feitas em recipientes plásticos de 60 litros.

As sementes germinaram em areia purificada, em bandejas de plásticos perfuradas, revestindo-se o fundo com telas plásticas.

As tampas usadas nos recipientes, que serviam de suporte para as plantas, foram de isopor, recobertas com papel alumínio. Os recipientes plásticos foram pintados com tinta metálica.

Todos os recipientes foram previamente lavados com solução de HCl 1:1. A vidraria, utilizada na purificação e armazenamento das soluções estoque, foi lavada com HCl P.A., enquanto que os recipientes, usados para crescimento de plantas e diluição de soluções, foram lavados com HCl comercial. Invariavelmente, o material foi lavado duas vezes com a solução ácida e, em seguida, enxaguado quatro ou cinco vezes com água desionizada.

3.3. *Purificação da Água*

Toda a água utilizada no experimento foi desionizada. A purificação da água foi feita através de um desmineralizador da marca DEION-TEC, constituído de um pré filtro de celulose, destinado a reter os sólidos suspensos na água, e de duas colunas trocadoras de íons. O aparelho desmineralizador foi alimentado com água da rede urbana sem sofrer nenhuma purificação prévia no laboratório. O armazenamento da água desionizada era feito em recipientes de plástico.

3.4. *Reagentes Químicos - Métodos de Purificação*

As soluções estoque de macronutrientes foram submetidas a técnicas de purificação para remover zinco e cobre. As soluções estoque de micronutrientes, com exceção da solução de cloreto férrico, não sofreram nenhum tipo de purificação.

3.4.1. Método I

As soluções de KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, MgSO_4 e $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ foram purificadas por adsorção com CaCO_3 (STOUT e ARNON, 1939) seguido de extração com ditizona (HEWITT, 1966), como descrito a seguir:

1 - Adsorção com CaCO_3

- a - Em um frasco "erlenmeyer" de 4 litros, foram colocados 2 litros de solução 1M de KNO_3 , 26g de CaCO_3 sólido e 20ml de solução 1M de K_2HPO_4 .
- b - Repetiu-se o procedimento do item "a" para 2 litros de solução 1M de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, em outro frasco "erlenmeyer" de 4 litros.
- c - Foram adicionados 10ml de solução 1M de K_2HPO_4 , 10ml de solução 1M de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ e 13g de CaCO_3 sólido a 1 litro de solução 1M de MgSO_4 , em um frasco "erlenmeyer" de 2 litros.
- d - Adicionaram-se 13g de CaCO_3 sólido e 5ml de solução 1M de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ a 1 litro de solução 1M de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, contido em um frasco "erlenmeyer" de 2 litros.

Os quatro frascos foram tampados com chumaços de algodão, colocados bem aderidos, por pressão, aos gargalos dos mesmos. Foram agitados energicamente e levados à autoclave onde permaneceram, durante 1 hora, à temperatura de 120°C e à pressão de 1,4 atm. Após resfriamento, os frascos permaneceram em repouso por 12 horas. Fez-se filtração a vácuo das misturas, sendo os filtrados armazenados em frascos "erlenmeyer" de vidro pirex. A solução de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ foi acidificada com HNO_3 concentrado, ajustando-se o pH para 5,5, para que íons HPO_4^{2-} passassem a íons H_2PO_4^- que é a forma iônica preferencialmente absorvida pelas plantas. Não se utilizou o sal $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ diretamente porque este não pode ser tratado

pela adsorção com CaCO_3 . Para a solução de MgSO_4 foram adicionados, antes de se fazer a extração com ditizona, 10ml de solução tampão de citrato de amônio por litro de solução, para prevenir a precipitação de fosfatos (STOUT e ARNON, 1939).

2 - Extração com Ditizona

A extração simultânea de cobre e zinco, com ditizona, foi feita em pH 5,0 (HEWITT, 1966). Usou-se HNO_3 concentrado para ajustar o pH da solução de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, HNO_3 1M para as soluções de KNO_3 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ e H_2SO_4 1M para a solução de MgSO_4 .

a - Preparo da solução de ditizona

Dissolveram-se 200mg de ditizona em 100ml de clorofórmio (CHCl_3), em frasco "erlenmeyer" de 250ml. Transferiu-se a solução de ditizona para um funil de separação de vidro pirex, de 500ml, adicionaram-se 50ml de solução 0,02N de NH_4OH . Agitou-se por 2 minutos e recolheu-se a fase aquosa em copo de Griffin. Repetiu-se a adição de NH_4OH por mais três vezes, ajuntando-se os extratos aquosos em um funil de separação de 500ml. Adicionaram-se 100ml de CHCl_3 e 5ml de solução de HCl 1N, agitou-se por 2 minutos, descartou-se a fase aquosa e tratou-se a fase orgânica com 50ml de água desionizada sob agitação por 2 minutos. Após a separação das fases, a fração orgânica foi armazenada para uso. O frasco foi guardado em ambiente protegido de luz e calor. Para se fazerem as extrações de cobre e zinco, a solução foi diluída na proporção de 1 para 20, com clorofórmio. Essa solução permanece estável por 4 semanas (FRIES, 1971).

b - Extração de cobre e zinco com ditizona

A extração foi feita, tomando-se 1 litro de cada solução estoque, separadamente, em funil de separação de 2 litros.

Colocou-se 1 litro da solução estoque no funil de separação, adicionaram-se 100ml da solução extratora de ditizona e agitou-se vigorosamente por 5 minutos. Se a fase orgânica apresentasse coloração verde esta era descartada e a solução estoque armazenada para uso. Coloração violeta ou vermelha, na fase orgânica, indicava presença de cobre ou zinco, devendo a operação ser repetida até que a coloração se apresentasse verde.

Soluções previamente preparadas com concentrações inferiores a 0,001 ppm de íons cobre mostraram, após extrações com ditizona, fases orgânicas verdes. O mesmo observou-se em soluções com menos que 0,001 ppm de íon^z zinco. A eficiência de extração foi confirmada determinando-se, após as purificações, as concentrações de cobre e zinco, nas soluções estoque, de acordo com HOLMES (1945).

3.4.2. Método II

O método II foi semelhante ao método I, modificando-se o pH de extração. Neste caso, foi feita a remoção de cada metal, separadamente para cada solução estoque.

Para extração do cobre, ajustou-se o pH das soluções para 2,5 (MORRISON e FREISER, 1957; DE *et alii*, 1970), com HNO_3 concentrado, HNO_3 1M e H_2SO_4 1M e procedeu-se às extrações, como especificado no método I.

O zinco foi removido, por extração, em pH 8,3, em presença de 10ml de solução tampão de citrato de amônio por litro (MORRISON e FREISER, 1957), para todas as soluções salinas, seguindo-se a marcha descrita pelo método I. Para soluções em que o pH estava baixo, usou-se solução de NaOH 1M para ajustá-lo em 8,3.

Após as extrações, as soluções estoque ficaram armazenadas, separadamente, em frascos de vidro pirex.

3.4.3. Método III

As extrações de cobre e zinco foram feitas com o reagente pirrolidina ditiocarbamato de amônio, usando-se como solvente o clorofórmio (CHCl_3).

Como fontes de macronutrientes foram preparados: 1 litro de solução de KNO_3 2,5M, 1 litro de solução de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 4,0M, 1 litro de solução de MgSO_4 2,0M e 1 litro de solução de KH_2PO_4 1,0 M.

O pH das soluções foi ajustado para 4,5, usando-se HNO_3 concentrado e HNO_3 1M para as soluções de KH_2PO_4 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, respectivamente, e H_2SO_4 1M para a solução de MgSO_4 . Para a solução de KNO_3 usou-se HNO_3 1M.

A solução extratora foi preparada, dissolvendo-se 10mg de pirrolidina ditiocarbamato de amônio (APDC) em 100ml de clorofórmio (CHCl_3) (WALLIHAN e BRADFORD, 1977).

A extração foi feita em funil de separação de 2 litros seguindo-se as etapas:

a - Colocou-se no funil 1 litro da solução estoque a ser purificada e adicionou-se, em seguida, 100ml da solução extratora.

b - O funil foi agitado fortemente por 5 minutos, esperando-se a separação das fases, orgânica e aquosa.

c - A fase orgânica (CHCl_3 + complexos organometálicos) foi descartada, restando-se a fase aquosa.

d - Adicionou-se mais 100ml de CHCl_3 , agitando-se por 5 minutos. Após a separação das fases, descartou-se a fase orgânica armazenando-se a solução do sal já purificada.

Esse procedimento foi feito para as soluções-estoque dos quatro sais, modificando-se apenas para o nitrato de cálcio. A solução desse sal em contato com a solução extratora fez com que a fase orgânica ficasse na parte superior do funil de separação. A adição de 50ml de água desionizada, seguida de agitação por 2 minutos, normalizou o sistema, mantendo a fase orgânica no fundo e a solução salina na superfície.

do funil de separação. Descartou-se a fase orgânica, armazenando-se a solução estoque do sal.

Completada a purificação, as soluções de macronutrientes foram armazenadas em frascos de vidro pirex.

3.4.4. Purificação do Cloreto Férrico

A solução estoque de Fe - EDTA foi preparada com o cuidado de se remover o zinco presente no cloreto férrico.

A solução de FeCl_3 foi preparada dissolvendo-se 5,4g do sal em 50ml de solução 0,5 N de HCl . Esta solução foi passada através de uma resina de troca aniônica de marca DOWEX 1 X-8 (50-100 mesh), que tem a característica de reter o zinco, quando este está presente em solução de HCl 0,5N (KRAUS e MOORE, 1953; RUSH e YOE, 1954; WALLIHAN e BRADFORD, 1977).

A resina DOWEX 1 X-8 foi previamente preparada e ativada de acordo com o procedimento descrito por COOPER (1977) e o empacotamento da coluna seguiu o procedimento descrito por KRAUS e MOORE (1953).

A solução do agente quelante foi preparada dissolvendo-se 7,4g de Na_2EDTA em 200ml de água desionizada.

Adicionando-se a solução de FeCl_3 purificada à de Na_2EDTA , em balão volumétrico de 500ml e completando-se o volume com água desionizada, obteve-se a solução estoque de Fe-EDTA. O balão volumétrico foi recoberto com papel alumínio para proteger o reagente contra a luz.

3.5. Soluções Nutritivas Utilizadas na Condução dos Experimentos

Dois tipos de soluções nutritivas foram utilizadas como fontes de nutrientes para as plantas.

3.5.1. Solução X

A solução X foi formulada de acordo com Arnon (1938), citado por HEWITT (1966).

Macronutrientes

- KNO_3 6mM
- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 4mM
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2mM
- $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 1mM

Micronutrientes

- $(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{EDTA})$ 40 μM
- NaCl 50 μM
- H_3BO_3 25 μM
- $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 2 μM
- H_2MoO_4 (85% MoO_3) 0,5 μM
- ZnCl_2 2 μM
- $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,85 μM

3.5.2. Solução Y

A solução Y foi formulada de acordo com Hoagland e Snyder (1933), citados por WALLIHAN e BRADFORD (1977), modificando-se a concentração da solução de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

Macronutrientes

- KNO_3 5mM
- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 4mM
- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 2mM
- KH_2PO_4 1mM

Micronutrientes

Usou-se a mesma formulação especificada para a solução do item 3.5.1.

3.6. Escolha das Sementes e Produção das Mudas

No ensaio com plantas, foi utilizada a cultura do tomate (*Lycopersicon sculentum*, Mill), cv. Kada.

A areia previamente tratada, como descrito no item 3.1., foi colocada em bandejas plásticas com orifícios para facilitar a drenagem e o arejamento.

Após se fazer a semeadura, a areia foi bem molhada com água desionizada e toda a superfície foi coberta com folha de jornal. Foram usadas sementes, da variedade Santa Cruz "Kada", tratadas com Captan a 0,2%. O Captan é um fungicida de fórmula $C_9H_8Cl_3NO_2S$ e nomenclatura N(triclorometil-tio)-4-ciclohexeno-1,2-dicarboximida.

Dois dias após a semeadura, fez-se irrigação com solução nutritiva "X", preparada de acordo com o especificado no item 3.5.1., com concentração igual a 1/3 da original e em ausência de zinco e cobre. Após a emergência, as plantinhas foram irrigadas com a solução nutritiva "X", isenta de cobre e zinco, de dois em dois dias.

O transplântio, para os vasos com solução nutritiva, foi feito, quando as mudas estavam com cerca de 5cm de altura. As mudas foram cuidadosamente retiradas da areia, seus sistemas radiculares foram lavados e enxaguados com água desionizada em abundância, sendo, em seguida, transferidas para os vasos com solução nutritiva.

3.7. Delineamento, Montagem e Condução do Ensaio

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa,

no período de dezembro de 1984 a fevereiro de 1985.

Durante o trabalho experimental, foram feitas frequentes observações das plantas, no sentido de se observar o aparecimento de sintomas característicos de deficiência de zinco e de cobre. Eram feitas anotações procurando-se detalhar ao máximo esses sintomas, além de se tirar fotografias para uma melhor caracterização e descrição dos mesmos.

As plantas foram colocadas em solução nutritiva no dia 05.01.85. As mudas foram obtidas como especificado no item 3.6.

O experimento foi montado de acordo com o delineamento inteiramente casualizado com 9 tratamentos e 4 repetições em que foram testadas a extração simultânea de cobre e zinco com ditizona, a extração dos dois elementos, em separado, com ditizona e a extração de cobre e zinco com pirrolidina ditiocarbamato de amônio (APDC). No caso de extração com ditizona, as soluções foram inicialmente submetidas à precipitação e adsorção com CaCO_3 .

Nos tratamentos referentes à adsorção com CaCO_3 e extração com ditizona, utilizou-se, como fonte de nutrientes, a solução "X", formulada de acordo com o descrito no item 3.5.1. Nos tratamentos referentes à extração com APDC, foi utilizada a solução "Y" preparada, seguindo-se descrição do item 3.5.2.

Antes de se fazerem as diluições das soluções estoque submetidas aos processos de purificação, estas foram aquecidas para eliminação do clorofórmio remanescente da técnica utilizada para remoção do zinco e do cobre. As soluções foram aquecidas em copos de Griffin de vidro pirex, até que seu volume fosse reduzido a 2/3 do inicial. Para manter o volume, as soluções, nos copos de Griffin, eram pesadas antes do aquecimento, e, após o mesmo, os volumes eram completados até que os pesos atingissem seus valores iniciais. As soluções estoque foram aquecidas pouco antes da diluição.

Cada recipiente plástico, de 5 litros, recebeu uma plantinha de tomate, constituindo assim uma unidade experimental.

O arejamento foi feito por tubos plásticos, ligados a um tubo maior que, por sua vez, estava ligado ao compressor que fornecia o ar passando-o, inicialmente, por um filtro. Na extremidade do tubo plástico em contato com a solução nutritiva, foi colocado um bloco poroso do tipo usado em aquário. Esse arejamento foi contínuo, durante todo o experimento.

O pH das soluções foi ajustado em 6,0 e corrigido, para este valor, diariamente, com HCl 1N e 0,1N ou NaOH 1N e 0,1N.

O nível da solução nos vasos foi mantido a cerca de 1,5cm do nível máximo e, sempre que necessário, o volume era completado com água desionizada.

Foram feitas pulverizações com o inseticida AMBUSH 500 CE, de sete em sete dias, na dosagem de 0,2ml do produto por litro de solução. O AMBUSH é um inseticida piretróide sintético de nomenclatura 3-fenoxibenzil(+)-cis,trans 3-(2,2-diclorovinil)-2,2 dimetil ciclopropano-1-carboxilato. As pulverizações foram iniciadas, quando as plantas tinham 15cm de altura e repetidas até a colheita das mesmas.

As plantas foram colhidas no dia 23.02.85, 50 dias após o transplântio para a solução nutritiva. Foram separados sistema radicular, caule e folhas. As folhas foram separadas em inferiores e superiores, tomando-se como limite o ponto médio da parte aérea, e em pecíolos e limbos.

As amostras, em sacos de papel, foram deixadas na estufa a 72°C, sob ventilação forçada, por 48 horas; em seguida, foram pesadas, determinando-se o peso seco, e guardadas para a análise e determinação dos teores de elementos químicos presentes.

3.8. Métodos de Análise da Matéria Seca Vegetal

As amostras vegetais foram analisadas determinando-se os teores de N, P, K, Ca, S, Mg, Cu, Zn, Mn e Fe para todas as partes da planta.

Para P, K, Ca, S, Mg, Mn e Fe o material vegetal foi submetido a digestão nitroperclórica (JACKSON, 1958), tratando-se 0,2g de amostra com 4 ml de HNO_3 concentrado, em bloco digestor a 180°C até digestão de todo o material. Após o resfriamento, adicionou-se 1ml de HClO_4 concentrado, deixando-se o material no bloco digestor até clarificação total; em seguida, o digerido inorgânico foi diluído para 50ml com água destilada para posterior análise.

Para a análise de zinco e de cobre, foi feita digestão nitro perclórica de acordo com o método descrito por ZASOSKI e BURAU (1977). Em tubos de ensaio, próprios para bloco digestor, foram colocados 500mg de tecido vegetal em cada tubo, adicionando-se 2,0ml de HNO_3 concentrado, deixando-se em pré digestão por 24 horas. Após este período, os tubos foram levados ao bloco digestor onde foram aquecidos a 80°C , por 1 hora. Após o resfriamento, adicionou-se 2,0 ml de HClO_4 concentrado e retornou-se com os tubos para o bloco digestor onde os mesmos foram mantidos a temperaturas de 180 a 200°C , fazendo-se adições de 2 ml de HNO_3 concentrado até clarificação do material. Após diluição para 25ml, com água desionizada, foram feitas as leituras para zinco e cobre no espectrofotômetro de absorção atômica (ZASOSKI e BURAU, 1977).

Evitou-se o uso de rolhas e tampas de borracha nos procedimentos analíticos para determinação de zinco e de cobre.

O fósforo foi analisado, colorimetricamente, pelo método da vitamina C, adaptado por BRAGA e DEFELIPO (1974), enquanto que o nitrogênio foi analisado, após digestão sulfúrica do material vegetal, pelo método de NESSLER (JACKSON, 1958).

A determinação do enxofre foi feita por turbidimetria de sulfato, através de precipitação do elemento na forma de cloreto de bário (JACKSON, 1958).

Foram determinadas as concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S, expressando-se os valores em porcentagem do elemento na matéria seca das diferentes partes da planta. Os

micronutrientes Fe, Mn, Zn e Cu tiveram suas concentrações expressas em ppm.

Determinaram-se os conteúdos de cada nutrientes nas diferentes partes da planta, fazendo-se o produto da concentração do nutriente, em cada parte da planta, pelo peso da matéria seca correspondente àquela parte.

Calculou-se a distribuição percentual de cada nutriente nas folhas, caules e raízes, dividindo-se o conteúdo do nutriente, presente em cada uma dessas partes da planta, pelo conteúdo do nutriente presente na planta inteira.

A eficiência de absorção de cada nutriente, pelo sistema radicular da planta, foi calculada dividindo-se o total do nutriente absorvido pelo sistema radicular (conteúdo do nutriente presente na planta inteira) pela matéria seca das raízes (peso seco do sistema radicular).

A eficiência de utilização de cada nutriente foi calculada, dividindo-se a matéria seca total da planta (peso seco da planta inteira) pelo total do nutriente absorvido pelas raízes (conteúdo do nutriente presente na planta inteira).

3.9. Análises Estatísticas

As médias de produção de matéria seca, bem como os valores médios das concentrações e conteúdos dos nutrientes encontrados nas diferentes partes da planta, nos diferentes tratamentos, foram comparados estatisticamente, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey (GOMES, 1984).

Foram calculados também as percentagens de cada nutrientes nas diferentes partes da planta bem como as eficiências de absorção e de utilização do nutriente, sendo as médias comparadas como visto anteriormente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Deficiência de Cobre - Sintomas Visuais

Decorridos 25 dias após o transplântio das mudas para as soluções nutritivas, as bordas dos folíolos das folhas medianas se encurvaram para cima, enrolando-se na face adaxial, sintoma que se iniciou na base do limbo e progrediu até atingir todo o contorno da folha (Fig. 1, 3 e 4). As folhas permaneceram verdes e, 6 dias depois, surgiram pontos amarronzados junto à nervura principal e na base da folha, estendendo-se depois para próximo das nervuras secundárias, tanto na face abaxial como na adaxial (Fig. 3 e 4).

Os sintomas, que se iniciaram na região mediana da planta, progrediram, com o tempo, para o ápice e para a base, acentuando-se sobremaneira no período entre 30 e 40 dias, após o transplântio das mudas para as soluções nutritivas. Após esse período, surgiu uma mancha amarela na base da nervura principal, ou, às vezes, entre as nervuras secundárias, sendo que em algumas folhas essa mancha aumentava de tamanho e se necrosava no centro, ficando com uma coloração marrom brilhante. As folhas do ápice começaram a apresentar sintomas de murcha permanente, observando-se ainda, que todos os folíolos da planta estavam enrolados no sentido adaxial e os pecíolos das folhas medianas e apicais formavam, com o caule, ângulos mais agudos do que os observados em plantas

normais (Fig. 1). O sistema radicular mostrou-se pouco desenvolvido, mas não apresentou nenhuma modificação de coloração em relação às raízes de plantas normais

Todas as plantas, cultivadas em soluções deficientes em cobre, apresentaram a mesma seqüência no aparecimento dos sintomas, independentemente do método de purificação usado.

4.2. Deficiência de Zinco - Sintomas Visuais

Em torno de 25 dias após o transplântio das mudas para as soluções nutritivas, surgiram pequenas manchas castanho-escuras, juntamente com clorose entre as nervuras dos folíolos das folhas basais, de plantas deficientes, em zinco (Fig. 3 e 4). Decorridos mais uns 10 dias, os sintomas se acentuaram com encurvamento dos pecíolos para baixo, em direção ao caule (Fig. 2), notando-se, também, numerosas áreas necróticas avermelhadas sobre as nervuras secundárias, tanto na face abaxial como na adaxial (Fig. 3 e 4). Nos folíolos das folhas do ápice, as necroses foram menos frequentes, ficando as nervuras avermelhadas. Nos pecíolos, principalmente próximo à inserção dos peciólulos, notaram-se pequenos pontos necróticos. O sistema radicular mostrou-se pouco desenvolvido, com as raízes apresentando uma coloração castanho-escura.

No aspecto geral, a planta apresentou-se clorótica, os pecíolos se encurvaram para a face abaxial, sendo que esses sintomas foram mais evidentes nas folhas medianas e do ápice da planta (Fig. 2).

A purificação pelo método III, extração com APDC, proporcionou os sintomas mais severos de deficiência de zinco, sendo também os que apareceram mais rapidamente. A adsorção com CaCO_3 e extração com ditizona em pH 5,0, método I, proporcionou sintomas moderados, enquanto que a adsorção com CaCO_3 e extração com ditizona em pH 2,5 e pH 8,3, método II, causou os sintomas menos visíveis. A adsorção com CaCO_3 ,



Figura 1. Sintomas de deficiência de cobre em planta de tomate



Figura 2. Sintomas de deficiência de zinco em planta de tomate



Figura 3. Sintomas de deficiência de cobre e de zinco em plantas de tomate: face adaxial do limbo foliar



Figura 4. Sintomas de deficiência de cobre e zinco em folhas de tomate: face abaxial do limbo foliar

seguida de extração com ditizona, foi mais trabalhosa e demorada que a extração com APDC. A autoclavagem das soluções, o tempo de decantação do precipitado e a filtração a vácuo, seguindo-se o preparo da solução de ditizona e a extração do cobre e zinco, consumiram em torno de 48 horas, na purificação das soluções-estoque. Por outro lado, o preparo da solução de pirrolidina ditiocarbamato de amônio e a purificação das soluções por extração com APDC envolveram em torno de 6 horas de trabalho de purificação.

Os sintomas observados, para as deficiências de cobre e de zinco, coincidiram com os descritos por REED (1939), LYON *et alii* (1943) e FAWUST e ORMROD (1975).

4.3. *Matéria Seca e Concentrações de Cobre e de Zinco nas Plantas de Tomate*

As menores produções de matéria seca das plantas submetidas às deficiências de cobre e de zinco, em relação aos tratamentos completos, sem deficiência, indicam que os três métodos de purificação permitiram a indução de deficiência desses micronutrientes em consonância, inclusive, com os sintomas de deficiência descritos (Quadro 1).

A extração do zinco pelo método do APDC correspondeu a menores quantidades de matéria seca produzidas, sugerindo que esse método de purificação foi o mais eficiente na indução de deficiência de zinco (Quadro 1).

O método de extração de cobre em pH 2,5 e de zinco em pH 8,3, com ditizona, preconizado por MORRISON e FREISER (1956), não foi mais eficiente que a extração simultânea de cobre e zinco em pH 5,0, com ditizona, ao se compararem as reduções na matéria seca das plantas deficientes desses micronutrientes nos dois métodos considerados (Quadro 1).

Nos tratamentos completos, as maiores concentrações de cobre, na matéria seca, foram encontradas nas raízes, seguindo-se as folhas superiores observando-se essa mesma variação para os tratamentos com deficiência de zinco, sendo

Método de Purificação	Deficiência	Folhas	Caules	Raízes	Total
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 5,0)	Cobre	18,16 ef	11,06 c	3,33 d	32,56 e
	Zinco	30,26 de	16,34 c	5,35 c	52,06 de
	Completo	52,20 ab	28,14 ab	9,37 b	89,73 ab
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	23,36 def	12,29 c	4,38 cd	40,04 de
	Zinco	34,29 cd	19,79 bc	5,72 c	59,81 cd
	Completo	59,04 a	29,21 a	11,03 a	99,36 a
Extração (APDC)	Cobre	22,99 def	12,04 c	4,42 cd	39,47 de
	Zinco	17,39 f	13,42 c	4,32 c	35,14 e
	Completo	44,63 bc	25,80 ab	8,32 b	78,76 bc
	Médias	33,60	18,68	6,25	58,55
	C.V. (%)	15,42	19,68	10,18	14,64

1/ As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

que as folhas superiores apresentaram maiores concentrações de cobre do que as folhas inferiores (Quadro 2). Nos tratamentos com deficiência de cobre, houve tendência à uniformização dos valores das concentrações em todas as partes da planta, com pequena alteração nas folhas superiores que apresentaram valores um pouco maiores (Quadro 2). Essa uniformização foi mais evidente no tratamento com APDC em que as concentrações de cobre ficaram entre 2,52 e 3,21 ppm (Quadro 2). Concentrações abaixo de 4,0 ppm de cobre, na matéria seca, indicam deficiência desse micronutriente (JONES, 1973); portanto no tratamento com APDC a deficiência de cobre foi confirmada em todas as partes da planta, enquanto que as folhas superiores, nas extrações com ditizona, mostraram valores de 4,3 e 4,8 ppm de cobre na matéria seca (Quadro 2). Os resultados sugerem que o nível crítico, citado por JONES (1973), pode apresentar alguma variação e que provavelmente vai depender do tipo de cultura. Na cultura do tomate, a variação foi pequena e as concentrações de cobre coincidiram com os sintomas visuais de deficiência.

As concentrações de zinco, na matéria seca, dos tratamentos completos foram maiores nas folhas superiores que nas inferiores, apresentando menores variações entre as outras partes da planta (Quadro 3). Nos tratamentos com deficiência de zinco, houve uniformização nos teores desse micronutriente em todas as partes da planta, exceto nas raízes, onde observaram-se valores maiores (Quadro 3). Os resultados indicam que, em deficiência de zinco, as reduções nos teores do micronutriente na matéria seca são mais drásticas nas folhas superiores que nas inferiores. No tratamento com APDC, este efeito se acentuou, já que as menores concentrações de zinco foram encontradas nas partes de plantas cultivadas em soluções purificadas por este método (Quadro 3).

Os três métodos de purificação foram capazes de resultar em deficiência de zinco. Como o nível crítico de zinco é 20 ppm (JONES, 1973), verifica-se que os 3 métodos resultaram em teores menores e, portanto, deficiência, principalmente, no tratamento com APDC (Quadro 3), o que coincidiu

QUADRO 2. Concentrações de Cobre(ppm na matéria seca), em Partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Defici- ência	Folhas		Pecíolos		Caules	Raízes
		Superio- res	Inferio- res	Superio- res	Inferio- res		
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 5,0)	Cobre	4,30 cd	2,75 bc	3,56 bc	3,02 b	3,21 bc	3,41 c
	Zinco	9,43 abc	6,27 a	4,50 b	5,44 ab	6,60 ab	14,19 b
	Completo	13,16 a	5,42 abc	4,80 ab	7,32 a	9,54 a	16,93 ab
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	4,89 bcd	2,77 ab	2,92 c	2,91 b	2,82 bc	3,82 c
	Zinco	10,82 a	5,88 bc	4,79 ab	4,70 ab	6,39 abc	14,40 b
	Completo	10,06 ab	6,95 a	4,70 ab	4,79 ab	6,37 abc	13,95 b
Extração (APDC)	Cobre	3,21 d	2,52 c	2,52 c	2,92 b	2,71 c	3,11 c
	Zinco	12,20 a	8,25 a	3,84 bc	6,04 ab	5,93 abc	23,72 a
	Completo	12,99 a	7,36 a	6,08 a	5,98 ab	4,45 bc	14,67 b
Médias		9,01	5,36	4,19	4,79	5,34	12,04
C.V.(%)		26,20	25,73	14,79	28,47	30,21	31,33

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao ní-
vel de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

QUADRO 3. Concentrações de Zinco (ppm na matéria seca), em Partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiên- cia	Folhas		Pecíolos		Caules	Raízes
		Superio- res	Inferio- res	Superio- res	Inferio- res		
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 5,0)	Cobre	64,14 ab	28,89 ab	56,50 a	84,32 a	104,27 a	74,91 ab
	Zinco	18,33 d	18,28 bc	15,82 d	16,65 cd	15,61 c	22,41 de
	Completo	35,59 cd	28,58 ab	43,32 abc	46,04 bc	47,93 b	49,71 abcd
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	81,18 a	33,39 a	57,75 a	61,42 ab	96,96 a	77,00 a
	Zinco	18,95 d	18,43 bc	16,76 d	14,77 d	16,65 c	28,16 cde
	Completo	34,23 cd	24,92 ab	38,31 bc	41,33 bcd	43,64 b	34,96 cde
Extração (APDC)	Cobre	54,19 bc	27,01 ab	48,13 ab	40,92 bcd	65,39 b	56,82 abc
	Zinco	13,20 d	13,05 c	12,89 d	12,47 d	14,36 c	18,43 e
	Completo	31,82 cd	22,62 abc	33,60 c	46,70 bc	47,92 b	46,15 bcde
Médias		39,07	23,91	35,90	40,51	50,30	45,39
C.V. (%)		24,58	20,36	16,89	31,60	18,83	28,50

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

com as observações visuais que revelaram sintomas mais severos nesse tratamento.

A extração com APDC, no tratamento com deficiência de zinco, resultou numa concentração de cobre, nas raízes, maior que os valores encontrados nos tratamentos com ditizona (Quadro 2), fazendo com que o conteúdo de cobre fosse maior (Quadro 4), mesmo com menor produção de matéria seca das raízes (Quadro 1). A distribuição do cobre em folhas, caules e raízes, no tratamento com deficiência de zinco devido à extração com APDC (Quadro 5), sugere que a deficiência mais acentuada de zinco dificultou a translocação de cobre das raízes para a parte aérea.

A translocação de zinco das raízes para a parte aérea não se alterou nos tratamentos com deficiência de cobre (Quadro 5).

A eficiência de absorção de cobre, pelas raízes das plantas de tomate, não se alterou nos tratamentos com deficiência de zinco; entretanto a eficiência de absorção de zinco aumentou nos tratamentos com deficiência de cobre (Quadro 6). Constatou-se que os íons de cobre inibiram a absorção de íons de zinco o que coincide com BOWEN (1969) e AULIO e OJALA (1983), que citam o cobre como inibidor competitivo na absorção de zinco. A deficiência de absorção de íons cobre, pelas raízes, não foi alterada pela presença de íons zinco (Quadro 6), coincidindo com a afirmação de MENGEL e KIRKBY (1982) de que a absorção de íons cobre se faz de modo independente em relação a efeitos competitivos de outros íons. No presente trabalho, além dessa independência dos íons cobre, pode se admitir que o sistema radicular da planta de tomate tenha maior afinidade pela absorção de íons cobre em relação aos íons zinco, fazendo-se necessário, porém, a confirmação com outros trabalhos.

QUADRO 4. Conteúdos de Cobre e de Zinco (em $\mu\text{g/planta}$), em Partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva

Método de Purificação	Deficiên- cia	Cu			Zn		
		Folhas	Caulres	Raízes	Folhas	Caulres	Raízes
Adsorção (CaCO_3) + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	61 e	35 de	11 d	938 cd	1104 ab	250 bcd
	Zinco	214 bc	108 bcd	74 cd	534 de	248 c	121 d
	Completo	411 a	273 a	158 a	1846 ab	1336 a	465 a
Adsorção (CaCO_3) + Extração (Ditizona) pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	78 de	35 de	16 d	1258 c	1191 a	336 abc
	Zinco	250 b	127 bc	82 bcd	615 de	331 c	161 cd
	Completo	418 a	177 b	154 ab	1912 a	1250 a	382 ab
Extração (APDC)	Cobre	65 e	32 e	13 d	974 cd	789 b	248 bcd
	Zinco	145 cd	80 cde	102 abc	226 e	199 c	78 d
	Completo	376 a	114 bcd	121 abc	1385 bc	1239 a	383 ab
Médias		224	109	81	1077	854	269
C.V. (%)		14,73	37,34	41,11	19,36	19,26	34,51

1/ As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao ní-
vel de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

QUADRO 5. Distribuição Percentual de Cobre e Zinco em Folhas, Caules e Raízes, em Relação ao Total Absorvido, em Plantas de Tomate Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiência	Cu			Zn		
		Folhas	Caules	Raízes	Folhas	Caules	Raízes
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	56,63 ab	32,38 a	10,97 b	40,80 c	48,39 a	10,79 a
	Zinco	54,08 ab	26,61 ab	19,30 b	58,77 a	28,03 d	13,18 a
	Completo	49,31 bc	32,21 a	18,47 b	51,15 abc	36,61 bcd	12,23 a
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	60,38 a	26,42 ab	13,19 b	44,67 bc	43,07 ab	12,24 a
	Zinco	54,75 ab	26,91 ab	18,33 b	55,18 ab	29,97 cd	14,83 a
	Completo	55,71 ab	23,65 ab	20,62 b	54,04 ab	35,06 bcd	10,88 a
Extração (APDC)	Cobre	57,64 ab	30,08 ab	12,27 b	47,77 abc	39,53 abcd	12,69 a
	Zinco	44,76 c	23,32 ab	31,94 a	45,32 bc	37,87 abcd	16,80 a
	Completo	61,52 a	18,77 b	19,70 b	46,24 bc	40,99 abc	12,76 a
Médias		54,97	26,71	18,31	49,33	37,72	12,94
C.V. (%)		6,81	19,33	25,39	9,94	12,83	27,28

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

QUADRO 6. Eficiência de Absorção de Cobre e Zinco (em $\mu\text{g/g}$ de Matéria Seca de Raízes), em Plantas de Tomate Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiên- dia	Cu	Zn
Adsorção (CaCO_3) +	Cobre	32,5 c	690 a
	Zinco	74,7 ab	170 e
Extração (Ditizona pH 5,0)	Completo	89,7 a	389 bc
Adsorção (CaCO_3) +	Cobre	29,5 c	636 a
	Zinco	79,8 ab	194 de
Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Completo	68,2 b	322 cd
Extração (APDC)	Cobre	25,0 c	452 b
	Zinco	75,2 ab	115 e
	Completo	73,8 ab	362 bc
	Médias	60,9	370
	C.V. (%)	13,10	15,02

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

4.4. Interação Zinco - Fósforo

A eficiência de absorção de fósforo, pelas raízes de plantas de tomate, foi maior sob deficiência de zinco, nos tratamentos com APDC e com ditizona em pH 5,0 (Quadro 11). Essa ocorrência foi verificada também no interior da planta, com a presença de íons zinco dificultando a translocação de fósforo das raízes para a parte aérea (Quadros 7 e 8). A extração com APDC (método III) proporcionou aumento de cerca de 4,0 vezes na concentração de fósforo das folhas deficientes em zinco, em relação às folhas normais, enquanto que, nas raízes deficientes em zinco, a concentração de fósforo foi reduzida quase à metade (Quadro 7). As folhas deficientes em zinco acumularam 68% do total do fósforo absorvido pela planta, ficando apenas 7% nas raízes, enquanto que nas plantas normais as folhas acumularam 45% do fósforo total contra 21% acumulado nas raízes (Quadro 8).

O efeito negativo do zinco sobre o fósforo se verificou na absorção dos íons fosfato pelas raízes bem como na translocação do fosfato dentro da planta de tomate, BURLESON e PAGE (1967) explicam tal efeito pela redução na mobilidade ou solubilidade do fosfato causada pelos íons zinco no interior das raízes; entretanto OLSEN (1973) cita que a precipitação de $Zn_3(PO_4)_2$ não está envolvida na interação negativa entre zinco e fósforo nas plantas. No presente trabalho, essa possível precipitação foi dificultada, visto que, as concentrações de zinco, nas plantas de tomate, eram pequenas o que dificulta uma precipitação de fosfato que justifique um efeito negativo tão acentuado (Quadros 9 e 10). A atuação do zinco sobre o fósforo está relacionada com funções metabólicas dos dois nutrientes na planta. Esse aspecto é abordado por OLSEN (1973) ao citar alguns trabalhos que sugerem mecanismos metabólicos específicos para explicar a interferência do fósforo sobre a utilização do zinco nas plantas. A hipótese de que as alterações, observadas no presente trabalho, são de origem fisiológica coincide com a observação de que, em plantas de tomate deficientes em

QUADRO 7. Concentrações de Fósforo (% na matéria seca), em Partes de Plantas de Tomate Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva/

Método de Purificação	Deficiên- cia	Folhas		Pecíolos		Caules	Raízes
		Superio- res	Inferio- res	Superio- res	Inferio- res		
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 5,0)	Cobre	0,619 bc	0,430 c	0,600 b	0,583 b	0,643 ab	1,158 ab
	Zinco	0,895 b	0,844 b	0,649 b	0,615 b	0,504 b	0,366 d
	Completo	0,408 c	0,364 c	0,413 b	0,413 b	0,504 b	0,647 cd
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	0,704 bc	0,419 bc	0,591 b	0,574 b	0,619 ab	1,027 abc
	Zinco	0,523 bc	0,680 c	0,513 b	0,494 b	0,466 b	0,517 d
	Completo	0,417 c	0,315 c	0,451 b	0,426 b	0,510 b	0,755 bcd
Extração (APDC)	Cobre	0,670 bc	0,392 c	0,615 b	0,547 b	0,627 ab	1,267 a
	Zinco	1,552 a	1,773 a	1,124 a	1,263 a	0,768 a	0,623 cd
	Completo	0,455 c	0,362 c	0,508 b	0,468 b	0,530 b	1,112 ab
Médias		0,695	0,619	0,608	0,598	0,576	0,831
C.V. (%)		23,39	27,83	15,93	22,95	15,18	21,60

1/ As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao ní-
vel de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

QUADRO 8. Distribuição Percentual de Fósforo em Folhas, Caules e Raízes, em Relação ao Total Absorvido, em Plantas de Tomate Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiên- cia	Folhas	Caules	Raízes
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	46,94 b	34,45 a	18,59 ab
	Zinco	70,29 a	23,97 b	5,72 d
	Completo	50,01 b	35,04 a	14,94 bc
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	50,91 b	30,72 ab	18,35 ab
	Zinco	61,29 a	29,48 ab	9,21 cd
	Completo	49,57 b	32,17 ab	18,25 ab
Extração (APDC)	Cobre	48,41 b	29,67 ab	21,90 a
	Zinco	67,57 a	25,40 b	7,01 d
	Completo	45,71 b	32,46 ab	21,82 a
Médias		54,52	30,37	15,09
C.V. (%)		7,05	12,37	17,70

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

zinco, o metabolismo do fosfato foi tão afetado que houve danificações nas atividades celulares das plantas (Reed, 1946, citado por SHARMA *et alii*, 1968).

4.5. Interações Zinco-Enxofre e Zinco-Manganês

A eficiência de absorção do enxofre pelo sistema radicular de plantas deficientes em zinco, em que a solução nutritiva foi purificada com APDC, foi menor do que em plantas normais (Quadro 11). Esse resultado sugere uma interação positiva entre zinco e enxofre, com os íons zinco facilitando a absorção do enxofre pelas raízes, o que não foi observado em relação ao cobre, em nenhum tratamento (Quadro 11). As concentrações de enxofre nos tecidos foliares das plantas deficientes em zinco, no tratamento com APDC, também foram menores que nas plantas normais, confirmando o efeito do zinco sobre o enxofre em plantas de tomate (Quadro 9). Os resultados, provavelmente, foram devido à maior eficiência do APDC em extrair o zinco das soluções, induzindo deficiência mais severa.

A absorção de íons manganês ocorreu com maior eficiência pelas raízes das plantas deficientes em zinco, do que pelas raízes de plantas normais, apenas no tratamento com APDC (Quadro 11). Neste caso, a deficiência mais acentuada de zinco, proporcionada pela extração com APDC, facilitou a absorção de manganês pelas raízes do tomateiro. As concentrações de manganês, nos tecidos de folhas e raízes das plantas deficientes em zinco, do tratamento anteriormente mencionado, também foram maiores do que nas plantas normair, sugerindo que aquele efeito do zinco sobre o manganês se manifesta também no interior da planta (Quadro 10).

QUADRO 9. Concentrações de Enxofre (% na matéria seca), em Partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiên- cia	Folhas		Pecíolos		Caulos	Raízes
		Superio- res	Inferio- res	Superio- res	Inferio- res		
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 5,0)	Cobre	0,710 bcd	1,056 abc	0,308 ab	0,390 a	0,277 a	0,399 ab
	Zinco	0,633 cd	0,874 bc	0,232 c	0,280 c	0,171 e	0,344 b
	Completo	1,050 a	1,132 ab	0,304 ab	0,305 bc	0,207 cd	0,430 ab
Absorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	0,731 bcd	1,227 a	0,327 a	0,357 ab	0,259 ab	0,356 b
	Zinco	0,662 bcd	0,930 bc	0,231 c	0,250 c	0,180 de	0,411 ab
	Completo	0,947 ab	1,151 ab	0,294 abc	0,303 bc	0,202 de	0,495 a
Extração (APDC)	Cobre	0,885 abc	1,128 ab	0,318 ab	0,365 ab	0,239 bc	0,461 ab
	Zinco	0,582 d	0,813 c	0,252 bc	0,255 c	0,176 de	0,359 b
	Completo	0,909 abc	1,152 ab	0,344 a	0,280 c	0,201 de	0,447 ab
Médias		0,790	1,052	0,290	0,310	0,212	0,411
C.V. (%)		16,07	11,74	9,82	8,71	8,05	13,97

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao ní-
vel de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

QUADRO 10. Concentrações de Manganês (ppm na matéria seca), em partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva/

Método de Purificação	Deficiên- cia	Folhas		Pecíolos		Caules	Raízes
		Superio- res	Inferio- res	Superio- res	Inferio- res		
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 5,0)	Cobre	52,50 ab	85,00 a	47,50 ab	72,50 a	40,00 a	92,50 bc
	Zinco	35,00 abc	50,00 b	32,50 bcd	60,00 a	37,50 a	75,00 c
	Completo	40,00 abc	40,00 b	17,50 cd	50,00 a	30,00 a	50,00 c
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	60,00 a	80,00 a	37,50 abc	62,50 a	40,00 a	80,00 bc
	Zinco	25,00 bc	32,50 b	30,00 bcd	47,50 a	27,50 a	60,00 c
	Completo	20,00 c	47,50 b	15,00 d	40,00 a	25,00 a	47,50 c
Extração (APDC)	Cobre	52,50 ab	80,00 a	32,50 bcd	60,00 a	37,50 a	140,00 ab
	Zinco	60,00 a	85,00 a	57,50 a	75,00 a	37,50 a	160,00 a
	Completo	22,50 bc	40,00 b	20,00 cd	45,00 a	35,00 a	77,50 bc
Médias		40,83	60,00	32,22	56,94	34,44	86,94
C.V. (%)		32,73	17,42	28,95	26,66	20,14	30,92

1/ As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao ní-
vel de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

4.6. Interações Cobre-Manganês, Cobre-Potássio e Cobre-Enxofre

As raízes, deficientes em cobre, apresentaram maior eficiência de absorção de manganês do que as raízes normais (Quadro 11). Os íons cobre inibiram a absorção dos íons manganês pelas raízes de plantas de tomate, de maneira semelhante ao observado para a cana de açúcar (BOWEN, 1969) e para raízes de milho (LANDI e FAGIOLI, 1983). Nesses trabalhos, é citado que os íons cobre bloqueiam os sítios de ligação da molécula que faz o transporte dos íons, impedindo que o manganês se ligue. Esse efeito se deve à semelhança entre os raios iônicos e pesos atômicos de cobre e manganês, à valência variável dos dois elementos, bem como à suas afinidades por moléculas de proteínas (ADEDEJI e FANIMOKUM, 1984).

A deficiência de íons cobre aumentou a eficiência de absorção de potássio pelas raízes de plantas de tomate o que não ocorreu em deficiência de íons zinco (Quadro 11), o que sugere uma interação negativa entre cobre e potássio, com o primeiro inibindo a absorção do segundo.

As concentrações de enxofre, em caules deficientes em cobre, foram maiores, comparando-se com os caules normais, nos três tratamentos com deficiência do micronutriente (Quadro 9). Para as outras partes da planta, algumas vezes, houve inversão nesse resultado não havendo, porém, diferenças significativas na maioria dos casos. A absorção de enxofre pelas raízes do tomateiro não foi afetada em condições de deficiência de cobre (Quadro 11).

QUADRO 11. Eficiência de Absorção de Mn (em µg/g de Matéria Seca de Raízes) e de P, K e S (em mg/g de Matéria Seca de Raízes), em Plantas de Tomate Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiência	Mn	P	K	S
Adsorção (CaCO ₃ + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	588 a	62,1 b	547 a	53,7 a
	Zinco	428 bc	64,8 b	360 c	42,0 ab
	Completo	345 cd	43,0 c	357 c	56,8 a
Adsorção (CaCO ₃ + Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	548 ab	57,0 bc	490 ab	55,2 a
	Zinco	341 cd	54,9 bc	426 bc	47,8 ab
	Completo	283 d	41,3 c	341 c	52,9 a
Extração (APDC)	Cobre	543 ab	57,6 bc	481 ab	52,3 a
	Zinco	550 ab	88,2 a	319 c	32,0 b
	Completo	361 cd	50,8 bc	340 c	53,8 a
Médias		443	57,8	407	49,6
C.V. (%)		13,69	13,10	11,47	13,40

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas e casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, no período de dezembro de 1984 a junho de 1985. O objetivo foi purificar soluções nutritivas para indução de deficiência nutricional de cobre e zinco em plantas de tomate. Foram testados 3 métodos de purificação de soluções: adsorção e precipitação de cobre e zinco com CaCO_3 , seguida de extração simultânea dos dois micronutrientes com ditizona, em pH 5,0; adsorção e precipitação de cobre e zinco com CaCO_3 , seguida de extração do cobre em pH 2,5 e do zinco em pH 8,3, separadamente, com ditizona; extração de cobre e zinco com pirrolidina ditiocarbamato de amônio (APDC), em pH 4,5.

O ensaio com plantas seguiu o delineamento inteiramente casualizado, com 9 tratamentos e 4 repetições, usando-se vasos plásticos de 5 litros para o cultivo das plantas em solução nutritiva.

A extração com APDC se revelou como o método de purificação mais eficiente na indução de deficiência de zinco e mostrou bons resultados na indução de deficiência de cobre. A extração com ditizona em pH 5,0 induziu bem a deficiência de cobre, não tendo mesmo desempenho em relação ao zinco. O método de purificação por adsorção com CaCO_3 , seguido de extração de cobre em pH 2,5 e zinco em pH 8,3, com ditizona, não atendeu ao seu objetivo, qual seja, melhorar os

resultados obtidos pela extração simultânea de cobre e zinco em pH 5,0.

O método de purificação por extração com APDC (método III) se mostrou como o mais indicado para purificar soluções visando à deficiência de cobre e zinco em plantas, devido à sua maior facilidade de manipulação, ao menor tempo necessário à sua aplicação e aos bons resultados obtidos no ensaio com plantas.

Os 3 métodos de purificação possibilitaram a indução de deficiência de cobre e de zinco, causando o aparecimento de sintomas característicos de deficiência dos dois micronutrientes, em plantas de tomate. Os sintomas de deficiência, observados visualmente, foram confirmados com os resultados da análise da matéria seca que determinou os teores de nutrientes nas plantas.

Nas plantas de tomate cultivadas em solução nutritiva, as eficiências de absorção de zinco, manganês e potássio, pelo sistema radicular, foram dificultadas pela presença de íons cobre. A absorção de enxofre pelas raízes do tomateiro se deu com maior eficiência em presença de íons zinco; entretanto, nestas condições a absorção de manganês foi dificultada. As eficiências de absorção de cobre e potássio, pelas raízes, não foram alteradas pela presença de íons zinco.

Zinco e fósforo interagiram negativamente. A absorção de fosfato pelas raízes do tomateiro foi dificultada pela presença de íons zinco e, posteriormente, a translocação de fósforo das raízes para as folhas foi favorecida nas plantas de tomate deficientes em zinco.

BIBLIOGRAFIA

1. ABDEJIL, F.O. & FANTIMORUN, V.O. Copper deficiency and toxicity in two tropical leaf vegetables (*Celastrus argenteus* L. and *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell). *Environ. and Ecophysiol.*, 24:105-110, 1984.
2. ADRIANO, D.C., PAULSEN, C.M. & MURPHY, L.S. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationships in corn (Zea mays L.) seedlings as affected by mineral nutrition. *Agrochim. J.*, Madison, 43:36-39, 1971.
3. ANTO, K. & ISHIDA, A. Selective utilization of copper and zinc in three species of vaccinium (*Ericaceae*). *J. of Plant Nutr.*, New York, 6:177-183, 1983.
4. BOMER, J.E. Absorption of copper, zinc and manganese by sugarcane leaf tissue. *Plant Physiol.*, Maryland, 44:255-261, 1969.
5. BRAGA, J.M. & DE FELIPE, B.V. Determinação espectrofotométrica do fósforo em extratos de solos e material vegetal. *Rev. Ceres*, Viçosa, 22:73-85, 1974.
6. BURLINSON, C.F., DACUS, A.D. & GERARD, C.W. The effect of phosphorus fertilization on the zinc nutrition of several irrigated crops. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 25:365-368, 1961.
7. BURLINSON, C.F. & PAGE, W.R. Phosphorus and zinc interactions in flax. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 31:510-513, 1967.
8. CAMARGO, P.N. & SILVA, G. Manual de análise foliar. São Paulo, Da Libreria - Divulgação de obras culturais / São Paulo, Barba, 1978. 258 p.

10. CHURCH, V.O. & OBISSHEKAN, S.O. Effect of zinc application on the dry matter yield uptake and distribution of zinc and other micronutrients in cotton. (Theoretical and Applied Soil Sci., Plant Anal., New York, 1983-1984, 1983.

11. CHURCH, T.G. The tools of biochemistry. New York, John Wiley, 1977. 423 p.

12. CHURCH, T.G.; KHOPKAR, S.M. & CHALMERS, R.A. Solvent extraction of metals. In: Chalmers, R. A. ed. Series in Analytical Chemistry. London, Van Nostrand Reinhold, 1970. 255 p.

BIBLIOGRAFIA

13. FANIMOKUN, V.O. & OBISSHEKAN, S.O. Zinc deficiency and temperature effects on tomato. J. Hort. Sci., Alexandria, 50:353-357, 1975.

1. ADEDEJI, F.O. & FANIMOKUN, V.O. Copper deficiency and toxicity in two tropical leaf vegetables (*Celusia argentea* L. and *Amaranthus dubius* Mart ex Thell). *Environ. and Exper. Bot.*, Elmsford, 24:105-110, 1984.
2. ADRIANO, D.C.; PAULSEN, G.M. & MURPHY, L.S. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationships in corn (*Zea mays* L.) seedlings as affected by mineral nutrition. *Agron. J.*, Madison, 63:36-39, 1971.
3. AULIO, K. & IJALA, A. Selective utilization of copper and zinc in three species of vaccinium (*Ericaceae*). *J. of Plant Nutr.*, New York, 6:177-183, 1983.
4. BOWEN, J.E. Absorption of copper, zinc and manganese by sugarcane leaf tissue. *Plant Physiol.*, Maryland, 44:255-261, 1969.
5. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica do fósforo em extratos de solos e material vegetal. *Rev. Ceres*, Viçosa, 21:73-85, 1974.
6. BURLESON, C.A.; DACUS, A.D. & GERARD, C.J. The effect of phosphorus fertilization on the zinc nutrition of several irrigated crops. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 25:365-368, 1961.
7. BURLESON, C.A. & PAGE, N.R. Phosphorus and zinc interactions in flax. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 31:510-513, 1967.
8. CAMARGO, P.N. & SILVA, O. *Manual de adubação foliar*. São Paulo, La Libreria - Divulgação de obras culturais / São Paulo, Herba, 1975. 258 p.

9. CHUDE, V.O. & OBIGBESAN, G.O. Effect of zinc application on the dry matter yield uptake and distribution of zinc and other micronutrients in cocoa (*Theobroma cacao*, L.). *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 14:989-1004, 1983.
10. COOPER, T.G. *The tools of biochemistry*. New York, John Wiley, 1977. 423 p.
11. DE, A.K.; KHOPKAR, S.M. & CHALMERS, R.A. Solvent extraction of metals. In: Chalmers, R. A. ed. *Séries in Analytical Chemistry*. London, Van Nostrand Reinhold, 1970. 259 p.
12. FAWUST, M.O.A. & ORMROD, D.P. Zinc nutrition and temperature effects on tomato. *J. Hort. Sci.*, Alexandria, 50:363-371, 1975.
13. FRIES, J. *Analisis de trazas. Métodos fotométricos Comprobados*. Darmstadt, E. Merck, 1971. 183 p.
14. GANGWAR, M.S. & CHANDRA, S.K. Estimation of critical limit for zinc in rice soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 7:295-310, 1976.
15. GILBERT, S.G. A biochemical basis for copper-nitrogen balance in tung. *Plant Physiol*, Maryland, 26:398-405, 1951.
16. GOMES, F.P. *A estatística moderna na pesquisa agropecuária*. Piracicaba, POTAFOS, 1984. 160 p.
17. GRAHAM, R.D. Male sterility in wheat plants deficient in copper. *Nature*, Basingstoke, 254:514-515, 1975.
18. HEWITT, E.J. *Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition*. 2 ed. East Malling, Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, 1966. 544 p. (Technical communication, 22).
19. HEWITT, E.J. & SMITH, T.A. *Plant mineral nutrition*. London, English University Press, 1975. 298 p.
20. HOLMES, R.S.. Determination of total copper, zinc, cobalt, and lead in soils and soils solutions. *Soil Sci.*, Baltimore, 59:77-84, 1945.
21. HORVATH, G.; DROPPA, M. & TERRY, N. Changes in photosynthetic attributes in response to copper depletion in sugar beets (*Beta vulgaris* L.). *J. of Plant Nutr.*, New York, 6:971-981, 1983.
22. JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1958. 498 p.

23. JONES, J.B. Jr. Plant tissue analysis for micronutrients.
In: Mortvedt, J.J. ed. *Micronutrients in agriculture*.
Madison, Soil Science Society of America, 1973. 666p.
24. KRAUS, K.A. & MOORE, G.E. Anion Exchange Studies VI.
The divalent transition elements manganese to zinc in
hydrochloric acid. *J. Am. Chem. Soc.*, Washington, 75:
1460-1462, 1953.
25. LANDI, S. & FAGIOLI, F. Efficiency of manganese and
copper uptake by excised roots of maize genotypes.
J. Plant Nutr., New York, 6:957-970, 1983.
26. LEE, C.R.; CRADDOCK, G.R. & HAMMAR, H.E. Factors
affecting growth in high-zinc medium; influence of
iron on growth of flax at various zinc levels.
Agron. J., Madison, 61:562-565, 1969.
27. LIEBIG, G.F. Jr.; VANSELOW, A.P. & CHAPMAN, H.D. The
suitability of water purified by synthetic ion-
exchange resins for the growing of plants in
controlled nutrient cultures. *Soil Sci.*, Baltimore,
55:371-374, 1943.
28. LIPMAN, C.B. & MACKINNEY, G. Proof of the essential
nature of copper for higher green plants.
Plant Physiol., Maryland, 6:593-599, 1931.
29. LYON, C.B.; BEESON, K.C. & ELLIS, G.H. Effects of
micronutrient deficiencies on growth and vitamin
content of the tomato. *Botan. Gaz.*, Chicago, 104:
495-514, 1943.
30. MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*.
São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
31. MALISSA, H. & SCHÖFFMANN, E. Über die verwendung von
substituierten dithiocarbamaten in der mikroanalyse.
Microchimica Acta, New York, 1:187-202, 1955.
32. MCKENZIE, D.B. & SOPER, R.J. Zinc regulation in
blackbeans (*Phaseolus vulgaris* (L.)). *Commun.*
Soil Sci. Plant Anal., New York, 14:709-725, 1983.
33. MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*.
3 ed., Bern, International Potash Institute, 1982.
665 p.
34. MITCHELL, R.L. Contamination problems in soil and plant
analysis. *J. Sci. Food Agri.*, Oxford, 11:553-560,
1960.
35. MIZUNO, N. & KAMADA, K. Method of judging copper
deficiency from the concentration of soluble copper
in soils and the copper: iron ratio in wheat plants.
Soil Sci. Plant Nutr., Tokyo, 28:27-36, 1982.

36. MIZUNO, N.; INAZU, O. & DOBASHI, K. Composition of carbohydrates and soluble solids, moisture and morphological changes in wheat plants grown on copper-deficient soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, Tokyo, 29:1-6, 1983.
37. MORRISON, G.H. & FREISER, H. *Solvent extraction in analytical chemistry*, New York, John Wiley, 1957. 269p.
38. OHKI, K. Zinc nutrition related to critical deficiency and toxicity levels for sorghum. *Agron. J.*, Madison, 76:253-256, 1984.
39. OLSEN, S.R. Micronutrient interations. In: Morvedt, J.J. ed. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Soil Science Society of America, 1973. 666 p.
40. NELSON, L.G.; BERGER, K.C. & ANDIRES, H.J. Copper requirements and deficiency symptoms of a number of field and vegetable crops. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 20:69-72, 1956.
41. PIPER, C.S. Investigations on copper deficiency in plants. *J. Agric. Sci.*, London, 32:143-146, 1942.
42. PRICE, C.A. & VALLEE, B.L. *Euglena gracilis*, a test organism for study of zinc. *Plant Physiol.*, Maryland, 37: 428-433, 1962.
43. PRICE, C.A.; CLARK, H.E. & FUNKHOUSER, E.A. Functions of micronutrients in plants. In: Mortvedt, J.J. ed. *Micronutrients in agriculture*. Madison, Soil Science Society of America, 1973. 666 p.
44. REED, H.S. The relation of copper and zinc salts to leaf structure. *Am. J. Bot.*, Columbus, 26:29-33, 1939.
45. REUTER, D.J.; LONERAGAN, J.F.; ROBSON, A.D. & PLASKETT, D. Zinc in subterranea clover (*Trifolium subterraneum*, L. cv. seaton park). Effects of zinc supply on distribution of zinc and dry weight among plant parts. *Aust. J. Agric. Res.*, Victoria, 33:989-999, 1982.
46. ROSELL, R.A. & ULRICH, A. Critical zinc concentrations and leaf minerals of sugar beet plants. *Soil Sci.* Baltimore, 97:152-167, 1964.
47. RUFNER, R. & BARKER, A.V. Ultrastructure of zinc-induced iron deficiency in mesophyll chloroplasts of spinach and tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, Alexandria, 109:164-168, 1984.
48. RUSH, R.M. & YOE, J.H. Colorimetric determination of zinc and copper with 2 carboxy-2'-hidroxy-5'-sulfoformazylbenzeno. *Anal. Chem.*, Washington, 26:1345-1347, 1954.

49. SANDEL, E.B. & ONISHI, H. Photometric determination of traces of metals. General aspects. In: Elving, P.J.; Winefordner, J.D. & Kolthoff, I. M. eds. *Chemical Analysis*, New York, John Wiley, 1978. V.3.
50. SCHMID, W.E.; HAAG, H.P. & EPSTEIN, E. Absorption of zinc by excised barley roots. *Physiol. Plant.*, Lund, 18:860-869, 1965.
51. SHARMA, K.C.; KRANTZ, B.A.; BROWN, A.L. & QUICK, J. Interaction of Zn and P in top and tomato. *Agron. J.* Madison, 60:453-456, 1968.
52. SOMMER, A.L. Further evidence of the essential nature of zinc for the growth of higher green plants. *Plant Physiol.*, Maryland, 3:217-221, 1928.
53. STARY, J. *The solvent extraction of metal chelates*. Oxford, Pergamon Press, 1964. 239 p.
54. STEINBERG, R.A. Nutrient-solution purification for removal of heavy metals in deficiency investigations with *Aspergillus niger*. *J. Agric. Res.*, Washington, 57:413-414, 1935.
55. STOUT, P.R. & ARNON, D.I. Experimental methods for the study of the role of copper, manganese and zinc in the nutrition of higher plants. *Amer. Journ Bot.*, Washington, 26:144-149, 1939.
56. STOUT, P.S. Micronutrients in crop vigor. *J. Agric. and Food Chem.*, Washington, 4:1000-1006, 1956.
57. STUKENHOLTZ, D.D.; OLSEN, R.J.; GOGAN, R.A. On the mechanism of phosphorus - zinc interaction in corn nutrition. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 30:759-763, 1966.
58. TERMAN, G.L.; GIORDANE, P.M. & ALLEN, S.E. Relationships between dry matter yields and concentrations of Zn and P in young corn plants. *Agron. J.*, Madison, 64: 684-687, 1972.
59. THORNE, W. Zinc deficiency and its control. *Adv. Agron.*, New York, 9:31-65, 1957.
60. VARVEL, G.E. A copper-phosphorus interaction in wheat. *J. of Plant Nutr.*, New York, 7:1623-1634, 1984.
61. VIDROS CORNING BRASIL LTDA. Catálogo. São Paulo, 1976. 76 p.
62. WALLACE, A.; ROMNEY, E.M. & PATEL, P.M. Zinc induced iron deficiency in soybeans. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 7:37-41, 1976.

63. WALLIHAN, E.F. & BRADFORD, G.R. Simplified methods for inducing micronutrient deficiencies. *HortSci.*, Alexandria, 12:327-328, 1977.
64. LO, J.M. & YU, J.C.; HUTCHLSON, F.I. & WAL, C.M. Solvent extraction of dithiocarbamate complexes and back-extraction with mercury (II) for determination of trace metals in seawater by atomic absorption spectrometry. *Anal. Chem.*, Washington, 54:2536-2539, 1982.
65. ZASOSKI, R.J. & BURAU, R.G. A rapid nitric-perchloric acid digestion method for multi-element tissue analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* New York, 8:425-436, 1977.

APPENDICE

APÊNDICE

Método de Purificação	Deficiência	Folhas		Pecúlias		Raízes
		Superior	Inferior	Superior	Inferior	
Adsorção (CaCO ₃)	Cobre	5,87 ab	4,32 ab	3,14 a	2,47 a	3,58 a
	Zinco	4,70 de	3,25 bc	2,84 ab	2,51 a	3,21 ab
	Completo	4,43 de	4,10 ab	1,79 bcd	2,04 a	2,84 abc
Adsorção (CaCO ₃)	Cobre	6,91 a	4,80 a	2,37 a	2,49 a	3,59 a
	Zinco	5,11 cd	3,66 abc	2,72 abc	2,37 a	3,12 ab
	Completo	4,68 de	3,45 a,c	2,64 cd	1,72 a	2,62 cd
Extração (Ditizona 2,5 e pH 5,3)	Cobre	5,72 bc	3,55 abc	2,50 abc	1,92 a	2,66 abc
	Zinco	5,18 cd	3,58 abc	3,32 a	2,46 a	2,97 abc
	Completo	3,90 e	3,05 d	1,30 d	2,00 a	2,20 c
Extração (ATDC)	Médias	5,35	3,73	2,52	2,22	3,01
	C.V. (%)	9,16	13,79	19,21	21,42	11,55

1/ as médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

QUADRO 1A. Concentrações de Nitrogênio (% na matéria seca), em Partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva/

Método de Purificação	Deficiên- cia	Folhas		Pecíolos		Raízes
		Superio- res	Inferio- res	Superio- res	Inferio- res	
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	6,87 ab	4,32 ab	3,14 a	2,47 a	4,77 ab
	Zinco	4,70 de	3,25 bc	2,84 ab	2,51 a	5,13 a
	Completo	4,83 de	4,10 abc	1,79 bcd	2,04 a	4,04 bcd
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	6,91 a	4,50 a	3,37 a	2,49 a	4,62 abc
	Zinco	5,11 cd	3,66 abc	2,77 abc	2,37 a	5,22 a
	Completo	4,68 de	3,48 abc	1,68 cd	1,72 a	3,81 cd
Extração (APDC)	Cobre	5,92 bc	3,65 abc	2,50 abc	1,92 a	3,91 bcd
	Zinco	5,18 cd	3,56 abc	3,32 a	2,46 a	4,75 ab
	Completo	3,90 e	3,05 c	1,30 d	2,00 a	3,65 d
Médias		5,35	3,73	2,52	2,22	4,43
C.V. (%)		7,76	13,79	19,21	21,42	8,76

1/ As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

QUADRO 2A. Concentrações de Potássio (% na matéria seca), em Partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiên- cia	Folhas		Pecíolos		Caules	Raízes
		Superio- res	Inferio- res	Superio- res	Inferio- res		
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	4,94 ab	4,89 ab	7,37 a	7,29 a	5,62 a	5,49 ab
	Zinco	3,24 c	2,69 d	4,87 c	4,82 bc	3,79 c	3,97 b
	Completo	3,52 bc	3,24 cd	4,74 c	4,94 bc	3,49 c	3,90 b
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	4,34 abc	4,94 a	6,77 ab	7,57 a	5,14 ab	5,14 ab
	Zinco	4,17 abc	3,07 d	5,09 c	5,34 bc	3,79 c	4,59 ab
	Completo	3,72 bc	3,24 cd	4,72 c	4,62 c	3,49 c	4,29 ab
Extração (APDC)	Cobre	5,49 a	3,99 bc	6,99 ab	7,27 a	5,24 ab	5,74 a
	Zinco	3,15 c	2,47 d	5,84 bc	5,74 b	4,34 bc	4,54 ab
	Completo	2,97 c	2,79 d	4,74 c	5,17 bc	3,49 c	4,02 ab
Médias		3,95	3,48	5,68	5,86	4,27	4,63
C.V. (%)		17,53	11,03	9,37	6,93	10,02	15,69

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

QUADRO 3A. Concentrações de Cálcio (% na matéria seca), em Partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiên- cia	Folhas		Pecíolos		Caules	Raízes
		Superio- res	Inferio res	Superio- res	Inferio res		
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	2,15 ab	4,28 b	1,09 ab	2,34 ab	1,18 a	0,717 a
	Zinco	3,34 a	5,56 ab	1,10 ab	2,18 ab	1,20 a	0,584 a
	Completo	3,31 a	4,62 ab	1,34 a	2,32 ab	1,09 ab	0,600 a
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	1,96 ab	4,40 b	1,17 ab	2,15 ab	1,17 a	0,677 a
	Zinco	2,84 ab	5,62 ab	1,13 ab	2,46 a	1,15 a	0,631 a
	Completo	2,25 ab	4,75 ab	0,98 ab	2,06 ab	1,14 a	0,584 a
Extração (APDC)	Cobre	2,12 ab	4,93 ab	1,00 ab	2,26 ab	0,98 ab	0,506 ab
	Zinco	3,15 ab	5,96 a	1,10 ab	2,35 ab	1,06 ab	0,506 ab
	Completo	1,25 b	4,46 ab	0,51 b	1,70 b	0,85 b	0,358 b
Médias		2,48	4,95	1,05	2,20	1,09	0,574
C.V. (%)		34,28	12,90	31,09	14,35	10,28	16,21

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

QUADRO 4A. Concentrações de Magnésio (% na matéria seca), em Partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de purificação	Deficiên- cia	Folhas		Pecíolos		Caules	Raízes
		Superio- res	Inferio- res	Superio- res	Inferio- res		
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	0,656 a	0,810 cd	0,602 bc	1,45 bc	0,478 bc	0,462 a
	Zinco	0,741 a	1,143 b	1,039 ab	1,81 ab	0,462 bc	0,431 a
	Completo	0,981 a	0,831 cd	0,862 bc	1,50 bc	0,415 c	0,602 a
Adsorção (Ditizona + Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	0,702 a	0,790 c	0,706 bc	1,41 bc	0,431 c	0,472 a
	Zinco	0,684 a	0,956 bcd	0,717 bc	1,51 bc	0,394 c	0,436 a
	Completo	0,849 a	0,935 bcd	0,644 bc	1,35 c	0,399 c	0,607 a
Extração (APDC)	Cobre	0,845 a	1,153 b	0,966 abc	1,86 ab	0,571 ab	0,529 a
	Zinco	0,799 a	1,600 a	1,393 a	2,05 a	0,649 a	0,555 a
	Completo	0,849 a	1,070 bc	0,561 c	1,22 c	0,467 bc	0,550 a
Médias		0,790	1,032	0,832	1,57	0,474	0,516
C.V. (%)		29,97	10,90	24,00	12,20	12,70	18,62

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

QUADRO 5A. Concentrações de Ferro (ppm na matéria seca), em Partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiência	Folhas		Pecíolos		Caules	Raízes
		Superio res	Inferio res	Superio res	Inferio res		
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	355,0 a	311,2 bcd	178,7 a	172,5 a	120,0 a	2480 a
	Zinco	306,2 abc	328,7 abc	138,7 a	137,5 abcd	82,5 ab	1575 cd
	Completo	226,2 bc	232,5 d	110,0 a	106,2 bcd	77,5 b	2160 abcd
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	342,5 a	268,7 cd	148,7 a	120,0 abcd	92,2 ab	2368 ab
	Zinco	332,5 a	378,7 ab	157,5 a	150,0 abc	85,0 ab	1400 d
	Completo	213,7 c	232,5 d	106,2 a	82,5 d	80,0 b	2168 abcd
Extração (APDC)	Cobre	293,7 abc	238,7 d	131,2 a	96,2 cd	76,2 b	2337 abc
	Zinco	328,7 ab	412,5 a	173,7 a	165,0 ab	77,5 b	1931 abcd
	Completo	225,0 c	253,7 cd	135,0 a	102,5 bcd	75,0 b	1633 bcd
Médias		291,53	295,28	142,83	125,83	85,55	2006
C.V. (%)		14,92	12,24	73,37	21,56	19,03	16,33

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

QUADRO 6A. Conteúdos de Nutrientes (em mg/planta), em Partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiência	N			P			K		
		Folhas	Caulos	Raízes	Folhas	Caulos	Raízes	Folhas	Caulos	Raízes
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizosina, pH 5,0)	Cobre	856 de	391 bc	159 d	97 e	71 b	38 cde	1022 de	612 c	184 g
	Zinco	1105 bcd	526 bc	271 bc	242 ab	81 b	19 e	1091 d	618 c	213 f
	Completo	1844 a	790 a	378 a	201 ab	141 a	60 bc	2002 ab	974 a	365 b
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizosina, pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	1078 bcd	441 bc	203 cd	126 cde	76 b	46 cd	1284 cd	629 bc	227 e
	Zinco	1314 b	611 ab	298 b	189 bcd	91 b	28 de	1410 cd	753 abc	261 d
	Completo	1900 a	781 a	420 a	226 ab	147 a	83 ab	2277 a	1011 a	472 a
Extração (APDC)	Cobre	912 cde	344 c	172 d	124 de	75 b	55 c	1244 cd	630 bc	252 d
	Zinco	690 e	390 bc	204 cd	258 a	94 b	26 de	6620 e	570 c	196 g
	Completo	1258 bc	566 abc	303 b	192 abc	137 a	92 a	1597 bc	898 ab	335 c
Médias		1217	538	268	184	101	50	1394	744	278
C.V. (%)		12,13	18,35	10,73	15,20	13,65	20,10	13,24	15,60	21,19

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

QUADRO 7A. Conteúdos de Nutrientes (em mg/planta), em Partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiência	Ca			Mg			S		
		Ca			Mg			S		
		Folhas	Caules	Raízes	Folhas	Caules	Raízes	Folhas	Caules	Raízes
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 5,0)	Cobre	519 c	132 c	23,87 bc	147 f	52,5 b	15,53 c	135 de	30,67 c	13,27 c
	Zinco	1027 b	197 cde	30,47 bc	320 cd	75,6 b	23,21 c	177 cde	28,05 c	19,01 c
	Completo	1716 a	307 ab	55,90 a	513 ab	116,3 a	56,46 ab	431 ab	57,93 a	40,10 b
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona, pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	691 c	144 de	29,81 bc	202 ef	53,1 b	21,02 c	191 cd	31,75 c	15,79 c
	Zinco	1167 b	228 bc	36,05 b	306 de	77,8 b	24,91 c	213 c	35,65 bc	23,39 c
	Completo	1693 a	327 a	64,59 a	546 a	115,5 a	67,22 a	469 a	58,58 a	54,70 a
Extração (AFDC)	Cobre	655 c	118 e	22,46 c	250 def	68,5 b	23,31 c	182 cd	28,69 c	20,31 c
	Zinco	667 c	135 e	21,78 c	229 def	82,8 b	23,82 c	100 e	23,38 c	15,52 c
	Completo	1087 b	222 cd	29,84 bc	421 bc	120,5 a	45,84 b	358 b	52,00 ab	37,33 b
Médias		1025	201	34,97	326	84,7	33,48	251	38,53	26,60
C.V. (%)		13,53	17,51	15,47	14,10	15,68	21,03	12,90	18,15	16,82

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

QUADRO 8A. Conteúdo de Micronutrientes (em mg/planta), em Partes de Plantas de Tomate, Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva

Método de Purificação	Deficiência	Mn			Fe		
		Folhas	Caules	Raízes	Folhas	Caules	Raízes
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	1,21 b	0,441 c	0,304 d	5,13 c	1,33 abc	8,20 c
	Zinco	1,22 b	0,616 abc	0,400 bcd	7,81 abc	1,34 abc	8,43 c
	Completo	1,90 a	0,844 ab	0,461 abcd	9,73 a	2,18 ab	19,84 a
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	1,54 ab	0,497 c	0,352 cd	5,69 bc	1,18 bc	10,37 bc
	Zinco	1,03 b	0,531 bc	0,347 d	10,20 a	1,66 abc	7,90 c
	Completo	1,88 a	0,705 abc	0,524 abcd	10,51 a	2,34 a	23,83 a
Extração (APDC)	Cobre	1,32 ab	0,456 c	0,601 abc	5,19 c	0,91 c	10,26 bc
	Zinco	1,21 b	0,482 c	0,680 a	5,48 bc	1,08 c	8,33 c
	Completo	1,45 ab	0,910 a	0,645 ab	9,01 ab	1,94 abc	13,66 b
Médias		1,42	0,609	0,479	7,64	1,55	12,31
C.V. (%)		19,43	23,23	22,69	19,79	29,31	15,40

1/ As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

QUADRO 9A. Distribuição Percentual de N, K e Ca em Folhas, Caules e Raízes, em Relação ao Total Ab sorvido, em Plantas de Tomate Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiên- cia	N			K			Ca		
		Folhas	Caules	Raízes	Folhas	Caules	Raízes	Folhas	Caules	Raízes
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizo- na, pH 5,0)	Cobre	61,01 ab	27,67 a	11,31 c	56,35 a	33,49 ab	10,15 a	76,96 b	19,39 ab	3,63 a
	Zinco	58,07 ab	27,60 a	14,32 ab	56,56 a	32,33 b	11,10 a	81,90 a	15,67 ab	2,42 bc
	Completo	61,35 ab	26,10 a	12,54 bc	59,96 a	29,18 b	10,85 a	82,57 a	14,73 b	2,68 abc
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizo- na, pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	62,54 a	25,64 a	11,81 bc	59,98 a	29,38 b	10,63 a	79,63 ab	16,61 ab	3,44 ab
	Zinco	58,92 ab	27,57 a	13,50 abc	57,93 a	31,04 b	11,02 a	81,25 ab	16,13 ab	2,60 abc
	Completo	61,39 ab	25,03 a	13,57 abc	60,63 a	26,77 b	12,59 a	81,17 ab	15,71 ab	3,10 abc
Extração (APDC)	Cobre	63,57 a	24,18 a	12,23 bc	58,08 a	29,92 b	11,99 a	82,35 a	14,83 b	2,81 abc
	Zinco	53,73 b	30,11 a	16,15 a	44,86 b	40,68 a	14,45 a	80,83 ab	16,49 ab	2,66 abc
	Completo	59,01 b	26,69 a	14,29 ab	56,44 a	31,99 b	11,56 a	81,22 b	16,54 ab	2,22 c
Médias		59,95	26,73	13,30	56,75	31,64	11,59	80,91	16,23	2,84
C.V. (%)		5,59	11,12	9,16	5,98	10,65	17,40	2,34	10,85	16,98

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

QUADRO 10A. Distribuição Percentual de Mg e S, em Folhas, Caules e Raízes, em Relação ao Total Absorvido, em Plantas de Tomate Colhidas. Após 50 Dias em Solução Nutritiva/

Método de Purificação	Deficiên cia	Mg				S			
		Folhas		Caules		Raízes		Folhas	
		Raízes		Caules		Raízes		Folhas	
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	68,71	a	24,16	a	7,12	a	75,47	ab
	Zinco	75,99	a	18,39	ab	5,60	a	78,92	a
	Completo	74,74	a	16,98	b	8,27	a	81,49	a
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	73,33	a	19,12	ab	7,54	a	79,96	a
	Zinco	74,68	a	19,09	ab	6,22	ab	77,91	ab
	Completo	74,94	a	15,80	b	9,24	a	80,59	a
Extração (APDC)	Cobre	72,93	a	20,18	ab	6,88	a	78,43	a
	Zinco	68,26	a	24,55	a	7,18	ab	71,98	b
	Completo	71,54	a	20,61	ab	7,84	a	79,98	a
Médias		72,79		19,88		7,32		78,30	
C.V. (%)		4,90		13,45		21,53		3,40	
								13,15	
								17,41	
								18,25	

1/ As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Método de Purificação	Deficiência	Mn			Fe		
		Folhas	Caules	Raízes	Folhas	Caules	Raízes
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	61,83 ab	22,45 a	15,70 a	34,85 bc	9,07 a	56,07 ab
	Zinco	55,02 ab	27,00 a	17,97 ab	44,54 ab	7,72 a	47,72 bc
	Completo	58,39 ab	27,23 a	14,36 b	30,88 c	6,95 a	62,16 ab
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	64,48 a	20,74 a	14,77 b	33,05 bc	6,89 a	60,05 ab
	Zinco	53,44 ab	27,96 a	18,59 ab	51,60 a	8,50 a	39,89 c
	Completo	60,53 ab	22,59 a	16,87 b	28,63 c	6,40 a	64,96 a
Extração (APDC)	Cobre	55,72 ab	19,04 a	25,22 ab	31,15 bc	5,54 a	63,30 a
	Zinco	50,98 ab	20,12 a	28,88 a	36,54 bc	7,11 a	56,34 ab
	Completo	48,20 b	30,33 a	21,46 ab	36,78	7,94 a	55,27 ab
Médias		56,51	24,16	19,31	36,45	7,35	56,19
C.V. (%)		10,76	22,19	25,41	15,48	29,29	11,34

1/ As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Método de Purificação	Deficiên- cia	N	Ca	Mg	Fe
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona) pH 5,0)	Cobre	423 a	201 abc	64,5 a	4449 a
	Zinco	361 abc	238 ab	78,3 a	3300 bc
	Completo	321 bcd	223 abc	73,6 a	3433 bc
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona) pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	393 ab	198 abc	63,1 a	3950 ab
	Zinco	388 ab	249 a	71,5 a	3473 abc
	Completo	281 d	189 abc	66,2 a	3335 bc
Extração (APDC)	Cobre	321 bcd	179 bc	77,2 a	3709 abc
	Zinco	296 cd	189 abc	77,5 a	3435 bc
	Completo	256 d	161 c	70,7 a	2954 c
Médias		338	203	71,4	3560
C.V. (%)		9,82	13,90	10,02	11,86

1/ As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

Método de Purificação	Deficiência	N	P	K	Ca	Mg	S
Adsorção (CaCO ₃)	Cobre	23,0 c	156 c	17,8 b	48,6 ab	152 a	181 b
Extração (Ditizona pH 5,0)	Zinco	27,4 bc	151 cd	27,1 a	41,9 b	125 bcd	234 a
	Completo	29,9 b	225 a	26,9 a	43,0 b	131 abc	169 b
Adsorção (CaCO ₃)	Cobre	23,2 c	161 bc	18,6 b	46,2 b	145 ab	168 b
Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Zinco	26,8 bc	193 abc	24,7 a	42,2 b	146 ab	221 a
	Completo	31,9 ab	216 ab	26,3 a	47,5 b	136 abc	169 b
Extração (APDC)	Cobre	27,6 bc	153 c	18,4 b	49,5 ab	114 cd	170 b
	Zinco	27,1 bc	94 d	25,1 a	42,4 b	103 d	250 a
	Completo	37,0 a	186 abc	28,0 a	58,9 a	134 abc	176 b
	Médias	28,2	170	23,7	46,7	132	193
	C.V. (%)	8,89	14,26	8,64	9,52	10,64	7,88

1/ As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

QUADRO 14A. Eficiência de Utilização de Cu, Zn, Mn, Fe (em g de Matéria Seca Total/mg do Micronutriente Absorvido) em Plantas de Tomate Colhidas Após 50 Dias em Solução Nutritiva^{1/}

Método de Purificação	Deficiên- cia	Cu	Zn	Mn	Fe
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 5,0)	Cobre	301 a	14,2 d	16,5 bc	2,22 b
	Zinco	131 b	57,6 b	23,3 abc	2,96 ab
	Completo	107 b	25,3 c	28,9 a	2,85 ab
Adsorção (CaCO ₃) + Extração (Ditizona pH 2,5 e pH 8,3)	Cobre	313 a	14,5 d	16,9 bc	2,32 b
	Zinco	132 b	54,4 b	31,7 a	3,04 ab
	Completo	133 b	28,1 c	31,8 a	2,70 ab
Extração (APDC)	Cobre	357 a	19,6 cd	16,5 bc	2,39 b
	Zinco	108 b	70,1 a	14,7 c	2,34 b
	Completo	129 b	26,3 c	26,2 ab	3,22 a
Médias		190	34,4	22,9	2,67
C.V. (%)		13,16	11,00	19,46	13,04

^{1/} As médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.