DEFICIÊNCIAS DE MACRO E MICRONUTRIENTES E TOXIDEZ DE
ALUMÍNIO E DE MANGANÊS NA PIMENTEIRA DO REINO (*Piper
nigrum*, L.)

CARLOS ALBERTO COSTA VELOSO

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. TAKASHI MURAOKA

Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz",
da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em
Agronomia, Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
1993

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

V443d Veloso, Carlos Alberto Costa
 Deficiências de macro e micronutrientes e toxidez
 de alumínio e de manganês na pimenteira do reino
 (*Piper nigrum*, L.). Piracicaba, 1993.
 145p.

 Tese - ESALQ
 Bibliografia.

 1. Alumínio em pimenta do reino - Toxidez 2. Manganês em pimenta do reino - Toxidez 3. Nutriente em pimenta do reino - Deficiência 4. Pimenta do reino - Toxidez I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.84

DEFICIÊNCIAS DE MACRO E MICRONUTRIENTES E TOXIDEZ DE
ALUMÍNIO E DE MANGANÊS NA PIMENTEIRA DO REINO (*Piper
nigrum*, L.)

CARLOS ALBERTO COSTA VELOSO

Aprovada em: 20.08.1993

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Takashi Muraoka	CENA/USP
Prof. Dr. Eurípedes Malavolta	CENA/USP
Prof. Dr. Antonio Enedi Boaretto	CENA/USP
Prof. Dr. Leonardo Theodoro Büll	FCA/UNESP
Profª Drª Janice Guedes de Carvalho	ESAL

Prof. Dr. TAKASHI MURAOKA

Orientador

Aos meus pais Odino e Maria Ramos,
e aos meus irmãos.

Ofereço

À minha esposa Arletty, pela
dedicação e companheirismo.

A meus filhos Cristiane, Juliane e
Marcelo, razões desta conquista,
desejando que, ao longo de suas vidas,
semeiem trabalho, dignidade e honestidade

Dedico

"Ao homem cabe traçar os seus caminhos,
mas é o Senhor que lhe dirige os passos"

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Takashi Muraoka, pela orientação, compreensão, confiança e apoio em todas etapas deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Eurípedes Malavolta, pelas sugestões e colaboração em diversas fases da pesquisa.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela oportunidade oferecida para a realização deste curso.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, pelo treinamento recebido.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), pela cessão das dependências da casa de vegetação, para execução dos experimentos.

Ao Dr. Moacir Furlani de São José do Rio Preto-SP, pela doação das mudas de pimenta do reino, imprescindíveis à realização deste trabalho.

Ao técnico especializado da Seção de Fertilidade do Solo do CENA, João Odemir Salvador, pelo auxílio na

execução dos experimentos.

Aos funcionários do Laboratório da Seção de Química Analítica, Nutrição Mineral e Fertilidade do Solo (CENA), Aparecida Fátima Patreze, Iolanda Aparecida Rufini, Cleusa Pereira Cabral, Marileuza Aparecida Bassi Elias e Sandra Teresa Pereira dos Santos, pelo auxílio na realização das análises químicas de plantas.

Aos colegas Antonio Lourenço Guidoni, pesquisador do CNPSA/EMBRAPA e Rui da Silva Verneque, do CNPGL/EMBRAPA, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Às bibliotecárias Eliana Maria Garcia Sabino e Katia Maria de Andrade Ferraz, pelo auxílio na revisão das referências bibliográficas.

A Prof^a Cimara Pereira Prada, pelo auxílio na revisão de português.

Às funcionárias da Seção de Pós-Graduação, pela atenção dispensada durante estes longos anos de convivência.

E a todos os professores, colegas e funcionários, que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho,

os sinceros agradecimentos do autor.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xiv
"CURRICULUM VITAE".....	xix
RESUMO.....	xx
SUMMARY.....	xxiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Exigências minerais.....	4
2.1.1. Marcha de absorção.....	4
2.1.2. Extração e exportação de nutrientes..	7
2.2. Deficiências minerais.....	11
2.2.1. Deficiência de nitrogênio.....	11
2.2.2. Deficiência de fósforo.....	12
2.2.3. Deficiência de potássio.....	13
2.2.4. Deficiência de cálcio.....	14
2.2.5. Deficiência de magnésio.....	15
2.2.6. Deficiência de enxofre.....	16
2.2.7. Deficiências de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn.....	18
2.3. Concentração de nutrientes.....	22

2.4. Excessos minerais (Al e Mn)	23
2.4.1. Toxidez de alumínio.....	23
2.4.1.1. Fatores do solo que afetam a toxidez.....	25
2.4.1.2. Efeitos na nutrição mineral.	26
2.4.1.3. Sintomas gerais de toxidez..	29
2.4.2. Toxidez de manganês.....	30
2.4.2.1. Fatores do solo que influen- ciam a disponibilidade.....	31
2.4.2.2. Efeitos na nutrição mineral.	33
2.4.2.3. Sintomas gerais de toxidez..	35
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1. Condições climáticas do local.....	36
3.2. Procedimento geral.....	38
3.2.1. Experimento com omissão de nutrientes	38
3.2.2. Experimento com doses de alumínio....	40
3.2.3. Experimento com doses de manganês....	43
3.3. Análise química das plantas.....	44
3.4. Análise estatística.....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1. Experimento com omissão de nutrientes.....	47
4.1.1. Sintomas de deficiência.....	47
4.1.1.1. Deficiência de nitrogênio..	47
4.1.1.2. Deficiência de fósforo.....	48
4.1.1.3. Deficiência de potássio....	49
4.1.1.4. Deficiência de cálcio.....	49

4.1.1.5. Deficiência de magnésio....	50
4.1.1.6. Deficiência de enxofre.....	52
4.1.1.7. Deficiência de boro.....	52
4.1.1.8. Deficiência de cobre.....	53
4.1.1.9. Deficiência de ferro.....	55
4.1.1.10. Deficiência de manganês....	55
4.1.1.11. Deficiência de zinco.....	56
4.1.2. Produção de matéria seca.....	56
4.1.3. Efeito da omissão de macro e micronu- trientes sobre a quantidade e teores de nutrientes.....	59
4.1.4. Concentração de nutrientes.....	61
4.1.4.1. Nitrogênio.....	61
4.1.4.2. Fósforo.....	63
4.1.4.3. Potássio.....	63
4.1.4.4. Cálcio.....	66
4.1.4.5. Magnésio.....	68
4.1.4.6. Enxofre.....	70
4.1.4.7. Cobre.....	72
4.1.4.8. Manganês.....	73
4.1.4.9. Ferro.....	75
4.1.4.10. Zinco.....	77
4.2. Experimento com doses de alumínio.....	79
4.2.1. Efeito do alumínio sobre o crescimen- to e produção de matéria seca.....	79
4.2.2. Efeito do alumínio na composição quí-	

mica da pimenteira do reino.....	83
4.2.3. Efeito do alumínio sobre a extração de nutrientes.....	84
4.2.3.1. Fósforo.....	84
4.2.3.2. Potássio.....	85
4.2.3.3. Cálcio.....	86
4.2.3.4. Magnésio.....	87
4.2.3.5. Alumínio.....	88
4.2.3.6. Manganês.....	91
4.2.3.7. Ferro.....	99
4.2.4. Efeito de alumínio na distribuição de nutrientes nas raízes e parte aérea..	100
4.2.5. Sintomas de toxidez de alumínio.....	101
4.3. Experimento com doses de manganês.....	102
4.3.1. Produção de matéria seca.....	102
4.3.2. Efeito das concentrações de manganês na composição química da pimenteira do reino.....	104
4.3.3. Efeito das doses de manganês sobre a extração de nutrientes.....	107
4.3.3.1. Macronutrientes.....	107
4.3.3.2. Micronutrientes.....	110
5. CONCLUSÕES.....	122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
APÊNDICE.....	142

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Dados relativos à umidade do ar, temperatura mínima e máxima, durante o período de condução dos experimentos em casa de vegetação.....	37
Figura 2. Detalhe de pimenteiras deficientes em: P, K no início, N, Ca, K, Mg no início, Mg e S.....	51
Figura 3. Pimenteiras cultivadas com todos os nutrientes e com deficiência em B, Cu, Mn, Fe e Zn.....	54
Figura 4. Produção de matéria seca (g/planta) das folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.....	81
Figura 5. Acúmulo de fósforo (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.....	92
Figura 6. Acúmulo de potássio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras	

submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.....	93
Figura 7. Acúmulo de cálcio (mg/planta) nas folhas caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.	94
Figura 8. Acúmulo de magnésio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.....	95
Figura 9. Acúmulo de alumínio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.....	96
Figura 10. Acúmulo de manganês nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.....	97
Figura 11. Acúmulo de ferro nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.....	98
Figura 12. Produção de matéria seca (g/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.....	104
Figura 13. Acúmulo de nitrogênio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução	

nutritiva.....	110
Figura 14. Acúmulo de fósforo (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiros submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.....	111
Figura 15. Acúmulo de potássio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiros submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.....	112
Figura 16. Acúmulo de cálcio (mg/planta) nas folhas caule e raízes das pimenteiros submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.	113
Figura 17. Acúmulo de magnésio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiros submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.....	114
Figura 18. Acúmulo de cobre (ug/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiros submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.	118
Figura 19. Acúmulo de ferro (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiros submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.	119
Figura 20. Acúmulo de manganês (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiros submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.....	120

Figura 21. Acúmulo de zinco (ug/planta) nas folhas,
caule e raízes das pimenteiras submetidas
a doses de manganês na solução nutritiva. 121

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Quantidades de nutrientes (gramas/planta) acumuladas anualmente.....	8
Tabela 2. Quantidades dos nutrientes (gramas) existentes nas infrutescências e percentual que representam sobre o total existente na planta.....	9
Tabela 3. Quantidades de micronutrientes (mg/planta) removidos do solo por ano, nas diferentes partes das pimenteiras.....	10
Tabela 4. Composição química das soluções nutritivas (ml/l) modificada a partir de WAARD (1969).....	39
Tabela 5. Composição da solução nutritiva usada para o estudo de toxidez de alumínio, modificada a partir de WAARD (1969).....	42
Tabela 6. Composição da solução nutritiva usada para o estudo de toxidez de manganês, modificada a partir de WAARD (1969).....	43
Tabela 7. Produções de matéria seca (g/planta) das folhas, caule e raízes das pimenteiras do	

reino, nos diferentes tratamentos.....	57
Tabela 8. Produção de matéria seca (g/planta), teor (% e ug/g) e quantidades existentes (mg/planta e ug/planta) do nutriente omitido nas folhas, caule e raízes das pimentei- ras, em função dos tratamentos (média de 4 repetições).....	60
Tabela 9. Teores médios de nitrogênio (%) nas fo- lhas, caule e raízes das pimentei- ras do reino, nos diferentes tratamentos.....	62
Tabela 10. Teores médios de fósforo (%) nas folhas, caule e raízes das pimentei- ras do reino, nos diferentes tratamentos.....	64
Tabela 11. Teores médios de potássio (%) nas folhas, caule e raízes das pimentei- ras do reino, nos diferentes tratamentos.....	65
Tabela 12. Teores médios de cálcio (%) nas folhas, caule e raízes das pimentei- ras do reino, nos diferentes tratamentos.....	67
Tabela 13. Teores médios de magnésio (%) nas folhas, caule e raízes das pimentei- ras do reino, nos diferentes tratamentos.....	69
Tabela 14. Teores médios de enxofre (%) nas folhas, caule e raízes das pimentei- ras do reino, nos diferentes tratamentos.....	71
Tabela 15. Teores médios de cobre (ug/planta) nas	

folhas, caule e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos.....	73
Tabela 16. Teores médios de manganês (ug/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos.....	74
Tabela 17. Teores médios de ferro (ug/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos.....	76
Tabela 18. Teores médios de zinco (ug/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos.....	78
Tabela 19. Efeito das concentrações de Al em solução nutritiva na altura, comprimento das raízes e peso da matéria seca das folhas, caule e raízes das pimenteiras do reino..	80
Tabela 20. Composição química das folhas (1ª folha dos ramos frutíferos a 2/3 abaixo da copa) das pimenteiras, amostradas 215 dias após o início dos tratamentos.....	84
Tabela 21. Quantidades médias de nutrientes e alumínio, existentes nas folhas das pimenteiras do reino submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.....	87
Tabela 22. Quantidades médias de nutrientes e alumínio, existentes no caule das pimenteiras do reino, submetidas a doses de alumínio	

na solução nutritiva.....	89
Tabela 23. Quantidades médias de nutrientes e alumínio, existentes nas raízes das pimentei- ras do reino submetidas a doses de alumí- nio na solução nutritiva.....	91
Tabela 24. Influência das concentrações de Al em solução nutritiva na distribuição de nu- trientes e Al nas raízes e parte aérea das pimenteiras, 215 dias após o início dos tratamentos.....	101
Tabela 25. Pesos médios da matéria seca (g/planta), produzidos pelas folhas, caule e raízes e das plantas (cm), submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.....	103
Tabela 26. Composição química das folhas (1ª folha dos ramos frutíferos a 2/3 abaixo da copa) das pimenteiras, amostradas seis meses após o início dos tratamentos.....	106
Tabela 27. Quantidades médias de macronutrientes (mg/planta) absorvidas pelas folhas, cau- le e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva...	108
Tabela 28. Quantidades médias de micronutrientes (ug/planta) absorvidas pelas folhas, cau- le e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva...	116

"CURRICULUM VITAE"

Carlos Alberto Costa Veloso, filho de Odino Tibiriçá Veloso Filho e Maria Ramos Pinto Costa Veloso, nasceu em Bacabal, Maranhão, em 04 de abril de 1949.

Em julho de 1974, graduou-se em Agronomia pela Escola de Agronomia do Maranhão, atual Universidade Estadual do Maranhão - UEMA.

Em agosto de 1975, foi contratado pela Secretaria de Agricultura do Maranhão, lotado no Departamento de Pesquisa e Experimentação.

Em maio de 1976, foi contratado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA.

Em março de 1978, concluiu o curso de Mestrado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa.

Em março de 1990, iniciou o Curso de Solos e Nutrição de Plantas ao nível de Doutorado, na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

Atualmente é pesquisador do Centro de Pesquisa Agroflorestral da Amazônia Oriental - CPATU, localizado em Belém, Pará.

**DEFICIÊNCIAS DE MACRO E MICRONUTRIENTES E TOXIDEZ DE
ALUMÍNIO E MANGANÊS NA PIMENTEIRA DO REINO (*Piper
nigrum*, L.).**

Autor: Carlos Alberto Costa Veloso

Orientador: Prof. Dr. Takashi Muraoka

RESUMO

A pimenta do reino (*Piper nigrum*, L.) vem sendo cultivada, em sua maior parte, em áreas com solos de baixa fertilidade natural, caracterizadas por baixa saturação por bases, alta saturação de alumínio e acidez elevada. Essa cultura constitui-se em uma das alternativas econômicas para a região amazônica, num programa de expansão da fronteira agrícola.

No intuito de contribuir com alguns aspectos relacionados à nutrição mineral da pimenteira, foram conduzidos três experimentos em solução nutritiva com os seguintes objetivos: a) obter um quadro sintomatológico das deficiências de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn; b) verificar os efeitos da toxidez de Al e de Mn no crescimento e na composição química da pimenteira do reino; c) determinar as concentrações de Al e de Mn que induzem

sintomas de toxidez.

Para isso, cultivaram-se mudas de pimenteira cultivar Bragantina em solução nutritiva completa, com omissão alternada de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, e Zn. Nos experimentos com doses de Al e de Mn, usou-se a cultivar Guajarina. O alumínio foi adicionado à solução nutritiva, nas concentrações de 0; 5; 10; 15; 20 e 40 mg/l, enquanto o Mn foi fornecido nas concentrações: 0; 10; 20; 30; 40 e 50 mg/l.

Após um período compreendido entre 40 e 140 dias, começaram a aparecer os sintomas de deficiência, devido à omissão dos nutrientes, sendo visualizados e identificados. A omissão de nitrogênio foi o tratamento que mais afetou o desenvolvimento das plantas. Os nutrientes mais absorvidos foram N e K, seguindo-se, pela ordem decrescente o Ca, Mg, P, S, Fe, Mn, Zn, B e Cu.

Os teores adequados e deficientes de nutrientes nas folhas foram: N=3,47 e 1,74%; P=0,32 e 0,14%; K=1,95 e 0,56%; Ca=1,76 e 0,77%; Mg=0,58 e 0,43%; S=0,28 e 0,17%; B=34 e 17 ppm; Cu=11 e 6 ppm; Mn=100 e 31 ppm; Fe=261 e 234 ppm; Zn=53 e 16 ppm.

O sintoma inicial de toxidez de Al foi caracterizado por um retardamento no crescimento radicular, com aumento no diâmetro das raízes. Observou-se efeito positivo do Al na produção de matéria seca até a adição de 15 mg Al/l na solução, o que correspondeu a uma maior

absorção de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe e Al. Concluiu-se que a pimenteira é tolerante à presença de concentrações de Al inferiores a 20 mg/l no substrato. Doses superiores provocam distúrbios nutricionais na planta.

O excesso de manganês (30 mg/l) na solução nutritiva reduziu o desenvolvimento das plantas e a absorção de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Zn.

Observaram-se sintomas de toxidez de manganês a partir da concentração de 20 mg Mn/l na solução: clorose e pontos necróticos nas folhas.

**DEFICIENCIES OF MACRO AND MICRONUTRIENTS AND TOXICITY OF
ALUMINUM AND MANGANESE IN BLACK PEPPER (*Piper nigrum*, L.)**

Author: CARLOS ALBERTO COSTA VELOSO

Adviser: PROF. DR. TAKASHI MURAOKA

SUMMARY

Black pepper (*Piper nigrum*, L.) is usually grown in soils of low natural fertility, and very acidic. The crop represents an economical option for the Amazon region when a program of expanding the agricultural frontier is considered.

The following experiments were carried out in order to gain information on the mineral nutrition of black pepper: a) inducing symptoms of deficiency of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn; b) assessment of the effects of Al and Mn on growth and chemical composition; c) determination of concentrations of Al and Mn in the substrate which cause toxicity symptoms.

Young plants of the Bragantina cultivar were grown in nutrient solution under the treatments: complete, minus N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, and Zn. In the

experiments designed to verify the effect of rates of Al and Mn the Guajarina cultivar was used. Al in the nutrient solution was added at the rates of 0, 5, 10, 15, 20 and 40 ppm. Mn was supplied at the concentrations of 0, 10, 20, 30, 40 and 50 ppm.

Symptoms of deficiency due to the omission of nutrients in the solution began to show up between 40 and 140 days after the experiment was started. Lack of nitrogen was the treatment with more drastic effect on growth. Nitrogen and K were the elements taken up in higher proportion, being followed, in decreasing order, by Ca, Mg, P, S, Fe, Mn, Zn, B and Cu.

Adequate and deficient leaf levels of the elements were found to be: N=3,47 and 1,74%, respectively; P=0,32 and 0,14%; K=1,95 and 0,56%; Ca=1,76 and 0,77%; Mg=0,58 and 0,43%; S=0,28 and 0,17%; B=34 and 17 ppm; Cu=11 and 6 ppm; Mn=100 and 31 ppm; Fe=261 and 234 ppm; Zn=53 and 16 ppm.

The initial symptom of Al toxicity was a slower development of the roots which were thicker than the control ones. Dry weight increased when aluminum supply went from 0 to 15 ppm Al; correspondingly there was a higher uptake of P, K, Ca, Mg, Mn, Fe and Al. It appears that black pepper is tolerant to Al concentration as high as 20 ppm. Higher rates cause nutritional disturbances.

Excess Mn (30 ppm) in the nutrient solution

caused a reduction in growth and in the uptake of P, K, Ca, Mg, Cu, Fe and Zn. Toxicity symptoms were observed, as chlorosis and necrotic dots in the leaves, when the level of supply was 20 ppm or higher.

1. INTRODUÇÃO

A pimenta do reino (*Piper nigrum*, L.) é uma espécie perene, arbustiva e trepadeira, originária de regiões tropicais da Índia. Seus frutos possuem alto valor comercial na forma de pimenta preta, pimenta branca e pimenta verde em conserva. Essa especiaria é empregada como condimento na alimentação, nas indústrias de carne e perfumaria (MAISTRE, 1969).

No Brasil, a cultura foi introduzida pelos colonizadores portugueses, com um cultivar de folhas largas e cachos longos, pouco produtivo. Em escala comercial, entretanto, a expansão da cultura teve início em 1933, no Estado do Pará, quando os imigrantes japoneses trouxeram de Cingapura outro cultivar, de folhas pequenas e frutos medianos, mais produtivo (ALBUQUERQUE & CONDURU, 1971).

Desde a introdução da pipericultura até os dias atuais, a produção brasileira está concentrada no Estado do Pará, cuja safra de 1991, foi de 33.210 ha, com uma produção de 75.299 (t) e um rendimento de 2.267 kg/ha, equivalente a 90% da produção nacional (ANUÁRIO, 1992).

As principais áreas de produção de pimenta do reino no Brasil estão localizadas em regiões caracterizadas

por solos ácidos, baixa saturação por bases e frequentemente, possuem alumínio trocável e manganês em quantidades suficientemente altas para limitar o desenvolvimento normal das plantas (FALESI, 1972).

O Al e o Mn são os elementos que, por excesso, mais limitam o crescimento das plantas nos solos ácidos. Como o Al é o principal componente da acidez do solo, a alta concentração desse elemento provoca a baixa absorção do P e do K, pela formação de compostos insolúveis e reduz a absorção do Ca e Mg pelas plantas (FOY, 1974).

A correção da acidez do solo, através da calagem, é indicada para que as plantas possam aproveitar eficientemente os nutrientes e a água, e expressar suas potencialidades. Entretanto a recomendação dessa prática para a pimenteira do reino tem sido feita de forma empírica, sem ênfase ao aprofundamento do sistema radicular. Assim, são indicadas as aplicações de pequenas doses na cova de plantio (ALBUQUERQUE et alii, 1989).

Por outro lado, as desordens nutricionais - deficiências, excessos e desequilíbrios - causam diminuição na produção de qualquer cultura, por isso, acredita-se que a pimenteira não constitua exceção. Essa diminuição na colheita é, em geral, precedida por sintomas visuais geralmente mais evidentes nas folhas, embora a produção possa já estar comprometida, mesmo antes da manifestação dos mesmos (MALAVOLTA et alii, 1989).

A diagnose visual de deficiências minerais em folhas de pimenteira, ao lado do conhecimento dos teores de nutrientes, pode constituir uma técnica auxiliar na avaliação da necessidade de fertilizantes e corretivos. Além disso, a técnica de cultivo de plantas em solução nutritiva tem permitido avanços no conhecimento da nutrição das plantas, pois controla mais adequadamente a composição do meio e elimina a heterogeneidade e complexidade do solo (EPSTEIN, 1975).

A omissão de um nutriente deve afetar o crescimento e provocar o aparecimento de deficiências minerais, especialmente nas folhas. Por outro lado, o excesso de Al e Mn, comum em solos ácidos, deve afetar o sistema radicular, o crescimento de plantas e reduzir a absorção de nutrientes, provocando sintomas típicos.

Portanto, devido aos poucos dados de pesquisa disponíveis sobre as desordens nutricionais, ocasionadas pelas deficiências e excessos de nutrientes, e sobre o efeito nocivo de Al em pimenteiras, foram conduzidos experimentos em solução nutritiva com os objetivos de obter um quadro sintomatológico das deficiências de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn; verificar os efeitos do Al e de Mn, no crescimento e na composição química da pimenteira do reino; e determinar as concentrações de Al e de Mn que induzem sintomas de toxidez.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Exigências minerais

Na literatura disponível sobre pimenta do reino, tem se verificado que os estudos, executados nos principais países produtores dessa espécie, mostram, de forma bem consistente, que a exigência de nutrientes pela pimenteira segue a seguinte ordem decrescente: N e K > Ca > Mg > P (SIM, 1971).

WAARD (1964), estimou a exigência de nutrientes pela pimenteira nas condições de Sarawak na Malásia em: 252 kg de N, 13,6 kg de P, 186 kg de K, 13,2 kg de Mg e 45,6 kg de Ca por hectare e anualmente.

No Brasil, KATO (1978), estimou a necessidade por planta adulta em 90 g de N, 10 g de P, 120 g de K, 80 g de Ca, e 11 g de Mg, para sua manutenção e produção.

2.1.1. Marcha de absorção

A quantidade de nutrientes acumulada e

exportada pelos grãos é importante para uma futura recomendação de adubação. Além disso, é importante conhecer como se dá a absorção de nutrientes durante os diferentes ciclos da planta.

SIM (1971), estudando o conteúdo de macronutrientes de pimenteiras do reino, durante os diversos estádios de desenvolvimento, encontrou altos teores de N nos frutos; o teor de K no pericarpo dez vezes maior que na semente, e o P foi o nutriente que apresentou menor teor entre os nutrientes analisados. Determinou que para a produção de frutos, o N é o nutriente mais exigido, seguido do K e do Ca.

O mesmo pesquisador ainda estudou a marcha de absorção de nutrientes nas partes vegetativas de pimenteiras no início das frutificações. O nitrogênio apresentou-se com teores mais altos nas folhas, seguindo-se os ramos ortotrópicos, plagiotrópicos e raízes. Em plantas de 1 a 2 anos de idade os teores de fósforo foram maiores nos ramos do que no limbo. O potássio em plantas adultas apresentou a seguinte ordem de concentração: pecíolo > ramos plagiotrópicos > ramos ortotrópicos > limbo > raízes laterais. Os teores de cálcio encontrados foram relativamente altos e obedecendo a seguinte ordem; pecíolo > ramos ortotrópicos > ramos plagiotrópicos > raízes. Os teores mais elevados de magnésio foram encontrado no pecíolo e nas raízes.

Do mesmo modo, SIM (1971), observou quanto que, na distribuição da matéria seca nas diversas partes amostradas, as raízes e os ramos ortotrópicos representam muito pouco quando comparados com o total de folhas, ramos plagiotrópicos ou frutos. Em plantas adultas, a produção anual de matéria seca é de 6,8 kg/planta ou o equivalente a 11.426 kg/ha, com produção de 3,03 kg/planta de pimenta tipo branca.

CHIBA & TERADA (1976), também estudaram a composição mineral de pimenteira durante seu crescimento e concluíram ser ela altamente exigente em potássio, desde o primeiro ano de idade, aumentando essa exigência nos anos posteriores. Em plantas jovens, a absorção de nitrogênio é pequena, aumentando essa necessidade com o decorrer dos anos. A quantidade necessária de fósforo é baixa, também a de cálcio é baixa, mas em plantas adultas, já em produção, é necessário um alto suprimento. Quanto ao magnésio, a necessidade anual é de cerca de 10 g/planta.

KATO (1978), estudou os teores e distribuição de N, P, K, Ca e Mg em pimenteiras do reino com 1, 2, 3 e 4 anos de idade e, segundo ele, a quantidade existente na pimenta do reino obedece a seguinte ordem: $K > N > Ca > Mg > P$. A quantidade de matéria seca da parte aérea, aumenta consideravelmente em relação à da raiz, a partir dos 19 meses de idade. Aos 7 e 19 meses de idade, os elementos estão distribuídos em maior proporção nas folhas

e ramos, coincidindo com a ocorrência, neste período, de intensa formação vegetativa. Aos 31 e 43 meses de idade, cerca de 50% da quantidade total de cada elemento estudado, estão contidos nas infrutescências, à exceção do cálcio, que é encontrado, principalmente, nos ramos e folhas.

Com relação ao estudo dos micronutrientes, o ferro é o mais abundante na produção de frutos, seguido do Mn, Zn, Cu e B (SIM, 1973). Segundo o mesmo autor existem relações lineares entre a produção de frutos e conteúdos de Fe, Mn, Zn, Cu e B.

2.1.2. Extração e exportação de nutrientes

Segundo SIM (1971), a pimenteira retira grandes quantidades de nutrientes do solo, principalmente N e K. As quantidades totais de macronutrientes retirados anualmente/hectare, segundo esse pesquisador, foram: 233 kg de N, 172 kg de K, 75 kg de Ca, 17 kg de P e 18 kg de Mg.

No Estado do Pará, CHIBA & TERADA (1976), determinando as quantidades de nutrientes existentes em diversas fases de crescimento de pimenteiras cultivadas em condições de campo, obtiveram os dados da Tabela 1.

Os autores concluíram que o nitrogênio é absorvido em pequenas quantidades pelas pimenteiras jovens, aumentando à medida que se vai estabilizando o crescimento e a produção. O potássio e o nitrogênio são os nutrientes

mais exigidos, seguindo-se o fósforo, cálcio e, por último, o magnésio.

Tabela 1. Quantidades de nutrientes (gramas/planta) acumuladas anualmente.

Idade (anos)	N	P	K	Ca	Mg
1	12,9	8,2	30,2	1,0	2,8
2	54,8	18,3	92,8	16,9	3,7
3	117,3	33,8	134,4	31,9	4,5
4	129,3	37,6	141,1	48,4	4,6

FONTE: CHIBA & TERADA (1976)

WAARD (1980), estabelece que para cada quilo de pimenta produzida são extraídos do solo: 32 g N, 5 g P, 28 g K, 8 g Ca e 3 g Mg, sendo necessários ainda, para o desenvolvimento da planta, 106 g N, 8 g P, 84 g K, 36 g Ca e 11 g de Mg.

MAISTRE (1969), relata que a pimenteira exporta através da produção de 1 kg de pimenta beneficiada, o equivalente a 39 g de N, 4 g de P e 17 g de K.

CHIBA, citado por MORAES (1968), constatou uma grande exportação de magnésio na colheita dos frutos e encontrou um teor de 0.30% de Mg nos mesmos e 0.41% nas

folhas. Em um pimental com uma produção média de 4 kg de pimenta/planta o que corresponde a 2544 g de pimenta preta, a exportação por planta seria de 1,7 g de Mg, para um conteúdo estimado nas folhas de 14 g.

Os resultados obtidos por KATO (1978), em gramas de N, P, K, Ca e Mg contidas nas infrutescências estão apresentados na Tabela 2. Estas quantidades são exportadas anualmente pela colheita.

Tabela 2. Quantidades dos nutrientes (gramas), existentes nas infrutescências e percentual que representam representam sobre o total existente na planta.

Nutriente	7		19		31		43	
	meses	%	meses	%	meses	%	meses	%
	(g)		(g)		(g)		(g)	
N	-	-	0,84	8,2	56,32	57,3	105,27	56,1
P	-	-	0,08	8,1	3,83	41,3	10,30	53,9
K	-	-	0,56	6,6	47,01	53,4	110,89	54,4
Ca	-	-	0,21	4,4	17,11	34,5	35,75	27,6
Mg	-	-	0,12	7,8	8,71	55,0	14,85	56,4

FONTE: KATO (1978)

De acordo com as observações do mesmo autor a exportação dos nutrientes pela produção aos 7 meses é

nula; muito pequena aos 19 meses e considerável aos 31 e 43 meses de idade.

A maioria dos nutrientes contidos em pimenteiras adultas é exportada na proporção de cerca de 50% através da colheita dos frutos em espiga; o cálcio é exportado em torno de 30%.

Um estudo realizado por SIM (1973), sobre os micronutrientes mostrou que 365 mg de Fe, 281 mg de Mn, 104 mg de Zn, 89 mg de Cu e 60 mg de B são removidos por planta anualmente. A Tabela 3 mostra os resultados obtidos em diferentes partes da pimenteira.

Tabela 3. Quantidades de micronutrientes (mg/planta) removidos do solo por ano, nas diferentes partes da pimenteira.

Produção	Quantidade de M.S.(g)	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		-----mg/planta-----				
Cachos de frutos	4070	280	139	78	69	45
Folhas	500	60	129	11	14	12
Ramos	200	25	13	15	06	03
Total		365	281	104	89	60

FONTE: SIM (1973).

2.2. Deficiências minerais

Segundo MALAVOLTA & VIOLANTE NETTO (1989), quando a fase sólida ou a lábil, e na sua falta, o adubo, não fornece os elementos em quantidades e proporções suficientes, aparecem sintomas de fome, deficiência ou carência, os quais se manifestam nas folhas principalmente, podendo fazê-lo também nos frutos e, às vezes, nas raízes, caules e ramos

A observação detalhada de todas as anormalidades visuais apresentadas por uma planta é importante para se diagnosticar uma desordem nutricional, ocasionada pela deficiência de um determinado nutriente.

Tais anormalidades são reconhecíveis na maioria das plantas. Entretanto, existem respostas peculiares entre e dentro das espécies, como resultado da expressão genética, influenciando a distribuição dos elementos ou sensibilidade de sistemas metabólicos (VOSE, 1963).

2.2.1. Deficiência de nitrogênio

A deficiência de nitrogênio, na maioria das espécies, resulta no decréscimo do teor de clorofila e, conseqüentemente, no amarelecimento uniforme das folhas (JONES, 1966).

As plantas de pimenta do reino, além dos sintomas acima descritos, apresentam nas folhas mais velhas um amarelecimento que inicia com verde amarelado, distribuído uniformemente no limbo, pecíolo e nervuras. Depois, todas as partes clorofiladas apresentam uma forte tonalidade amarela ou, por vezes, alaranjada. No estágio mais avançado a folha escurece, necrosa em seguida e cai. Os frutos apresentam desenvolvimento lento, ocorre um retardamento no crescimento da planta, que pode até morrer (WAARD, 1969).

A faixa de concentração crítica de nitrogênio nas folhas de pimenta do reino, em geral, é de 2,7 a 2,8% segundo WAARD (1969).

2.2.2. Deficiência de fósforo

De um modo geral, as plantas com deficiência de fósforo apresentam-se com caules mais finos e folhas pequenas. As folhas mais velhas caem prematuramente, as brotações diminuem e podem permanecer dormentes. Com relação à cor, a variação ocorre de verde brilhante a verde-escuro, podendo desenvolver-se também tons purpúreos (WALLACE, 1961).

CHAPMAN (1966), relatou que muitas plantas anuais também exibem folhagem verde com pecíolos e venação purpúrea, especialmente na superfície abaxial. Temperaturas

baixas, seca e toxidez de alumínio em solos ácidos também podem induzir o aparecimento dos sintomas referidos acima (SCAIFE & TURNER, 1983).

A concentração de fósforo necessária para o desenvolvimento ótimo de uma planta segundo MARSCHNER (1986), varia durante o crescimento vegetativo de 0,3 a 0,5% do peso da matéria seca. Entretanto, o teor desse nutriente pode variar também de espécie para espécie. Para WAARD (1969), a deficiência de fósforo em pimenta do reino se manifesta nas folhas maduras com uma coloração verde escura tendendo para verde azulado ou purpúreo na face superior do limbo. Em casos severos o crescimento da planta estaciona e as brotações terminais morrem. Os sintomas de falta de fósforo não são comuns em pimentais de cultivo intensivo; têm sido observados em plantas submetidas a tratamento com solução nutritiva deficiente e em pimentais abandonados, sujeitos à concorrência de ervas daninhas.

2.2.3. Deficiência de potássio

Segundo ULRICH & OHKI(1966), os níveis de potássio nas folhas de plantas normais variam de 0,7 a 1,5% do peso do material seco. Mas para plantas muito exigentes, esse nível poderá ser igual ou superior a 5,0%. Essa maior exigência de potássio é atribuída ao tipo do sistema radicular ou à taxa de crescimento da planta.

WAARD (1969), em um ensaio de deficiências de macronutrientes, constatou que a faixa de concentração crítica de potássio nas folhas de pimenta do reino é de 2,00 a 2,62. Segundo o mesmo autor, a deficiência de potássio ocorre com um amarelecimento no ápice da folha, seguido de pequena necrose de coloração escura que vai se estendendo, dando consistência quebradiça. A porção próxima da folha continua com a coloração verde escura. Separando a parte necrosada da parte verde pode se distinguir uma lista tênue de tecido amarelo claro. As folhas tendem a cair antes da maturação completa. As partes necrosadas são invadidas por fungos, principalmente pela espécie Colletotrichum gloesporioides (SIM, 1974).

2.2.4. Deficiência de cálcio

Os sintomas de deficiência de cálcio manifestam-se primeiro nas folhas novas, as quais começam a mudar a tonalidade de verde para verde mais pálido. Pequenas manchas pardas necróticas se desenvolvem na face superior das folhas mais velhas, sendo cada uma das manchas envolvida por um halo amarelado. Com o avanço da deficiência, surgem manchas necróticas localizadas nas bordas das folhas ou algumas vezes na extremidade apical. A parte basal torna-se amarelo pálido e pode apresentar grande quantidade de pequenas manchas necróticas

semelhantes a pequenas pontuações (WAARD, 1969).

O conteúdo de cálcio nas plantas varia entre 0,1 a 5% na matéria seca, dependendo da espécie, condições de crescimento e órgão da planta (MARSCHNER, 1986). Segundo WAARD (1969), a faixa de concentração crítica de cálcio é de 1,00 a 1,20% nas folhas das pimenteiras.

2.2.5. Deficiência de magnésio

Os sintomas de deficiência de magnésio aparecem geralmente nas folhas mais velhas, progredindo para as mais novas. A característica padrão dessa deficiência é a clorose internerval. Entretanto, algumas plantas podem desenvolver cores brilhantes em tons laranja e vermelho ou apresentar manchas necróticas na superfície foliar.

A deficiência de magnésio é a mais comum, além de ser a mais facilmente observada nas pimenteiras em condições de campo. Surge no período de floração e se intensifica durante o desenvolvimento dos frutos. Os sintomas, que se caracterizam por manchas amarelas internervais de forma oval, são mais nítidos em folhas maduras. Uma faixa estreita de tecido verde permanece destacada ao longo das nervuras, apresentando forte contraste com as partes amareladas do tecido. As folhas afetadas com deficiência severa e média podem ser separadas

no mesmo ramo. O estágio mais grave de deficiência é caracterizado por intensa abscisão de folhas no estágio de desenvolvimento dos frutos. (WAARD, 1969 e SIM, 1974).

MORAES (1968), relatou a ocorrência de sintomas de deficiência de magnésio, muito frequentes em pimentais cultivados no Estado do Pará, sugerindo que a causa de produções alternadas, altas e baixas em anos consecutivos, seja a grande exportação de magnésio através dos frutos.

2.2.6. Deficiência de enxofre

O enxofre desempenha na planta funções que determinam aumentos na produção e na qualidade do produto obtido. Assim, o enxofre é componente dos aminoácidos essenciais, metionina e cistina, os quais segundo MILLER & DONOSO (1963), são fatores limitantes na dieta humana. Além disso, o enxofre está ligado às vitaminas biotina e tiamina, sendo esta última um problema nutricional crítico em países que têm como base de alimentação o arroz (ALLAWAY & THOMPSON, 1966).

Os sintomas da deficiência de enxofre são muito semelhantes aos da deficiência de nitrogênio. As plantas apresentam clorose das folhas mais novas, folhas pequenas, enrolamento das margens, necrose e queda, internódios curtos e redução no florescimento (MALAVOLTA et

alii, 1989). HEWITT (1983), relata que a deficiência de enxofre nas plantas reduz principalmente o tamanho das folhas, a concentração da clorofila e dos pigmentos vermelhos ou purpúreos. As folhas novas mostram-se cloróticas e as emergentes podem apresentar-se côncavas ou convexas (SCAIFE & TURNER, 1983), como resultado da paralisação do crescimento.

GILBERT (1951) relata que em plantas deficientes em enxofre, são encontrados teores mais altos de N solúvel, compostos de S solúveis, amida e um menor teor de açúcares. O acúmulo de NO_3 e de hidratos de carbono é devido à pequena assimilação de N, resultante da baixa atividade da reductase de nitrato.

O teor de enxofre nos tecidos vegetais varia de 0,2 a 0,5% (MARSCHNER, 1986; MENGEL & KIRKBY, 1987), sendo que o teor de 0,2% de enxofre na matéria seca é geralmente considerado adequado (SCAIFE & TURNER, 1983).

Com relação à pimenteira, a deficiência de enxofre não tem sido comum no campo. Pode aparecer em solos muito arenosos. Em trabalhos experimentais de casa de vegetação os sintomas determinados demonstraram que o enxofre é tão limitante para a pimenteira quanto o nitrogênio. A planta não cresce, as folhas permanecem pequenas, em seguida adquirem coloração amarelo-clara e caem, causando, assim, o definhamento da planta e sua morte (GORENS citado por ALBUQUERQUE & CONDURU, 1971).

2.2.7. Deficiências de micronutrientes (B,Cu,Fe,Mn e Zn) .

O boro é singular entre os micronutrientes no que tange à estreita faixa de concentrações em cujo meio muitas plantas estão restritas. Uma fração de parte por milhão pode ser exigida e algumas partes por milhão já podem ser tóxicas. Há entretanto muita variação a esse respeito entre as espécies (EPSTEIN, 1975).

Na maioria das plantas, a deficiência de B resulta na redução dos entrenós e parada do crescimento apical. As gemas terminais morrem e as laterais se desenvolvem, do que resulta a formação de "roseta" (GUPTA, 1979).

De acordo com MARSCHNER (1986), pode ocorrer clorose internerval e deformação da lâmina foliar de folhas mais novas, aumento no diâmetro do caule e pecíolo, queda de flores, redução na produção e desenvolvimento dos frutos, além de outros sintomas dependendo da espécie vegetal.

Para MALAVOLTA et alii (1989), os sintomas de deficiência desse elemento são: crescimento limitado com os entrenós curtos; as folhas novas formadas são reduzidas, com clorose irregular ou sem clorose, deformadas, mais grossas e quebradiças, a nervura central escurece, adquirindo às vezes tons vermelhos ou roxos; é comum ainda, em muitas plantas a morte do meristema apical do caule.

O nível normal de concentração de cobre em tecidos vegetais está entre 5,0 e 20 ppm, e valores abaixo de 4,0 ppm, na matéria seca, o que resulta, muitas vezes, em sintoma de deficiência. Por outro lado, teores acima de 20 ppm podem causar toxidez (JONES Jr., 1972).

Os sintomas de deficiência de cobre em diferentes culturas, de modo geral, manifestam-se pela troca de coloração das folhas que ficam verde cinza ou verde azulado, ocorrendo tombamento das mesmas 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; para os cereais, há efeito sobre a viabilidade do grão de pólen e, mais especificamente no trigo, são produzidas sementes inviáveis (GRAHAM, 1975; MENGEL & KIRKBY, 1987).

O cobre atua no metabolismo das plantas ativando enzimas que dele são dependentes e participando nas reações da fotossíntese. A oxidase do ácido ascórbico, a carboxilase da ribulose difosfato e a tirosinase são algumas das enzimas dependentes desse elemento (MALAVOLTA, 1980).

A 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 (HORWARTH et alii,

1983; MENGEL & KIRKBY, 1987).

O ferro é componente de várias enzimas: peroxidases, catalase, nitrogenase, aconitase. Também faz parte da leghemoglobina, dos citocromos e da ferredoxina, uma molécula envolvida na transferência de elétrons na fotossíntese e em outros processos. Sua presença é indispensável para a formação da clorofila, embora não entre na molécula (BARBOSA FILHO, 1987).

Segundo EPSTEIN (1975), nos sintomas de deficiência de ferro nas plantas, ocorre uma clorose geral das folhas novas que depois ficam esbranquiçadas. No princípio, as nervuras podem permanecer verdes, mas, na maioria das espécies, elas também se tornam eventualmente cloróticas. A carência é comum em árvores frutíferas: associada com altos níveis de carbonato de cálcio é denominada clorose "induzida pelo calcário".

Ainda, de acordo com EPSTEIN (1975) o distúrbio metabólico provocado pela deficiência de manganês é severo; vários metabólitos são afetados. Isso é de se esperar, uma vez que o manganês desempenha papel importante em muitas das reações do ciclo de Krebs e, devido à posição central deste na respiração, a carência do elemento repercute em outros processos metabólicos.

Os sintomas de deficiência de manganês nas plantas, são clorose das folhas novas, seguida de branqueamento, manchas pequenas e necróticas nas folhas

(MALAVOLTA et alii, 1989).

Para a maioria das plantas, a concentração de zinco nas folhas é considerada normal quando está entre 25 e 50 ppm. A deficiência ocorre geralmente quando a concentração, na matéria seca, é inferior a 20 ppm, surgindo a toxidez com concentrações superiores a 400 ppm (JONES Jr., 1972).

Os sintomas visuais de deficiências de zinco, para algumas culturas, como sorgo e arroz, aparecem na forma de clorose internerval das folhas mais novas; há manchas avermelhadas entre as nervuras e nas bordas das folhas, e pontos necróticos nas bainhas; redução no crescimento e maturação atrasada (GANGWAR & CHANDRA, 1976; OHKI, 1984; MALAVOLTA et alii, 1989).

O zinco participa do metabolismo vegetal por meio de enzimas como a anidrase carbônica que dele depende para atuar (HEWITT & SMITH, 1975). A síntese do triptofano, precursor do ácido indol acético, é outro processo dependente do zinco. Existem evidências também, de que o elemento atua no metabolismo do nitrogênio (MENGEL & KIRKBY, 1987; MALAVOLTA et alii, 1989).

2.3. Concentração de nutrientes

As concentrações dos macronutrientes nas diversas partes da pimenteira do reino foram determinadas

por SIM (1971), no início das frutificações. Os resultados obtidos mostraram altos teores de nitrogênio nas folhas, seguindo-se os ramos ortotrópicos, ramos plagiotrópicos e raízes. Para a produção de frutos, os nutrientes mais exigidos são: $N > K > Ca$.

O mesmo autor, avaliando a concentração de nutrientes em pimenteiras com 42 meses, encontrou as seguintes concentrações: $N = 2,67\%$; $P = 0,18\%$; $K = 1,87\%$; $Ca = 1,31\%$ e $Mg = 0,26\%$.

KATO (1978), estudando a composição da pimenteira em diversos estágios de crescimento no campo, encontrou níveis altos de nitrogênio e potássio e baixos de magnésio e fósforo; o cálcio apresentou-se alto em plantas adultas. Os teores dos nutrientes encontrados nas folhas em pimenteiras com 43 meses foram: $N = 2,32\%$; $P = 0,19\%$; $K = 1,85\%$; $Ca = 2,48\%$ e $Mg = 0,36\%$.

Ao realizar um levantamento do estado nutricional de diversos pimentais no Espírito Santo, MILANEZ (1984), revelou que o nitrogênio e potássio foram os nutrientes que apresentaram maior número de amostras foliares com teores abaixo do crítico; não ocorreram amostras com teores abaixo do crítico no caso do P e do Mg.

WAARD (1969), considera os seguintes teores percentuais na folha da cultivar Kuching como níveis críticos: $N = 2,70$ a $2,80$; $P = 0,10$ a $0,14$; $K = 2,00$ a $2,62$; $Ca = 1,00$ a $1,20$; $Mg = 0,20$ a $0,30$.

O estudo realizado por SIM (1973), sobre o conteúdo de micronutrientes da pimenteira em diferentes idades foi o único encontrado. O total de micronutrientes variou de menos que 4 gramas em plantas imaturas e de 3 a 30 gramas em plantas produção. O ferro foi o elemento mais abundante seguido de manganês, zinco, cobre e boro.

2.4. Excessos minerais (Al e Mn)

O excesso no fornecimento de um dado elemento pode provocar sintomas próprios de toxidez ou de falta de outro elemento (MALAVOLTA & VIOLANTE NETTO, 1989).

2.4.1. Toxidez de alumínio

O efeito nocivo de alumínio em plantas tem sido extensivamente pesquisado por muitos cientistas como CLARKSON (1969), FOY et alii (1978), PAVAN & BINGHAM (1982), CAMBRAIA (1989), FURLANI (1989) e FOY (1992). Geralmente o efeito tóxico do Al é notado em raízes de plantas antes que qualquer sintoma possa ser evidente na parte aérea. Os sintomas de toxidez são também associados com deficiência de fósforo e com reduzida absorção e translocação de cálcio (FOY, 1974).

O excesso de alumínio inibe a formação normal de raízes, tornando-as engrossadas, inchadas, com

coloração marron, menos ramificadas, quebradiças e ocasionalmente com manchas necróticas (FOY, 1992). Há interferência em reações enzimáticas, na deposição de polissacarídeos nas paredes celulares, e prejuízo na absorção, transporte e uso de vários elementos, inclusive de Ca, P e Mg (FOY, 1974).

O limitado crescimento das raízes restringe a absorção de nutriente e água, o que pode afetar consideravelmente o rendimento das culturas, em solos com baixa fertilidade (FOY, 1992). Segundo ROY et alii (1988), a elongação das raízes fica impedida, devido à redução da atividade mitótica, provocada pelo alumínio, com subsequente aumento da suscetibilidade das plantas à seca.

Na prática, o uso de corretivos da acidez (calcarios) diminui o efeito tóxico do alumínio. Há inúmeros resultados na literatura demonstrando que pela calagem dos solos ácidos elimina-se o alumínio trocável e aumenta-se a produção dos cultivos (PRATT, 1966; LOPES, 1984; MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985).

2.4.1.1. Fatores do solo que afetam a toxidez

Segundo FOY (1974), a toxidez do alumínio é especificamente severa em pH (H_2O) abaixo de 5,0, mas pode ocorrer em pH (H_2O) de até 5,5. Para uma dada planta, o pH crítico, no qual o alumínio se torna solúvel ou trocável

nas concentrações tóxicas, depende de fatores do solo, como minerais de argila predominantes, teor de matéria orgânica e concentrações de outros cátions, ânions e totais de sais.

Nos solos ácidos, os teores de alumínio crescem com a profundidade do solo, fazendo com que as raízes se desenvolvam somente na camada mais superficial, com consequente decréscimo de suprimento de água e nutrientes para as plantas (OLMOS & CAMARGO, 1976).

Em geral, considera-se como prejudicial às plantas teores de alumínio trocável no solo acima de 0,5 meq/100 g de solo (MALAVOLTA, 1980). Para a cultura da pimenta do reino, existem relatos de solos com teores tóxicos de alumínio em Sarawak segundo WAARD & SUTON (1960) e SIM (1974).

Para um determinado solo, segundo FOY et alii (1965), as respostas das culturas à calagem são, muitas vezes, bem correlacionados com Al trocável, extraído por KCl. Assim, de acordo com KAMPRATH (1978), a concentração do Al na solução do solo está relacionada com a proporção da CTC efetiva que está ocupada pelo Al solúvel em KCl. Tem-se observado um aumento marcante na concentração de Al da solução do solo quando o Al trocável ocupa mais de 60% dos cátions trocáveis do subsolo e da superfície.

AVDONIN (1971), estudando os fatores que afetam o teor de Al em solos com problemas de toxidez,

verificou que os fertilizantes, especialmente quando usados por um longo período, alteram a concentração do elemento tóxico. As formas amoniacais de nitrogênio, adicionadas separadamente ou combinadas com KCl, aumentaram o teor de Al móvel, enquanto o fósforo e os fertilizantes orgânicos o reduziram.

Segundo ADAMS & LUND (1966), o fato de uma menor concentração de Al na camada subsuperficial de um solo apresentar maior toxidez que a concentração mais alta da camada correspondente de outro solo, sugere grande influência dos fatores e processos da pedogênese, bem como do estágio de intemperização.

2.4.1.2. Efeitos na nutrição mineral

A toxidez do alumínio, e seus efeitos na absorção, transporte e utilização de minerais pelas plantas, pode ser considerado um assunto complexo no estudo da nutrição mineral, pois envolve outros fatores do ambiente e da própria planta, os quais estão ligados a maior ou menor tolerância a esse cátion (ROY et alii, 1988).

Em geral, o alumínio reduz os teores de quase todos os elementos minerais das plantas (FOY et alii, 1978; CALBO & CAMBRAIA, 1980). Além disso, interfere na absorção, transporte e uso de vários nutrientes, tais como

Ca, P e Mg (FOY, 1974), podendo também determinar uma maior ou menor absorção de Cu, Zn, Mn e Fe (ROY et alii, 1988).

Embora haja um grande número de publicações referentes aos efeitos tóxicos de Al em muitas espécies de plantas cultivadas, não há dados específicos para a pimenteira do reino. Alguns trabalhos com sorgo evidenciam um efeito depressivo do alumínio sobre os teores de K^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} (TREJO CHANDIAS, 1985), Ca^{++} e Mg^{++} (NOGUEIRA, 1979). Em mandioca, OLIVEIRA & RENA (1989) encontraram uma diminuição de potássio e magnésio. Nas raízes de milho expostas ao alumínio, BARTLETT & RIEGO (1972), encontraram acúmulo de Al e Fe, mas somente traços destes elementos foram transportados para a parte aérea.

Em plantas de trigo, OHKI (1985) encontrou um acúmulo de alumínio nas raízes, mas uma redução na absorção de Fe e Mn. CAMARGO et alii (1984), observaram uma diminuição nas concentrações de K, Ca e Mg no tecido foliar de plantas de arroz, devido ao aumento do teor de alumínio no substrato.

Entretanto, o efeito mais marcante do alumínio parece ser sobre o metabolismo do fósforo, principalmente por sua retenção ao nível radicular e a redução da translocação para a parte aérea (OLIVEIRA, 1979). Por essa razão muitos pesquisadores relacionam os efeitos da fitotoxidez de Al com uma deficiência de fósforo induzida pelo alumínio (FOY, 1992).

Segundo CAMBRAIA (1989), a deficiência de fósforo está relacionada inicialmente com a precipitação desse nutriente, na forma de fosfato de alumínio, no espaço livre aparente (ELA), ocasionando uma redução na sua absorção.

FURLANI (1989), relata que a similaridade existente entre os sintomas de toxicidade do alumínio e os das deficiências de cálcio em raízes de plantas estressadas por alumínio, indica que os processos de absorção e transporte de cálcio são partes importantes da síndrome de fitoxidez do alumínio. JARVIS & HATCH (1987), relacionam a deficiência de cálcio a distúrbios na parede celular e alterações na permeabilidade da membrana das células das raízes.

Para FOY et alii (1978), as raízes das plantas podem acumular Al por causa de uma preferência para a troca de cátions, podendo isso provocar deficiência de Ca ou Mg. Assim, HECHT-BUCHHOLZ & SCHUSTER (1987) mencionam que mais Mg ou Ca pode ser necessário para competir com o alumínio, e sugerem que o Mg é tão efetivo quanto o Ca na proteção das raízes aos efeitos de danos do alumínio.

2.4.1.3. Sintomas gerais de toxidez

Em condições de campo, a toxidez do alumínio é difícil de ser diagnosticada, pois os sintomas se

manifestam de forma característica nas raízes das plantas, com pequena influência na parte aérea. Em solução nutritiva, os sintomas visuais e o teor de alumínio nas raízes podem ser utilizados na diagnose (PRATT, 1966).

Segundo MALAVOLTA (1980), o primeiro sintoma de toxidez de Al que aparece é a limitação do crescimento radicular, havendo engrossamento das raízes que apresentam inicialmente uma cor parda, depois as laterais cessam de crescer. Em seguida, o mesmo ocorre com todo o sistema radicular; enegrecem as pontas das raízes. O conjunto lembra uma formação de corais, motivo pelo qual tais raízes são chamadas coraloides. Com a redução no crescimento das raízes, há conseqüente redução da absorção de nutrientes, sendo o P o mais afetado, seguido do Ca e Mg. Devido a esse motivo, o sintoma visual na parte aérea é de deficiência de fósforo.

Em mudas de café, tais sintomas foram caracterizados inicialmente por uma redução no crescimento das raízes. As regiões apicais das raízes foram inibidas, as laterais eram de maior diâmetro, menores, apresentaram um crescimento irregular e eram em menor número. As raízes mudaram a coloração de branca para amarelo-escura, particularmente na região apical. Nas folhas ocorreu um amarelecimento e pontos necróticos na margem das folhas jovens, que eram menores e apresentaram aspecto de calha. As folhas velhas apresentaram um amarelecimento que se

iniciou nas margens e progrediu para o interior do limbo (PAVAN & BINGHAM, 1982).

2.4.2. Toxidez de manganês

O manganês, ao contrário do alumínio, é um elemento essencial para a vida da planta, satisfazendo tanto o critério direto quanto o indireto de essencialidade (ARNON, 1950). É um micronutriente em cuja ausência, o crescimento é prejudicado e sintomas característicos de deficiência desenvolvem-se.

Por outro lado, na presença de quantidades excessivas de suas formas trocável e solúvel no meio de crescimento, os tecidos vegetais também apresentarão elevadas quantidades desse nutriente, podendo atingir níveis tóxicos. A toxidez de manganês é um dos principais fatores que prejudicam o crescimento das plantas, ocorrendo comumente em conjunto com aquela causada pelo alumínio nos solos ácidos (FOY, 1976).

O excesso de manganês geralmente afeta mais severamente a parte aérea do que as raízes. Aparentemente, as plantas absorvem e transportam Mn em excessivas quantidades, do que resulta acúmulo nas folhas, produzindo-se sintomas bem definidos (FOY, 1973; PAVAN & BINGHAM, 1981). Entretanto, o excesso de Mn pode também causar sintomas de toxidez nas raízes; em geral isso ocorre após as folhas

terem sido danificadas (FOY, 1976; FOY et alii, 1978).

Segundo informam ANDREW & HEGARTY (1969), existem dois métodos para diagnosticar o excesso de manganês em plantas, os quais podem ser usados separadamente ou em combinação: sintomas foliares; e análise química de manganês na matéria seca da parte aérea, acima da qual a produção começa a ser prejudicada.

Na prática, a toxidez de manganês é corrigida pela calagem, a qual, por elevar o pH, precipita o excesso de manganês disponível, reduzindo sua absorção pela planta (KUPPER et alii, 1968). Para MALAVOLTA & KLIEMANN (1985), a neutralização do excesso de manganês somente se dá numa faixa de pH cerca de 0,5 unidade maior do que aquela em que o alumínio se insolubiliza.

2.4.2.1. Fatores do solo que influenciam a disponibilidade

A disponibilidade do manganês no solo, avaliada pelo teor de Mn^{+2} presente, depende da atividade biológica de bactérias e fungos, do potencial de óxido-redução e do pH. Para o pH verifica-se que, a cada acréscimo de uma unidade, a concentração de Mn^{+2} na solução do solo diminui 100 vezes. Nos solos muito ácidos, o manganês está frequentemente presente em concentrações tóxicas e quanto mais baixo o pH, maior é a solubilidade

desse elemento (KUPPER et alii, 1968; FOY, 1973).

Por outro lado, o aparecimento de toxidez devido ao manganês pode ser causado por condições de acidez elevada do solo, pela compactação, pela aeração deficiente ou excesso de umidade decorrentes do encharcamento pela chuva ou irrigação em demasia e pelo uso contínuo de doses elevadas de adubos nitrogenados fisiologicamente ácidos (sulfato de amônio, uréia, nitrato de amônio, fosfato de amônio). Outras causas são: adubações elevadas com adubos que tenham cátions capazes de deslocar o Mn^{+2} do complexo de troca para a solução do solo e acúmulo no solo de defensivos contendo manganês (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985).

Segundo MALAVOLTA (1981), o excesso de manganês comumente ocorre em solos extremamente ácidos ou em solos inundados. Normalmente as concentrações tóxicas não são encontradas em solos de pH acima de 6,5 a menos que o solo tenha quantidades abundantes de manganês no seu material de origem e pouca matéria orgânica.

2.4.2.2. Efeitos na nutrição mineral

O efeito da toxidez de manganês é difícil de ser estudado isoladamente, por causa das interações existentes entre ele e outros elementos, tais como fósforo, ferro, alumínio, silício e cálcio (FOY et alii, 1978). Segundo informam os autores, essas interações podem ser

responsáveis pela diversidade de sintomas e pelos diferentes graus de redução no crescimento em espécies e cultivares diferentes.

O excesso de manganês tem induzido deficiência de ferro em batata cultivada em solução nutritiva, obtendo-se razões Mn/Fe de 18 ou mais na parte aérea das plantas. A absorção e translocação de P, Ca e Mg foram afetadas pela adição de manganês na solução nutritiva (LEE, 1972).

OHNO et alii (1978), informam que a deficiência de ferro em arroz cultivado em um solo ácido no Estado do Paraná era causada pelo excesso de manganês. A alta relação Mn/Fe é usualmente associada com manganês, induzindo deficiência de ferro.

A nutrição de cálcio é também afetada pela excessiva absorção de manganês pela planta. O aumento da concentração de cálcio na zona da raiz pode diminuir a absorção e o efeito tóxico de manganês, pois eles competem pelos mesmos sítios de absorção (FOY, 1973). Quantidades crescentes de cálcio no meio, portanto, reduzem frequentemente a absorção e toxidez de manganês, como constatados por HEENAN & CARTER (1976).

Por outro lado, HEINTZ (1968) concluiu que o fósforo pode também reduzir o excesso de manganês por uma reação de precipitação como fosfato de manganês dentro das raízes, diminuindo o transporte de manganês para a parte

aérea das plantas.

Existe uma grande evidência de que uma fonte solúvel de silício no meio de crescimento pode proteger as plantas contra a intoxicação por manganês. LEWIN & REIMANN (1969) verificaram que as plantas deficientes em silício acumulam maiores quantidades de manganês que plantas normais. O silício reduz a absorção de manganês e ferro.

PEASLEE & FRINK (1969) observaram que, tratando um solo ácido com H_2SiO_3 , as concentrações de manganês e alumínio em cultivo de plantas em casa de vegetação foram reduzidas.

LEVEQUE & BELEY (1959) verificaram em amendoim, algumas reações das plantas cultivadas em níveis de manganês variando de 0,2 a 20 ppm. As concentrações mais altas perturbaram o crescimento, retardaram ligeiramente a floração, inibiram a fecundação e atrasaram a maturação dos frutos; a absorção de nitrogênio, cálcio, e magnésio foi estimulada e a de potássio foi diminuída.

2.4.2.3. Sintomas gerais de toxidez

A sintomatologia da toxidez de manganês varia muito entre as espécies vegetais. Caracteriza-se pela clorose marginal das folhas, encarquilhamento das folhas mais novas; associadas com o acúmulo localizado dentro do tecido foliar, há áreas cloróticas irregulares entre as

nervuras das folhas, manchas necróticas, necroses em forma de listras nos caules e pecíolos e necroses corticais. Quando a toxidez é severa, as raízes se tornam marrons após o dano das folhas. Em nível molecular, o excesso de manganês tem sido associado com a destruição da auxina (ácido indolacético) em algodão e com desbalanceamento de amino-ácidos livres na batata (FOY et alii, 1969; FOY, 1976; FOY et alii, 1978;)

Em mudas de café, os sintomas foram caracterizados inicialmente nas folhas mais jovens e progrediram para as mais velhas com o acúmulo de manganês nas partes aéreas. Em um estágio mais avançado de toxidez, as folhas jovens apresentavam cloroses com pequenos pontos necróticos no limbo (PAVAN & BINGHAM, 1981).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo envolveu três experimentos distintos conduzidos em solução nutritiva, a saber: um para estudar o efeito da omissão de nutrientes; o segundo para doses de alumínio e o terceiro para doses de manganês. Foram realizados simultaneamente em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo, em Piracicaba-SP, no período compreendido entre abril de 1991 a novembro de 1992.

Foram utilizadas mudas de pimenteira do reino (*Piper nigrum*, L.) cultivar Bragantina, no experimento com omissão de nutrientes e a cv. Guajarina nos experimentos com doses de alumínio e de manganês. As mudas foram obtidas a partir de estacas herbáceas com dois nós e providas de uma folha no nó superior, coletadas em uma área de plantio comercial no município de Mirassolândia-SP.

3.1. Condições climáticas do local

O município de Piracicaba-SP está situado a 22° 42'30" de latitude sul, 47° 38'00" de longitude oeste, e a 546 m de altitude, sendo o clima da região classificado

segundo Koeppen como **CWA**, subtropical, com inverno seco, temperatura do mês mais quente $> 22^{\circ}\text{C}$ (OMETTO, 1991).

Os dados de temperatura máxima e mínima e, umidade relativa do ar apresentados na Figura 1., foram obtidos através de termo-higrógrafo instalado no local do experimento

Figura 1. Dados relativos à umidade do ar, temperaturas mínima e máxima, durante o período de condução dos experimentos em casa de vegetação.

3.2. Procedimento geral

Após 120 dias do início do enraizamento, as mudas foram retiradas do substrato (solo), as raízes lavadas com jato de água de torneira e em seguida imersas em água desmineralizada para completar a limpeza. Em seguida o material foi selecionado, procurando-se uniformizar ao máximo através da escolha de plantas que apresentassem parte aérea e sistema radicular nas mesmas condições de crescimento. As mudas foram então transferidas para vasos plástico de 2,5 litros de capacidade e fixadas na tampa pelo caule com espuma de plástico, usando-se uma planta por vaso.

Durante os primeiros 15 dias após o transplante, as plantas foram mantidas em solução nutritiva completa, de acordo com a metodologia usada por WAARD (1969), diluída a 1/4 da concentração usual; nas duas semanas seguintes receberam solução diluída a 1/2 e em seguida foram submetidas aos tratamentos.

3.2.1. Experimento com omissão de nutrientes

Quando as plantas estavam completamente recuperadas do transplante, iniciaram-se os tratamentos, com as soluções nutritivas de WAARD (1969), nas quais se omitia um nutriente de cada vez conforme Tabela 4.

Tabela 4. Composição química das soluções nutritivas (ml/l)
modificada a partir de WAARD (1969).

Soluções Estoque	Tratamentos											
	Comp	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-B	-Cu	-Fe	-Mn	-Zn
NH ₄ NO ₃ M	3	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Ca(NO ₃) ₂ M	4	-	4	4	-	4	-	4	4	4	4	4
NaH ₂ PO ₄ M	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Na ₂ SO ₄ M	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
MgSO ₄ M	2	2	2	2	2	-	-	2	2	2	2	2
KNO ₃ M	2	-	2	-	2	2	2	2	2	2	2	2
CaCl ₂ M	-	4	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
NaNO ₃ M	-	-	-	2	8	-	4	-	-	-	-	-
Mg(NO ₃) ₂ M	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
KCl M	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Micro *	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-
Fe-EDTA*	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	5	5
H ₃ BO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1
CuSO ₄	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	1	1
MnCl ₂	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	1
ZnSO ₄	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	-

* Para o preparo de 1 litro de solução de micronutrientes foram usados os seguintes reagentes analíticos: 5,72 g de H₃BO₃ ; 3,62 g de MnCl₂ 7 H₂O; 0,44 g de ZnSO₄ 7 H₂O; 0,24 g de CuSO₄ 5 H₂O; 0,06 g de H₂MoO₄H₂O; (WAARD, 1969).

** Para 1 litro de solução foram dissolvidos 33,2 g de EDTA (ácido etilenodiaminotetraacético) em 89,2 ml de NaOH N, misturando-se em seguida 24,9 g de FeSO₄ 7H₂O. A solução foi arejada durante uma noite, sendo o volume completado para 1 litro com água destilada, conservando-se em frasco escuro na geladeira.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, contendo doze tratamentos e quatro repetições, sendo cada planta considerada uma unidade experimental.

Diariamente, o volume das soluções era verificado, e quando necessário, completado com adição de água desmineralizada.

Durante a condução do ensaio, as soluções nutritivas foram renovadas a cada 15 dias e mantidas no pH $5,0 \pm 0,2$; os sintomas de deficiência foram observados e descritos.

Evidenciados os sintomas de deficiência, procedeu-se à coleta do material separando-se folhas, caules e raízes. O material coletado foi lavado e colocado para secar em estufa com circulação forçada de ar com temperatura de 60-70 °C por cerca de três dias. Depois de seco o material foi pesado, obtendo-se assim o peso da matéria seca para cada parte da planta. Posteriormente o material foi moído em moinho tipo Wiley com peneira de 20 malhas e acondicionados em saquinhos de papel para análises dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Mn, Fe e Zn.

3.2.2. Experimento com doses de alumínio

Para a instalação e condução desse ensaio, procedeu-se conforme descrito no item 3.2.

Usaram-se vasos de 2,5 litros de capacidade onde as plantas foram cultivadas em solução de WAARD (1969) modificada em relação à concentração de fósforo, que foi reduzida para 1,5 mg/l para evitar a precipitação do alumínio.

Os tratamentos consistiram na aplicação de alumínio nas concentrações de 0; 5; 10;15; 20 e 25 mg/l adicionado como $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Aos 135 dias após a adição dos tratamentos, foi aumentada a dose 25 para 40 mg/l, para acelerar a manifestação de toxidez de alumínio.

As soluções nutritivas foram renovadas a cada duas semanas e o seu volume completado com água destilada diariamente. O pH das soluções foi mantido em $4,0 \pm 0,2$ com adições de HCl ou NaOH.

A composição química da solução nutritiva usada para caracterizar a toxidez de alumínio é apresentada na Tabela 5.

Nas soluções de diversas concentrações de alumínio, procurou-se visualizar, também aspectos da fitotoxicidade manifestada nas raízes das plantas.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por uma planta.

As mudas de pimenteira do reino foram mantidas com os tratamentos por um período de 215 dias. Na colheita,

Tabela 5. Composição da solução nutritiva usada para o estudo de toxidez de alumínio, modificada a partir de WAARD (1969).

Nutrientes	Concentração (mg/l)
NO ₃	80,5
NH ₄	10,5
P	1,5
K	39,0
Ca	80,0
Mg	24,0
SO ₄	32,0
B	1,0
Cu	0,06
Fe	25,0
Mn	1,0
Mo	0,03
Zn	0,10

dividiram-se as plantas em duas partes, a saber: folha para diagnóstico (primeira folha mais velha dos ramos laterais frutíferos, localizados nos 2/3 mais abaixo da copa) e o restante da planta que, por sua vez, foi dividido em folhas, caule e raízes. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 60-70 °C, por um período mínimo de 72 horas, quando foram pesadas e moidas em moinho do tipo Wiley com peneira de 20 malhas, para posterior análise dos teores de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe e Al.

Determinou-se o peso da matéria seca das folhas, caule e raízes, sendo medido também o comprimento das raízes.

3.2.3. Experimento com doses de manganês

O procedimento de implantação e condução deste ensaio foi o mesmo descrito no item 3.2.

As plantas foram cultivadas em soluções nutritivas com as concentrações de: 0; 10; 20; 30; 40 e 50 mg/l de manganês, fornecido como $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

As soluções nutritivas foram trocadas a cada duas semanas e o seu volume completado com água destilada diariamente. O pH das soluções foi mantido em $4,5 \pm 0,2$ com adições de HCl ou NaOH.

A composição química da solução nutritiva usada para o estudo de toxidez de Mn é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Composição da solução nutritiva usada para o estudo de toxidez de manganês, modificada a partir de WAARD (1969).

Nutrientes	Concentração (mg/l)
NO_3	80,5
NH_4	10,5
P	31,0
K	39,0
Ca	80,0
Mg	24,0
SO_4	32,0
B	1,0
Cu	0,06
Fe	25,0
Mo	0,03
Zn	0,10

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por uma planta.

Os sintomas de toxidez de manganês nas folhas foram observados e descrito durante a condução do experimento.

As mudas foram mantidas com os tratamentos por um período de seis meses.

No final do ensaio, dividiram-se as plantas em duas partes, a saber: folha para diagnóstico e o restante da planta, da qual foram separados folhas, caule e raízes. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 60-70 °C, por um período mínimo de 72 horas, quando foram pesadas e moidas em moinho do tipo Wiley com peneira de 20 malhas, para posterior análise dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe e Zn.

3.3. Análise química das plantas

As amostras do material colhido foram digeridas em ácido nítrico e perclórico concentrados, segundo o método descrito por MALAVOLTA et alii, (1989). Em seguida, os extratos foram utilizados para a determinação dos teores totais dos seguintes nutrientes: fósforo, por colorimetria de molibdato-vanadato; potássio, por fotometria de chama;

cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco por espectrofotometria de absorção atômica; enxofre, por turbidimetria do sulfato de bário.

A determinação do nitrogênio foi feita utilizando-se a digestão sulfúrica de 200 mg de matéria seca, com destilação em aparelho microkjeldahl e titulação com H_2SO_4 0,01 N. O boro foi determinado por colorimetria da azometina H, segundo metodologia descrita em MALAVOLTA et alii, (1989).

A análise do teor de alumínio foi realizada na Seção de Química Analítica do CENA/USP, através de espectrometria de emissão atômica com plasma induzido de argônio, em aparelho Jarrel Ash, modelo 975.

3.4. Análise estatística

Os dados obtidos do experimento com omissão de nutrientes foram submetidos à análise de variância, para cada variável resposta, segundo PIMENTEL GOMES (1987). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Os resultados dos experimentos com doses crescentes de alumínio e de manganês foram submetidos a análise de variância, sendo as médias comparadas através do teste de Tukey. Efetuou-se análise de regressão para a matéria seca das diversas partes da planta, extração de nutrientes e Al, em função das doses de alumínio ou de manganês. Considerou-se

como representativa a equação de regressão que melhor explicava cada variável resposta, tendo como limite a equação polinomial de 2º grau. As análises foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico SAS - Statistical Analysis System.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento com omissão de nutrientes

4.1.1. Sintomas de deficiência

Quando a concentração de um nutriente no tecido desce abaixo do nível necessário para o crescimento ótimo, diz-se que a planta está deficiente. Além disso, os sintomas de deficiência de certo nutriente podem diferir de acordo com a cultura. Assim, o conhecimento da sintomatologia numa espécie fornece pouca ajuda para identificá-la em outra (EPSTEIN, 1975).

4.1.1.1. Deficiência de nitrogênio

Pimenteiras cultivadas em solução nutritiva com omissão de nitrogênio, manifestaram os primeiros sintomas de deficiência 41 dias após o início dos tratamentos. As folhas velhas apresentaram uma coloração verde amarelada,

distribuindo-se uniformemente no limbo, no pecíolo e nas nervuras; posteriormente a clorose se tornou generalizada.

Com a evolução dos sintomas, 30 dias após, as plantas apresentaram menor desenvolvimento em relação ao tratamento completo: caules finos, cloróticos. A partir desse período, o amarelecimento tornou-se mais acentuado (Figura 2). Os sintomas descritos concordam parcialmente com SHORROCKS (1979). No campo, segundo WAARD (1969), a floração torna-se escassa, os frutos apresentam desenvolvimento lento, as folhas caem, a planta deixa de crescer, definha e morre.

4.1.1.2. Deficiência de fósforo

O sintoma de deficiência de fósforo foi um dos últimos a aparecer, iniciando-se aos 140 dias após a omissão desse nutriente. Observaram-se as plantas com caules finos e com recurvamento para cima das folhas mais novas e, posteriormente das mais velhas; as folhas eram pequenas e estreitas. Estas apresentaram coloração verde-azulada com tons purpúreos na face superior do limbo, sendo ásperas ao tato. Nos estágios mais avançados, as plantas apresentaram-se menos desenvolvidas (Figura 2).

Há uma concordância geral na descrição desses sintomas com aqueles observados por WALLACE (1961), WAARD (1969), GORENZ citado por ALBUQUERQUE & CONDURU (1971) e SHORROCKS (1979).

4.1.1.3. Deficiência de potássio

A deficiência de potássio começou a se manifestar 122 dias após o início dos tratamentos. A princípio, as folhas mais velhas apresentaram-se deformadas, com início de clorose no ápice e evoluindo para a base da mesma. Com o agravamento da clorose, observou-se o início de necrose, nas margens e pontas das folhas mais velhas, e, logo a seguir, nas folhas novas; todas adquiriram consistência quebradiça (Figura 2).

Os sintomas observados apresentam uma certa semelhança com aqueles obtidos por WAARD (1969), WALLACE (1961) e SHORROCKS (1979). Esses autores, além dos sintomas mencionados, descreveram também que, com a evolução da deficiência ocorreu a queda das folhas antes da maturação completa.

4.1.1.4. Deficiência de cálcio

A deficiência de cálcio teve o seu início constatado aos 120 dias após a omissão desse nutriente. Inicialmente, observou-se um leve amarelecimento das folhas mais novas, havendo pequenas manchas necróticas na face superior das mais velhas. Com o avanço da deficiência, surgiram manchas necróticas nas bordas das folhas. Na parte basal, mostrou uma coloração amarelo-pálida, com pequenas

manchas necróticas, semelhantes a pequenas pontuações (Figura 2).

De acordo com WAARD (1969) as folhas com sintomas severos de deficiência caem prematuramente. Por isso, muitas pimenteiras com deficiência de cálcio em fase de crescimento, podem possuir apenas folhas novas.

4.1.1.5. Deficiência de magnésio

Os primeiros sinais de deficiência de magnésio puderam ser observados 104 dias após o início do tratamento. Inicialmente, as folhas mais velhas apresentaram amarelecimento e clorose internerval, com uma faixa estreita de tecido verde permanecendo ao longo das nervuras. A seguir, partes das margens apareceram necrosadas. No fim do cultivo, algumas folhas novas mostravam algum amarelecimento e clorose internerval (Figura 2).

Tais observações concordam de um modo geral com as de WAARD (1969) e SIM (1974). Nas condições de campo em pimentais adultos, MORAES (1968) observou a ocorrência de clorose, pouco evidente nas folhas novas, mas atingindo áreas progressivamente mais extensas nas folhas maduras, de coloração amarelo-limão brilhante, iniciando-se no ápice ou no meio. Há uma forte tendência à abscisão prematura das folhas, cujos sintomas se acentuam com o desenvolvimento da frutificação.

Figura 2. Detalhe de pimenteiras deficientes em: P, K no início, N, Ca, K, Mg no início, Mg e S.

4.1.1.6. Deficiência de enxofre

Os sintomas de deficiência de enxofre iniciaram-se 150 dias após a omissão desse nutriente e os sintomas mais característicos apareceram nas folhas mais novas. Estas apresentaram coloração parecida com a das folhas do tratamento referente à omissão de nitrogênio, além de pequena necrose na extremidade (Figura 2).

SHORROCKS (1979) relata que a sintomatologia das deficiências de nitrogênio e enxofre são parecidas; apenas a deficiência de enxofre se faz presente, nos estádios iniciais, nas folhas mais novas. Relata também o autor que nesse caso, há redução no crescimento e menor número de folhas, as quais apresentarão gradativo amarelecimento por toda sua área com posterior necrose da extremidade.

4.1.1.7. Deficiência de boro

Os primeiros sintomas de deficiência de boro aparecerem 130 dias após a omissão desse nutriente na solução nutritiva. Os sintomas caracterizaram-se por um amarelecimento partindo do centro para as pontas das folhas mais novas. Posteriormente, observou-se a formação de gemas terminais com reduzido desenvolvimento e de manchas escuras entre as nervuras e as margens das folhas. Algumas folhas mais novas, apresentavam-se encurvadas para baixo e com aspecto de

roseta, como na (Figura 3).

Os sintomas descritos concordam parcialmente com WALLACE (1961), SHORROCKS (1979) e SCAIFE & TURNER (1983). Segundo SHORROCKS (1979), a deficiência de boro conduz a uma irregularidade na divisão celular atingindo diretamente o meristema apical, tanto na raiz como no caule. Com relação às folhas, elas se apresentam retorcidas e com tamanho reduzido.

4.1.1.8. Deficiência de cobre

A deficiência de cobre começou a se manifestar 92 dias após o início dos tratamentos. O primeiro sinal foi o amarelecimento das folhas novas com coloração verde-pálida entre as nervuras. Com a intensificação do sintoma, as folhas apresentaram uma pequena distorção, ficaram estreitas, voltadas para baixo, com manchas necróticas nos bordos e tamanho reduzido em relação à folha sadia (Figura 3).

Os sintomas observados concordam com aqueles descritos por SHORROCKS (1979) em seringueira. Segundo MALAVOLTA (1980), as folhas mostram clorose que caminha da base para a ponta, ao longo da nervura principal. Segue-se o aparecimento de manchas aquosas e amareladas na lâmina e, finalmente, ocorre a queda.

Figura 3. Pimenteiras cultivada com todos os nutrientes e com deficiência em B, Cu, Mn, Fe e Zn.

4.1.1.9. Deficiência de ferro

A deficiência de ferro teve o seu início aos 70 dias após a omissão desse nutriente. Inicialmente, observou-se a clorose generalizada nas folhas novas, semelhante à deficiência de manganês. Com a evolução do sintoma, a folha toda apresentou coloração amarelo-pálido até branco. Houve redução no crescimento em relação ao tratamento completo (Figura 3).

Os sintomas descritos concordam parcialmente com SHORROCKS (1979) em seringueira. Segundo GORENZ, citado por ALBUQUERQUE & CONDURU (1971), pimenteiras cultivadas no campo se apresentam com folhas amareladas, conservando o verde vivo nas nervuras.

4.1.1.10. Deficiência de manganês

Os primeiros sinais de deficiência de manganês puderam ser observados 89 dias após o início do tratamento. Inicialmente, observou-se o amarelecimento das folhas novas com faixas de tecido verde circundando a nervura mediana e as nervuras principais, com alguma semelhança à deficiência de Mg. À medida que a deficiência evoluiu, a folha progressivamente se tornou mais amarela e, em seguida esbranquiçada, com necrose na ponta ou no bordo e com pequena redução no tamanho, como na Figura 3.

Os sintomas descritos concordam com os relatados por MALAVOLTA et alii (1989) em cafeeiros.

4.1.1.11. Deficiência de zinco

Os sintomas de deficiência de zinco iniciaram-se 95 dias após a omissão desse nutriente. O sintoma característico foi observado nas folhas novas com uma lâmina muito reduzida em sua largura, em relação a seu comprimento, ou seja, folhas estreitas e alongadas. Ocorreu também clorose generalizada da folha e na planta foi observada a redução dos internódios (Figura 3).

Os sintomas descritos concordam parcialmente com aqueles descritos por SHORROCKS (1979) em seringueira e por MALAVOLTA (1980) em cafeeiros e citrus.

4.1.2. Produção de matéria seca

Como indicadores de crescimento, utilizaram-se os dados de produção da matéria seca das diferentes partes das plantas, em função dos tratamentos (Tabela 7).

De uma maneira geral, todos os tratamentos com omissão de nutrientes foram inferiores ao completo com relação à produção de matéria seca total e nas diferentes partes da planta.

O nutriente que mais limitou o crescimento

Tabela 7. Produções médias de matéria seca (g/planta) das folhas, caule e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos (1).

Tratamentos	Partes da planta			
	Folhas	Caule	Raízes	Total
1. Completo	15,66a	14,98a	2,93a	33,57a
2. Omissão de N	4,04h	7,30def	1,94bcd	13,28e
3. Omissão de P	7,68def	9,24cde	2,82a	19,74cd
4. Omissão de K	8,96cd	9,99bcd	2,40abc	21,35cd
5. Omissão de Ca	10,41bc	12,58ab	1,64d	24,63bc
6. Omissão de Mg	12,15b	12,33abc	2,04bcd	26,52b
7. Omissão de S	5,80fgh	10,51bcd	2,58ab	18,88d
8. Omissão de B	6,06fgh	9,29bcde	1,86cd	17,20de
9. Omissão de Cu	6,58efg	8,17def	2,36abc	17,11de
10. Omissão de Mn	8,83cde	9,66bcde	2,30abcd	20,79cd
11. Omissão de Fe	5,08gh	6,35ef	2,40abc	13,83de
12. Omissão de Zn	6,05fgh	5,75f	2,54abc	14,34de
D.M.S. (5%)	2,25	3,35	0,69	5,01
C.V. (%)	11,42	13,93	12,02	10,12

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

da pimenteira foi o nitrogênio, pois a sua ausência reduziu em 60% a produção de matéria seca total, sendo as folhas as mais afetadas. Seguiram-se o ferro, o zinco, o cobre e o boro, provocando uma diminuição na produção de matéria seca total de 59%, 57%, 49% e 48%, respectivamente. O menor efeito foi observado nas ausências de cálcio e magnésio, embora

todos os tratamentos tenham diferido significativamente do completo. A redução na produção de matéria seca total ocorreu na seguinte ordem decrescente: N > Fe > Zn > Cu > B > S > P > Mn > K > Ca > Mg.

A importância do nitrogênio para a produtividade da pimenteira também foi observada em condições de campo por WAARD (1964), SIM (1971) e KATO (1978). Segundo EPSTEIN (1975), a ausência do nitrogênio nas plantas provoca alterações no metabolismo com consequentes prejuízos no seu desenvolvimento.

Os efeitos da omissão de nutrientes não se deram de forma homogênea, quando se consideraram partes da planta individualmente. A maior redução de produção de matéria seca de folhas, caule e raízes aconteceu na omissão de nitrogênio, zinco e cálcio com 74%, 62% e 44%, respectivamente, diferindo, significativamente e em todos os casos, da maior produção, observada no tratamento completo (Tabela 7).

A omissão de ferro, enxofre, zinco e boro, proporcionou diminuição da matéria seca das folhas, semelhante à provocada pela ausência de nitrogênio. O menor efeito depressivo na matéria seca das folhas foi observado nas ausências de cálcio e magnésio. Entretanto esses diferiram significativamente do tratamento completo.

No caule, a omissão de Fe, N e Cu teve efeito similar à de Zn. O menor efeito observado foi devido à

omissão de Ca e Mg que levou a produções de matéria seca semelhantes ao completo. Nesse sentido, verificamos a similaridade de efeitos da deficiência de nutrientes na matéria seca das folhas e do caule.

Nas raízes, a omissão de Ca, B, N e Mg teve efeitos semelhantes na produção de matéria seca, diferindo do tratamento completo. Os tratamentos com omissão de Cu, K, Fe, Zn, S e P apresentaram comportamento semelhantes.

4.1.3. Efeito da omissão de macro e micronutrientes sobre a quantidade e teores de nutrientes

Os teores e quantidades de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, manganês, ferro, e zinco nas diferentes partes da planta, em função dos tratamentos, encontram-se na Tabela 8. Verifica-se que todos os tratamentos nos quais se omitiu um nutriente nas diversas partes das pimenteiras, tiveram resultados geralmente inferiores quando comparados aos do completo.

A absorção de nutrientes pelas plantas obedeceu à seguinte ordem decrescente: nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo, enxofre, ferro, manganês, zinco, boro e cobre.

Tabela 8. Produção de matéria seca (g/planta), teor (% e $\mu\text{g/g}$) e quantidades existentes (mg/planta e $\mu\text{g/planta}$) do nutriente omitido nas folhas, caule e raízes das pimenteiras, em função dos tratamentos (média de 4 repetições).

Tratamentos	Partes da planta								
	Folhas			Caule			Raízes		
	(g)	%	mg	(g)	%	mg	(g)	%	mg
Omissão de N	4,04	1,74	70,30	7,30	1,71	124,83	1,94	1,81	35,11
Completo	15,66	3,47	543,40	14,98	2,60	389,48	2,93	3,08	90,24
Omissão de P	7,68	0,14	10,75	9,24	0,14	12,94	2,82	0,23	6,49
Completo	15,66	0,32	50,11	14,98	0,34	50,93	2,93	0,85	24,91
Omissão de K	8,96	0,56	50,18	9,98	1,07	106,79	2,40	0,42	10,08
Completo	15,66	1,95	305,37	14,98	1,93	289,11	2,93	1,44	42,19
Omissão de Ca	10,41	0,77	80,16	12,58	0,42	52,84	1,64	0,92	15,09
Completo	15,66	1,76	275,62	14,98	0,77	115,35	2,93	1,57	46,00
Omissão de Mg	12,15	0,43	52,25	12,33	0,24	29,59	2,04	0,27	5,51
Completo	15,66	0,58	90,83	14,98	0,32	47,94	2,93	0,32	9,38
Omissão de S	5,80	0,17	9,86	10,51	0,13	13,66	2,58	0,33	8,51
Completo	15,66	0,28	43,85	14,98	0,18	26,96	2,93	0,43	12,59
	(g)	ppm	μg	(g)	ppm	μg	(g)	ppm	μg
Omissão de B	6,06	17	103,02	9,29	12	111,48	1,86	23	42,78
Completo	15,66	34	532,44	14,98	17	254,66	2,93	38	111,34
Omissão de Cu	6,58	6	39,48	8,17	7	57,19	2,36	27	63,72
Completo	15,66	11	172,26	14,98	14	209,72	2,93	68	199,24
Omissão de Mn	8,83	31	273,73	9,66	27	260,82	2,30	488	1122,40
Completo	15,66	100	1566,00	14,98	69	1033,62	2,93	1883	5517,19
Omissão de Fe	5,08	234	1188,72	6,35	132	838,20	2,40	3110	7464,00
Completo	15,66	261	4087,26	14,98	212	3175,76	2,93	13628	39930,04
Omissão de Zn	6,05	16	96,80	5,75	18	103,50	2,54	62	157,48
Completo	15,66	53	262,29	14,98	31	262,83	2,93	99	202,64

4.1.4. Concentração de nutrientes

4.1.4.1. Nitrogênio

Os valores médios dos teores de nitrogênio nas diversas partes da planta, em função dos tratamentos, encontram-se na Tabela 9. Verifica-se que a omissão de N ocasionou uma redução na concentração desse nutriente em todas as partes amostradas da planta, comparada com a do tratamento completo. WAARD (1969) observou o mesmo fato em pimenteiras em Sarawak. No tratamento completo, a maior concentração encontrou-se nas folhas, indicando a alta mobilidade do elemento para esse dreno (EPSTEIN, 1975).

Os maiores teores de nitrogênio nas folhas, caule e raízes foram observados na omissão de K, Ca e S respectivamente, que diferiram significativamente do tratamento completo.

Alguns autores, como CIBES & SAMUELS (1955), verificaram que a omissão de potássio aumentou a concentração de nitrogênio em folhas de cafeeiro.

RICHARDS & BERNER (1954) relataram que plantas deficientes em potássio apresentaram elevada concentração de aminoácidos livres em seus tecidos.

PAULSEN & HARTER (1968) constataram que plantas de trigo deficientes de cálcio acumularam elevadas quantidades de nitrito e moderados teores de nitrato.

Tabela 9. Teores médios de nitrogênio (%) das folhas, caules e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos (1).

Tratamentos	Partes da planta		
	Folhas	Caule	Raízes
1. Completo	3,47c	2,60def	3,08c
2. Omissão de N	1,74g	1,71i	1,81e
3. Omissão de P	3,30d	2,53f	3,06c
4. Omissão de K	3,89a	3,22b	3,34b
5. Omissão de Ca	2,66f	3,43a	3,15c
6. Omissão de Mg	3,37cd	2,75c	3,60a
7. Omissão de S	3,72b	2,68cde	3,70a
8. Omissão de B	3,77ab	2,56ef	3,30b
9. Omissão de Cu	2,98e	2,73cd	2,81d
10. Omissão de Mn	2,98e	2,38g	2,82d
11. Omissão de Fe	2,56f	2,00h	2,80d
12. Omissão de Zn	3,03e	2,51fg	2,69d
D.M.S. (5%)	0,13	0,14	0,13
C.V. (%)	1,70	2,21	1,79

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

GILBERT (1951) relata que, em geral, as plantas deficientes em S apresentam elevados teores de N. Os dados obtidos no presente trabalho apresentam concordância com os encontrados pelos autores acima mencionados.

4.1.4.2. Fósforo

Os valores médios das concentrações de fósforo, nas partes da planta, encontram-se na Tabela 10. Observa-se que houve diminuição no teor do elemento nas partes da planta, quando se omitiu o mesmo da solução nutritiva, comparando-se com o do tratamento completo.

Os maiores teores de fósforo nas folhas foram observados nas ausências de N, K, S e Fe. No caule, ocorreu na omissão de Ca e, nas raízes, nas ausências de Mg e S, sendo superior ao das plantas sob tratamento completo. Resultados semelhantes foi obtido por WAARD (1969) em pimenta do reino cultivada em Sarawak, podendo ser devido ao efeito de diluição.

COBRA NETO (1971) encontrou altos teores de fósforo em plantas de feijão quando foram cultivadas na ausência de N. Tais resultados, foram também encontrados em espinafre por MAYNARD (1970), que observou aumento nos teores de P em plantas deficientes em K e em Ca.

4.1.4.3. Potássio

Os teores médios de potássio, nas diversas partes das plantas, em função dos tratamentos, podem ser observados na Tabela 11. O teor de potássio diminuiu em todas as partes da planta com a omissão desse nutriente.

Tabela 10. Teores médios de fósforo (%) nas folhas, caules e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos (1).

Tratamentos	Partes da planta		
	Folhas	Caule	Raízes
1. Completo	0,32d	0,34b	0,85c
2. Omissão de N	0,39ab	0,33b	1,11b
3. Omissão de P	0,14f	0,14c	0,23e
4. Omissão de K	0,42a	0,32b	1,13b
5. Omissão de Ca	0,29e	0,38a	0,28e
6. Omissão de Mg	0,36c	0,31b	1,27a
7. Omissão de S	0,42a	0,31b	1,30a
8. Omissão de B	0,37bc	0,32b	0,81c
9. Omissão de Cu	0,32d	0,32b	0,89c
10. Omissão de Mn	0,29e	0,31b	1,02b
11. Omissão de Fe	0,41a	0,34b	0,48d
12. Omissão de Zn	0,37bc	0,32b	0,85c
D.M.S. (5%)	0,03	0,04	0,11
C.V. (%)	3,43	4,81	5,42

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Observou-se um aumento na concentração de K no tratamento referente à omissão de N nas folhas e caule, nos tratamentos sob deficiência de Fe nas folhas e Zn nas raízes. Isso possivelmente possa ser explicado pela redução no peso da matéria seca para esses tratamentos.

MENGEL et alii (1976) relatam que o K não

Tabela 11. Teores médios de potássio (%) nas folhas, caules e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos (1).

Tratamentos	Partes da planta		
	Folhas	Caule	Raízes
1. Completo	1,95de	1,93bcd	1,46f
2. Omissão de N	2,33a	2,14a	1,56f
3. Omissão de P	2,13bc	2,00b	1,76e
4. Omissão de K	0,56h	1,07g	0,42h
5. Omissão de Ca	1,55g	1,13g	2,18bc
6. Omissão de Mg	2,18b	1,86cdef	0,67g
7. Omissão de S	1,97de	1,77f	1,77e
8. Omissão de B	1,78f	1,98bc	1,54f
9. Omissão de Cu	2,02cde	1,92bcde	2,21b
10. Omissão de Mn	2,07bcd	2,00b	1,90de
11. Omissão de Fe	2,35a	1,80ef	2,03cd
12. Omissão de Zn	1,91ef	1,81def	2,58a
D.M.S. (5%)	0,15	0,12	0,15
C.V. (%)	3,23	2,76	3,52

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

influencia somente a translocação de compostos nitrogenados para os grãos, como também exerce efeito positivo no transporte dos mesmos da raiz para a parte aérea.

Segundo MAYNARD (1970), a deficiência de nitrogênio elevou o teor de potássio nas folhas de espinafre cultivada em solução nutritiva.

Para ULRICH & OHKI (1966), níveis de potássio

nas folhas de plantas com necessidade normal do nutriente, estão entre 0,70% a 1,50% do peso do material seco, enquanto em plantas muito exigentes em potássio, esse nível poderá ser superior a 5%.

WAARD (1969) encontrou nas folhas de pimenta do reino sem deficiência, e com deficiência de K, os teores de 3,38% e 1,99% do nutriente, respectivamente; enquanto os teores observados no presente estudo foram de 1,95% e 0,56% respectivamente. Tais diferenças poderiam ser explicadas em virtude das condições experimentais distintas, tais como modificação da composição da solução nutritiva e uso de cultivar diferente.

4.1.4.4. Cálcio

Os teores médios de cálcio nas diferentes partes das plantas, em função dos tratamentos encontram-se na Tabela 12. Observa-se que os maiores teores de cálcio ocorrem no caule, quando se omitiu N, K, Mg, S, B, Mn, Fe, Zn e Cu que não diferiram significativamente do tratamento completo. Nas folhas e raízes as maiores concentrações ocorreram nos tratamentos sob deficiência de K e Mg, respectivamente.

Verifica-se, pela Tabela 12, a redução no teor de cálcio nas diversas partes da planta, quando se omitiu esse nutriente da solução nutritiva, em comparação ao tratamento completo. Verifica-se também que os mais baixos

Tabela 12. Teores médios de cálcio (%) nas folhas, caules e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos (1).

Tratamentos	Partes da planta		
	Folhas	Caule	Raízes
1. Completo	1,76cd	0,77a	1,57b
2. Omissão de N	1,89bc	0,80a	1,33cd
3. Omissão de P	1,58e	0,64b	1,07ef
4. Omissão de K	2,15a	0,77a	1,47bc
5. Omissão de Ca	0,77f	0,42c	0,92g
6. Omissão de Mg	1,64de	0,81a	1,96a
7. Omissão de S	1,97b	0,75a	1,20de
8. Omissão de B	1,58e	0,83a	0,89g
9. Omissão de Cu	1,81bc	0,74ab	1,05efg
10. Omissão de Mn	1,57e	0,84a	1,20de
11. Omissão de Fe	1,78cd	0,79a	1,08ef
12. Omissão de Zn	1,76cd	0,83a	0,92fg
D.M.S. (5%)	0,16	0,11	0,17
C.V. (%)	3,86	5,68	5,25

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

teores de cálcio ocorrem nas raízes, nos tratamentos com omissão de cálcio, boro e zinco.

Examinando os dados da Tabela 12 e comparando-se os resultados das diferentes partes das plantas deficientes em cálcio, observa-se que houve maior acúmulo de cálcio nas raízes, evidenciando, portanto, a imobilidade desse nutriente como citam EPSTEIN (1975), MALAVOLTA (1980),

MARSCHNER (1986) e MENGEL & KIRKBY, (1987).

Comparando-se a WAARD (1969) os teores médios de Ca obtidos no presente trabalho, estes se mostram superiores. Segundo SCAIFE & TURNER (1983), a análise da planta toda para diagnosticar o estado nutricional do cálcio tem pouco valor, por outro lado quando se amostra tecidos susceptíveis, a concentração deste nutriente tem sido bastante variável.

4.1.4.5. Magnésio

Os teores médios de magnésio, nas diversas partes das plantas, são apresentados na Tabela 13. Observa-se que a ausência de potássio fez aumentar o teor de magnésio nas folhas e caule; nas raízes, o maior teor ocorreu na omissão de manganês. Segundo EPSTEIN (1975), pode ser uma evidência da inibição competitiva do K na absorção de Mg.

Verificou-se, além disso, redução no teor de magnésio em todas as partes das plantas, quando o mesmo foi omitido da solução nutritiva. Resultados semelhantes foram encontrados por AMARAL (1983) em seringueira.

As folhas das plantas deficientes em N, Ca, S, B, Fe e Zn apresentaram teores de magnésio semelhantes aos do tratamento completo. A concentração de magnésio encontrada nas folhas das plantas do tratamento completo foi de 0,58%, definida como adequada por MARSCHNER (1986) e superior às obtidas por WAARD (1969) em pimenteira do reino (0,45%).

Tabela 13. Teores médios de magnésio (%) nas folhas, caules e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos (1).

Tratamentos	Partes da planta		
	Folhas	Caule	Raízes
1. Completo	0,58bc	0,32cd	0,32ef
2. Omissão de N	0,55cd	0,29de	0,35e
3. Omissão de P	0,57bc	0,36bc	0,31ef
4. Omissão de K	0,86a	0,46a	0,42d
5. Omissão de Ca	0,69b	0,45a	0,45cd
6. Omissão de Mg	0,43e	0,24f	0,27f
7. Omissão de S	0,64bc	0,27ef	0,30ef
8. Omissão de B	0,55cd	0,39b	0,35e
9. Omissão de Cu	0,61bc	0,35bc	0,53b
10. Omissão de Mn	0,46de	0,35bc	0,62a
11. Omissão de Fe	0,55cd	0,32cde	0,41d
12. Omissão de Zn	0,61bc	0,39b	0,50bc
D.M.S. (5%)	0,11	0,05	0,06
C.V. (%)	7,78	5,77	5,99

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.1.4.6. Enxofre

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 14. Observa-se que a omissão de cálcio e enxofre prejudicou os teores de enxofre nas folhas das plantas,

enquanto a ausência de nitrogênio prejudicou os teores de enxofre no caule. Segundo MALAVOLTA (1984), a absorção de enxofre depende diretamente de sua concentração, e, indiretamente, das concentrações do cátion acompanhante, obedecendo à seguinte série crescente: Ca, Mg, Na, NH_4 e K.

Conforme relatos de THOMAS et alii (1959), o metabolismo do enxofre e do nitrogênio apresentam estreita relação, porque o enxofre é constituinte estrutural de alguns aminoácidos e estes, por sua vez, das proteínas.

Os teores de enxofre nas folhas das plantas dos tratamentos com omissão de nitrogênio, fósforo e potássio foram semelhantes ao tratamento completo. No caule o aumento no teor de enxofre foi observado na ausência de cálcio e, nas raízes, na omissão de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio, que se comportaram de maneira semelhante ao completo. Os valores obtidos no presente trabalho para os teores de enxofre nas folhas, caule e raízes das plantas sem deficiência são 0,28%, 0,18% e 0,43% respectivamente, concordando com o teor adequado para a maioria das culturas (MENGEL & KIRKBY, 1987). Nas plantas com deficiência de enxofre, os teores apresentados foram de 0,17%, 0,13% e 0,33% nas folhas, caule e raízes, respectivamente.

Tabela 14. Teores médios de enxofre (%) nas folhas, caules e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos (1).

Tratamentos	Partes da planta		
	Folhas	Caule	Raízes
1. Completo	0,28a	0,18bcd	0,43a
2. Omissão de N	0,27ab	0,17bcd	0,35ab
3. Omissão de P	0,28a	0,18bcd	0,38ab
4. Omissão de K	0,28a	0,17bcd	0,36ab
5. Omissão de Ca	0,17f	0,41a	0,20e
6. Omissão de Mg	0,21def	0,14cd	0,38ab
7. Omissão de S	0,17f	0,13d	0,33bcd
8. Omissão de B	0,26abc	0,20b	0,33bcd
9. Omissão de Cu	0,22de	0,16bcd	0,24de
10. Omissão de Mn	0,18ef	0,17bcd	0,30bcd
11. Omissão de Fe	0,23bcd	0,17bcd	0,20e
12. Omissão de Zn	0,21def	0,18bc	0,25cde
D.M.S. (5%)	0,040	0,045	0,090
C.V. (%)	7,00	9,79	11,66

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.1.4.7. Cobre

A Tabela 15 apresenta os teores de cobre nas diferentes partes da planta em função dos tratamentos.

Observa-se que a omissão de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, boro, manganês e ferro

não afetou o teor de cobre nas folhas das plantas e, quando comparado à do tratamento completo. Os maiores teores de cobre nas folhas, caule e raízes foram observados no tratamento com omissão de ferro, possivelmente por diminuir a inibição competitiva no processo de absorção.

Houve redução no teor de cobre em todas as partes das plantas, quando esse elemento foi omitido. Resultados semelhantes foram observados por AMARAL (1983) em seringueira. Segundo MENGEL & KIRKBY (1987) a deficiência de cobre pode inibir o funcionamento da cadeia de transporte de elétrons, causando também redução na quantidade do CO₂ fixado pela fotossíntese, pois, conforme MALAVOLTA (1980), o cobre atua no metabolismo das plantas, ativando enzimas que dele são dependentes e participando de reações da fotossíntese.

4.1.4.8. Manganês

Os resultados obtidos para as concentrações de manganês, nas diferentes partes das plantas, estão assinalados na Tabela 16.

As plantas deficientes em cálcio e potássio apresentaram os maiores teores de manganês nas folhas e caule, enquanto, nas raízes, houve maior concentração nas ausências de potássio e magnésio. Tais resultados concordam portanto, com os obtidos por AMARAL (1983) em seringueira.

Tabela 15. Teores médios de cobre ($\mu\text{g/g}$) nas folhas, caules e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos (1).

Tratamentos	Partes da planta		
	Folhas	Caule	Raízes
1. Completo	11,00a	13,75ab	68,00b
2. Omissão de N	9,50ab	11,75bc	51,50c
3. Omissão de P	9,75ab	12,75abc	58,75bc
4. Omissão de K	8,50bc	9,75cd	68,00b
5. Omissão de Ca	9,75ab	15,75a	45,25c
6. Omissão de Mg	9,25ab	12,25abc	60,25bc
7. Omissão de S	10,50ab	13,00abc	58,00bc
8. Omissão de B	10,75ab	12,50abc	55,50c
9. Omissão de Cu	6,00c	7,00d	27,00d
10. Omissão de Mn	9,25ab	11,00bcd	50,00c
11. Omissão de Fe	11,25a	13,75ab	99,50a
12. Omissão de Zn	8,50bc	12,00abc	37,25d
D.M.S. (5%)	2,49	3,97	11,93
C.V. (%)	10,71	13,48	7,77

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Alguns autores, como LOHNIS (1960) e MASS et alii (1969), relatam que há um efeito competitivo entre manganês e cátions como o cálcio e o magnésio.

A omissão de manganês da solução diminuiu a sua concentração em todas as partes das plantas. As plantas cultivadas com o tratamento completo apresentaram teores de

Tabela 16. Teores médios de manganês ($\mu\text{g/g}$) nas folhas, caules e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos (1).

Tratamentos	Partes da planta		
	Folhas	Caule	Raízes
1. Completo	100,25def	68,50bcd	1883,00a
2. Omissão de N	120,25cde	53,00def	570,00fg
3. Omissão de P	105,75def	70,50abcd	1260,00cd
4. Omissão de K	164,75ab	72,75abc	1890,00a
5. Omissão de Ca	187,75a	88,50a	747,50f
6. Omissão de Mg	78,00f	43,00efg	1930,00a
7. Omissão de S	138,50bc	54,75cde	1080,00de
8. Omissão de B	139,00bc	86,25ab	1037,50e
9. Omissão de Cu	128,75cd	43,50efg	1567,50b
10. Omissão de Mn	31,00g	26,50g	487,50g
11. Omissão de Fe	96,75ef	34,75fg	982,50e
12. Omissão de Zn	106,50def	36,75efg	1392,50bc
D.M.S. (5%)	31,77	19,11	193,00
C.V. (%)	10,99	13,61	6,91

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

100 ppm nas folhas. De acordo com JONES Jr. (1972), esse valor está na faixa considerada adequada.

4.1.4.9. Ferro

A Tabela 17 apresenta os teores médios de

ferro nas diferentes partes da planta, em função dos tratamentos.

O tratamento com deficiência em boro ocasionou aumento na concentração de ferro nas folhas das pimenteiras; no caule, esse aumento ocorreu na ausência de cálcio e, nas raízes, na omissão de magnésio, sendo todos os teores superiores se comparados ao tratamento completo. Houve diminuição no teor de ferro em todas as partes da planta quando ele foi omitido da solução.

De acordo com MASCARENHAS (1977), é provável que essa tendência - crescer o nível de ferro no tratamento deficiente em cálcio - seja o resultado do antagonismo na absorção do íon ferro.

MALAVOLTA (1980) menciona que a absorção de ferro é consideravelmente influenciada pela competição de cátions como Ca, Mg, Cu, Zn, principalmente de Mn, no meio. Os teores de ferro encontrados nas folhas das plantas do tratamento completo foram de 261 ppm, considerados como adequados para a maioria das plantas cultivadas, segundo JONES Jr. (1972).

4.1.4.10. Zinco

A Tabela 18 apresenta as concentrações de zinco nas diversas partes das plantas, em função dos tratamentos.

Tabela 17. Teores médios de ferro ($\mu\text{g/g}$) nas folhas, caules e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos (1).

Tratamentos	Partes da planta		
	Folhas	Caule	Raízes
1. Completo	261,00ef	212,00fg	3628,00c
2. Omissão de N	502,50c	290,25de	11720,00d
3. Omissão de P	509,25c	363,75c	2215,00d
4. Omissão de K	472,00cd	507,75b	5740,00g
5. Omissão de Ca	578,25b	562,00a	5312,50g
6. Omissão de Mg	307,25e	318,00cd	18980,00a
7. Omissão de S	529,50bc	249,25ef	16100,00b
8. Omissão de B	915,25a	313,50d	8760,00e
9. Omissão de Cu	277,25ef	182,75g	7807,50f
10. Omissão de Mn	305,25e	181,25g	12485,00d
11. Omissão de Fe	234,00f	132,00h	3110,00h
12. Omissão de Zn	417,75d	234,75f	8810,00e
D.M.S. (5%)	59,16	46,88	826,87
C.V. (%)	5,39	6,39	3,21

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os dados da Tabela 18 mostram que houve maior concentração de zinco nas folhas das plantas com deficiência de manganês e, quando comparada à do tratamento completo, apresentou comportamento semelhante. A ausência de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio da solução afetou a absorção de zinco. Entretanto a omissão de cálcio,

boro, manganês e ferro aumentou o teor de zinco no caule; nas raízes o maior teor foi observado no tratamento sob deficiência de ferro.

GRAHAM et alii (1987), trabalhando com cevada em solução nutritiva, observaram que a deficiência de zinco aumentou a concentração de boro, dando suporte ao conceito de que o zinco tem papel protetor na superfície externa, ou nas membranas das células radiculares.

As concentrações de zinco encontradas nas folhas, caule e raízes das plantas do tratamento completo foram de 53 ppm, 31 ppm e 99 ppm, respectivamente, concordando com a concentração adequada sugerida para a maioria das culturas por JONES Jr. (1972). É conhecido o fato de que as raízes mostram teores maiores de zinco em relação à parte aérea, quando a planta se desenvolve em um meio com adequada disponibilidade de zinco (LINDSAY, 1972).

Tabela 18. Teores médios de zinco ($\mu\text{g/g}$) nas folhas, caules e raízes das pimenteiras do reino, nos diferentes tratamentos (1).

Tratamentos	Partes da planta		
	Folhas	Caule	Raízes
1. Completo	53,25a	31,00bc	99,00cd
2. Omissão de N	21,50efg	25,00cde	109,50c
3. Omissão de P	19,25fg	31,00bc	78,50efg
4. Omissão de K	20,75efg	19,75de	83,75def
5. Omissão de Ca	16,75fg	40,25ab	101,25cd
6. Omissão de Mg	21,75ef	29,50bcd	106,00c
7. Omissão de S	34,50b	18,50e	132,50b
8. Omissão de B	24,75de	35,50abc	96,75cde
9. Omissão de Cu	33,50bc	32,25bc	150,25b
10. Omissão de Mn	53,25a	39,00ab	98,50cd
11. Omissão de Fe	28,50cd	45,25a	148,75a
12. Omissão de Zn	16,25a	18,00e	61,75g
D.M.S. (5%)	5,30	10,88	18,63
C.V. (%)	8,33	14,98	6,47

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.2. Experimento com doses de alumínio

4.2.1. Efeito do alumínio sobre o crescimento e produção de matéria seca

Os efeitos dos tratamentos com alumínio na

produção de matéria seca das folhas, caule e raízes, na altura das plantas, no comprimento de raízes e na relação parte aérea/raízes estão expostos na Tabela 19.

Os parâmetros analisados foram afetados pelos tratamentos. Não houve diferença significativa no crescimento das plantas, mas houve a tendência de maior crescimento nas doses de até 20 ml/l de Al na solução. No comprimento das raízes, não houve diferença significativa pela presença do Al, mas diferiram na ausência do alumínio. Apesar de os indicadores de crescimento nas doses de 20 a 40 mg/l terem sido maiores que a testemunha, verifica-se que eles diminuíram em relação às doses 5, 10 e 15 mg/l, sugerindo que o efeito fitotóxico para a planta deveria acentuar-se ao longo do tempo.

Quanto ao peso da matéria seca das folhas, observou-se efeito positivo do Al até a dose de 15 mg/l, tendo tido a maior produção nesta dose, embora seja semelhante à dose 10 mg/l, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. O mesmo foi observado para a matéria seca do caule e das raízes, embora, nas raízes, a dose de 15 ml/l tenha tido efeito semelhante à dose de 5 mg/l, diferindo dos demais tratamentos. A Figura 4, mostra os efeitos do Al, com as respectivas equações.

A relação parte aérea/raiz não foi afetada com a adição de Al na solução, mostrando-se, com isso, que o efeito do alumínio foi homogêneo na planta inteira.

Tabela 19. Efeito das concentrações de alumínio em solução nutritiva na altura, comprimento das raízes e peso da matéria seca das folhas, caule e raízes das pimenteiras do reino (1).

Doses de Al^{3+} (mg/l)	Altura da planta (cm)	Comprimento raízes (cm)	Peso da matéria seca(g/planta)				Parte aérea raízes
			Folhas	Caule	Raízes	Total	
0	115 a	43 b	16,58d	11,15e	3,12d	30,85d	8,89a
5	138 a	64 a	24,52bc	20,01b	5,73ab	50,26b	7,77a
10	141 a	61 a	27,69ab	18,37bc	4,69bc	50,75b	9,82a
15	137 a	62 a	30,15a	29,31a	6,56a	66,02a	9,06a
20	139 a	59 ab	20,75cd	15,04cd	4,34c	40,13c	8,25a
40	120 a	71 a	18,01d	14,23de	3,52cd	35,76cd	9,16a
D.M.S. (5%)	37,23	17,81	4,73	3,54	1,19	7,65	2,96
C.V. (%)	12,60	13,23	9,18	8,74	11,36	7,46	14,75

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Segundo HELYAR (1978), as doses crescentes de alumínio causam um declínio exponencial na produção da parte aérea. Quando se usam espécies mais tolerantes, nota-se um estímulo na produção em baixas doses de alumínio, mas o declínio volta a aparecer em altas doses.

Embora o alumínio não seja considerado um elemento essencial, e ainda se desconheçam os mecanismos pelos quais, em baixas concentrações, ele possa, algumas vezes, induzir um aumento no crescimento ou produzir outros efeitos desejáveis, FOY (1974) e MARSCHNER (1986) discutem várias possibilidades de explicação para o fato: 1) aumento

Figura 4. Produção de matéria seca (g/planta) das folhas, caule e raízes das pimentei- ras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.

na disponibilidade do ferro em solos calcáreo (através da hidrólise do Al e da diminuição do pH); 2) correção ou prevenção de deficiência de ferro, pela liberação do ferro adsorvido em sítios metabolicamente inativos dentro da planta; 3) bloqueia sítios, na parede celular, carregados negativamente, promovendo a absorção de fósforo; 4) retardamento da deterioração das raízes em baixas concentrações de cálcio pelo crescimento mais lento; 5) correção ou prevenção do efeito de concentrações excessivas de fósforo; 6) prevenção de toxidez de cobre e manganês; 7) redução do crescimento indesejável do topo de porta-enxertos ricos em nitrogênio.

4.2.2. Efeito do alumínio na composição química da pimenteira do reino

Os dados analíticos referentes aos teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, manganês e ferro nas folhas para diagnóstico, em função das doses de Al, são apresentados na Tabela 20.

Os teores de alumínio aumentaram progressivamente de acordo com os incrementos de sua concentração na solução nutritiva. Em geral, o alumínio adicionado na solução fez decrescer os teores de fósforo, cálcio, magnésio e ferro e aumentou a concentração de potássio, alumínio e manganês. Os resultados indicaram que

Tabela 20. Composição química das folhas (1ª folha dos ramos frutíferos a 2/3 abaixo da copa) das pimenteiras, amostradas 215 dias após o início dos tratamentos (1).

Doses de	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe
Al ³⁺ (mg/l)	-----	%	-----	-----	-----	ug/g	-----
0	0,14a	1,77d	1,15a	0,59a	150d	176a	325a
5	0,10ab	1,90cd	1,07a	0,51a	208c	226a	190b
10	0,09ab	2,29a	0,87a	0,48ab	222bc	210a	196b
15	0,09ab	1,98bcd	0,99a	0,44ab	231bc	204a	174b
20	0,09ab	2,18ab	0,96a	0,43ab	270ab	193a	155b
40	0,08b	2,14abc	0,68a	0,42ab	305a	175a	221b
D.M.S. (5%)	0,05	0,28	0,53	0,31	48	82	69
C.V. (%)	24,68	6,07	24,60	33,02	9,26	18,46	14,61

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

a diminuição desses nutrientes pode ser atribuída ao efeito direto de alumínio na absorção de P, Ca e Mg, concordando com os publicados por FOY (1974).

Com relação à presente discussão, é de interesse a menção dos resultados de ANDREW et alii (1973) que verificaram que o aumento na absorção de potássio, pode ter ocorrido devido à capacidade das plantas em preservar um balanço catiônico.

Quanto aos teores de manganês, pode-se observar que aumentaram com elevação das concentrações de

alumínio em solução. Entretanto, apesar dos teores obtidos não se observou efeito de toxidez de Mn nas pimenteiras.

4.2.3. Efeito do alumínio sobre a extração de nutrientes

4.2.3.1. Fósforo

Nas Tabelas 21, 22 e 23 estão contidas as quantidades de fósforo nas diversas partes das plantas em função das doses de alumínio; na Figura 5, são ilustradas suas equações de regressão. Observa-se que o aumento da concentração de alumínio na solução, aumentou o teor de fósforo até a dose de 15 mg/l, decrescendo nas doses 20 e 40 mg Al/l, nas folhas, no caule e nas raízes. Isso permite inferir que, em doses superiores a 15 mg Al/l na solução, esse elemento pode afetar o desenvolvimento de pimenteiras por deficiência de fósforo.

De acordo com MARSCHNER (1986), o alumínio pode afetar diretamente a absorção de fósforo através de formação de complexos que se precipitam como fosfato de Al na superfície da raiz, e/ou no espaço livre aparente (ELA).

4.2.3.2. Potássio

Nas Tabelas 21, 22 e 23 são apresentados os

conteúdos de potássio nas diversas partes da planta. As equações de regressão são ilustradas na Figura 6. Verifica-se que houve um aumento no acúmulo de potássio com a adição de até 15 mg Al/l na solução nutritiva, apesar de se observar uma tendência decrescente a partir de 20 mg Al/l, nas folhas, no caule e nas raízes. O fato sugere que o efeito principal do alumínio sobre a acumulação de potássio ocorre, provavelmente, através da redução do tamanho radicular e da capacidade de absorção.

Aspecto interessante a ser mencionado, o estímulo no crescimento e na absorção de nutrientes, pelo alumínio, em baixas concentrações, já foram observados para *Eucalyptus* por MULLETTE (1975), e para outras espécies vegetais por vários autores (ANDREW et alii, 1973).

4.2.3.3. Cálcio

Nas Tabelas 21, 22 e 23, estão expressas as quantidades de cálcio contidas nas diversas partes da planta. As respectivas equações de regressão, são ilustradas na Figura 7. Verifica-se um aumento nas quantidades contidas nas folhas, caule e raízes, com a adição da dose de Al na solução até 15 mg/l, dose em que se obtiveram os maiores valores, com diminuição nas quantidades, a partir das doses 20 e 40 mg Al/l. Os dados indicam que, na dose mais alta (40 mg Al/l), apareceram as menores quantidades de cálcio.

As considerações de MARSCHNER (1986), no sentido de que o alumínio pode inibir a absorção de cálcio, principalmente como resultado do bloqueio ou competição nos sítios de troca, justificam o pequeno efeito do alumínio, observado no presente estudo. Do mesmo modo, FOY (1984) verificou que a toxidez de Al pode se manifestar como uma deficiência de Ca induzida, em consequência de uma redução do transporte do nutriente na planta, provocando um colapso nos pontos de crescimento em valores de pH < 5,5. O antagonismo Al x Ca talvez seja o fator mais limitante na absorção de Ca.

4.2.3.4. Magnésio

As quantidades de magnésio encontradas nas folhas, caule e raízes, em função das doses de alumínio, estão contidas nas Tabelas 21, 22 e 23. As equações de regressão são ilustradas pela Figura 8. Observa-se que a presença de alumínio na solução nutritiva promoveu um pequeno estímulo na absorção de magnésio, pois as maiores quantidades de magnésio nas folhas e no caule ocorreram na dose 15 mg Al/l, enquanto, na raiz, verificou-se o mesmo efeito com a dose 10 mg Al/l, estatisticamente semelhante à dose 15 mg Al/l. As plantas submetidas às doses mais elevadas, 20 e 40 mg Al/l, mostraram uma tendência de redução nas quantidades de Mg nas folhas, caule e raízes. Segundo FOY (1984), há possibilidade de o magnésio atuar benéficamente sobre as

Tabela 21. Quantidades médias de nutrientes e alumínio, existentes nas folhas das pimenteiras do reino, submetidas à doses de alumínio na solução nutritiva (1).

Doses de Al^{3+} (mg/l)	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe
	mg			ug			
0	21,92bcd	304,54c	197,91cd	79,99c	3565,2b	7097,8cd	4467,9c
5	24,44abc	598,56a	296,29ab	138,79ab	6659,9a	8780,9bc	7520,7b
10	29,39ab	603,63a	273,18abc	151,41a	5917,0a	8899,0b	8104,8b
15	30,76ab	621,58a	337,13a	164,63a	5675,6a	12679,5a	10333,5a
20	20,29cd	469,25b	241,54bc	118,40b	3925,3b	6915,8d	8256,5b
40	16,63d	268,76c	124,51d	80,93c	2394,7c	4958,6e	4480,3c
DMS. (5%)	7,75	97,67	77,30	32,20	1010,70	1793,10	1488,80
C.V. (%)	14,42	9,10	14,03	11,71	9,59	9,71	9,21

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

plantas, em detrimento da toxidez causada por Al, sugerindo que o fato se deva à redução competitiva do alumínio em contato com as raízes, ou ao decréscimo na atividade desse elemento.

4.2.3.5. Alumínio

As quantidades de alumínio encontradas nas diversas partes das plantas, em função dos tratamentos estão apresentadas nas Tabelas 21, 22 e 23. As equações de

regressão são ilustradas na Figura 9. Verifica-se que as quantidades de alumínio, acumuladas pelas plantas, alcançaram valores elevados nas folhas, caule e raízes, principalmente na dose de 15 mg/l, ocorrendo decréscimo nas doses 20 e 40 mg Al/l. Observou-se também que, mesmo na ausência de Al, houve uma considerável quantidade desse elemento nas plantas. Uma explicação para esse fato é que, usualmente, plantas superiores contêm cerca de 200 ppm de Al na matéria seca (MENGEL & KIRKBY (1987)). Os resultados do presente experimento indicaram que as raízes foram o principal órgão afetado por quantidades excessivas de alumínio na solução nutritiva.

Segundo FOY (1984), o excesso de Al nas plantas em geral interfere na divisão celular das raízes, aumenta a rigidez da parede celular pela ligação com as pectinas, reduz a produção de ácido desoxiribonucleico (DNA), diminui a respiração das raízes, interfere na ação das enzimas que governam a fosforilação de açúcares e precipita polissacarídeos da parede celular, além de perturbar a absorção, transporte e uso de vários nutrientes como fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro.

MARSCHNER (1986) relata que a acumulação de alumínio ocorre especialmente no núcleo das células das raízes, e que, nesse caso, o efeito pode ser resultado da injúria a esse órgão.

De acordo com FOY et alii (1978), vários

Tabela 22. Quantidades médias de nutrientes e alumínio, existentes no caule das pimenteiras do reino, submetidas à doses de alumínio na solução nutritiva (1).

Doses de	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe
Al ³⁺ (mg/l)	-----	mg	-----	-----	-----	ug	-----
0	11,08b	249,52c	74,53c	27,36cd	771,6c	3233,9b	950,8c
5	11,48b	315,15bc	106,15b	49,94ab	1361,4b	4473,4a	2325,2b
10	14,42ab	333,36b	88,17bc	39,33bc	1318,7b	2491,1c	2281,3b
15	16,86a	457,88a	147,15a	62,71a	1811,8a	4267,7a	4696,2a
20	11,09b	307,80bc	71,62c	29,92cd	902,0c	2517,4c	2233,1b
40	12,04b	338,36b	60,82c	23,02d	767,5c	3468,8b	2178,1b
D.M.S. (5%)	4,81	66,19	31,29	14,00	331,65	692,33	490,64
C.V. (%)	16,70	8,84	15,23	16,10	12,77	9,04	8,93

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

fenômenos ajudam a explicar a tolerância ao alumínio verificada entre e dentro de espécies: 1) algumas espécies (arroz, milho) que aumentam o pH do meio e, assim, diminuem a solubilidade e a toxidez do alumínio, são tolerantes; já as que não modificam o pH do substrato são sensíveis; 2) a tolerância pode estar relacionada a um mecanismo de absorção que exclui o excesso de Al do processo. Outras plantas podem transportar menos alumínio para a parte aérea, concentrando este elemento nas raízes; 3) em cultivares de trigo, cevada e soja, a tolerância ao Al está associada à capacidade de

Tabela 23. Quantidades médias de nutrientes e alumínio, existentes nas raízes das pimenteiras do reino, submetidas à doses de alumínio na solução nutritiva (1).

Doses de	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe
Al ³⁺ (mg/l)	mg				ug		
0	6,24c	56,73c	9,46c	4,55b	284,80c	3685c	1149c
5	7,99bc	88,27ab	20,35a	11,39a	605,29b	27712b	12243b
10	8,41ab	73,22bc	14,70abc	14,22a	627,29b	28645b	11074b
15	10,14a	105,40a	19,13ab	14,09a	829,27a	40275a	15484a
20	6,75bc	65,00c	13,74bc	12,45a	557,95b	22529b	12125b
40	5,87c	72,04bc	8,76c	4,81b	373,53c	23099b	11041b
D.M.S. (5%)	2,14	19,55	6,21	4,10	135,01	74112	2846
C.V. (%)	12,57	11,33	19,26	17,82	10,99	13,56	12,04

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

absorver mais cálcio ou de transportá-lo para a parte aérea;
 4) de um modo geral, a tolerância ao alumínio, em muitas espécies, se relaciona positivamente à capacidade de absorver e utilizar fósforo. Um outro aspecto de interesse, em relação à tolerância interna, é a verificação de que muitas espécies tolerantes parecem responder favoravelmente a adições moderadas de alumínio na solução (FOY, 1974).

Figura 5. Acúmulo de fósforo (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.

Figura 6. Acúmulo de potássio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.

Figura 7. Acúmulo de cálcio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.

Figura 8. Acúmulo de magnésio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.

Figura 9. Acúmulo de alumínio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimentei­ras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.

4.2.3.6. Manganês

As quantidades de manganês encontradas nas diferentes partes das plantas, em função das doses de alumínio, estão contidas nas Tabelas 21, 22 e 23. As equações de regressão são ilustradas pela Figura 10. Nota-se que houve aumento nas quantidades de manganês nas folhas, caule e raízes, com a adição de alumínio na solução até a dose de 15 mg/l, decrescendo nas doses superiores. Entretanto, os teores obtidos não se tem mostrado tóxicos para plantas de pimenta do reino, de acordo com as observações.

Por outro lado, MENGEL & KIRKBY (1987) observaram que, frequentemente, altos níveis de manganês nos tecidos das plantas estão associados à toxidez de alumínio. Entretanto ALAM (1983) verificou que, no arroz, o aumento de Al na solução promoveu uma diminuição do teor de Mn na parte aérea, enquanto, nas raízes, ocorreram aumentos, sugerindo que o manganês pode competir efetivamente com o Al pelos sítios ativos de absorção.

4.2.3.7. Ferro

Nas Tabelas 21, 22 e 23, estão expressos os valores das quantidades de ferro para as diversas partes das plantas, em função dos tratamentos com alumínio. As respectivas equações de regressão são ilustradas na Figura 11.

Figura 10. Acúmulo de manganês nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.

Figura 11. Acúmulo de ferro nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva.

Observou-se que a menor quantidade de ferro ocorreu na ausência de Al no caule e nas raízes, enquanto, nas folhas, foi constatada na presença de 40 mg Al/l. À medida que se aumentou a dose de alumínio na solução, a quantidade de ferro se elevou. Contudo as maiores quantidades de ferro ocorreram na dose de 15 mg Al/l, para folhas e raízes, e na dose de 5 mg Al/l para caule. Esses resultados estão de acordo com as observações de MENGEL & KIRKBY (1987), que relataram que a toxidez de Al está sempre acompanhada por altos níveis de ferro. Em arroz, ALAM (1983) observou um maior acúmulo de ferro nas raízes, com aumento, da concentração de Al, superior a 10 ppm.

4.2.4. Efeito de alumínio na distribuição de nutrientes nas raízes e parte aérea

A Tabela 24 mostra a influência do alumínio na distribuição de alguns nutrientes nas raízes e parte aérea. A percentagem de K, Ca, Mg e Mn, na parte aérea, foi maior do que nas raízes, não havendo diferença de distribuição em função dos tratamentos com alumínio. Para o fósforo, percebeu-se distribuição equitativa para a parte aérea e raízes, não se notando influência das doses de alumínio. Por outro lado, a percentagem de ferro e alumínio nas raízes aumentou enquanto a que permaneceu na parte aérea das plantas diminuiu, com os tratamentos de Al. Usualmente quando há

Tabela 24. Influências das concentrações de Al em solução nutritiva na distribuição de nutrientes e Al nas raízes e parte aérea das pimenteiras, 215 dias após o início dos tratamentos.

Doses de Al ³⁺ (mg/l)	Distribuição de nutrientes (%)													
	P		K		Ca		Mg		Mn		Fe		Al	
	PA*	Raiz	PA*	Raiz	PA*	Raiz	PA*	Raiz	PA*	Raiz	PA*	Raiz	PA*	Raiz
0	54	46	69	31	86	14	83	17	76	24	38	62	49	51
5	53	47	72	28	83	17	80	20	76	24	11	89	17	83
10	51	49	72	28	82	18	72	28	68	32	7	93	15	85
15	51	49	69	31	85	15	78	22	66	34	8	92	17	83
20	53	47	74	26	84	16	73	27	66	34	9	91	16	84
40	51	49	65	35	82	18	82	18	64	36	7	93	11	89

P.A.* = parte aérea

toxidez de alumínio verifica-se maior proporção de fósforo nas raízes, o que não aconteceu neste caso.

4.2.5. Sintomas de toxidez de alumínio

O primeiro sintoma visual da toxidez de alumínio na pimenteira foi a redução do sistema radicular. O crescimento da região apical foi inibido, e as raízes submetidas ao alumínio apresentavam-se grossas, com aspecto quebradiço, além de uma coloração amarelo-escura ou marron, provavelmente como resultado da inibição das raízes. Todo o sistema radicular apresentou-se enegrecido e com aspecto coralóide, sem ramificações das laterais. Na parte aérea das

plantas, os sintomas não mostraram semelhança com os de deficiência de fósforo e potássio (MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985). As folhas velhas apresentavam uma coloração verde-escura a púrpura, com pequeno amarelecimento a partir das margens, seguido de queda precoce das mesmas. Os sinais de toxidez ficaram mais evidentes nos tratamentos com 15, 20 e 40 mg Al/l.

Alguns aspectos observados em pimenteira neste experimento são semelhantes às descrições apresentadas por MENGEL & KIRKBY (1987), PAVAN & BINGHAM (1982), em cafeeiros, e por FOY (1984), para outras espécies afetadas pela toxidez de alumínio.

4.3. Experimento com doses de manganês

4.3.1. Produção de matéria seca

Como indicadores de crescimento, utilizaram-se os dados de produção de matéria seca das diferentes partes das plantas, em função das doses de Mn. Os dados estão apresentados na Tabela 25. As equações de regressão obtidas com esses valores são ilustradas na Figura 12.

Com a adição de manganês na solução nutritiva, observaram-se aumentos significativos no peso da matéria seca das folhas, caule e raízes, até a dose de 20 mg Mn/l, com decréscimo a partir do incremento das doses para 30, 40 e

Tabela 25. Pesos médios da matéria seca (g/planta) produzidas pelas folhas, caules e raízes e altura das plantas (cm), submetidas a doses de manganês na solução nutritiva (1).

Doses de Mn^{2+} (mg/l)	Partes da planta			Altura das plantas (cm)
	Folhas	Caule	Raízes	
0	12,49d	5,89d	2,49c	80 b
10	28,09b	19,27c	5,73a	146 a
20	35,39a	26,25a	5,81a	145 a
30	33,93a	25,58ab	4,58b	143 a
40	30,69b	24,74ab	4,46b	143 a
50	25,01c	21,84bc	4,78ab	135 a
D.M.S. (5%)	2,99	4,13	1,09	20
C.V. (%)	4,82	8,93	10,48	6,89

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

50 mg Mn/l. A menor produção de matéria seca ocorreu na ausência de Mn na solução, quando se apresentaram sintomas de deficiência de manganês. O efeito de toxidez foi visualizado a partir da dose 20 mg Mn/l. Quanto ao crescimento das plantas, verificou-se menor altura na ausência do elemento, não havendo diferenças significativas na presença de Mn na solução nutritiva.

Esses resultados ajustaram-se à equação de regressão, com resposta quadrática ao uso de manganês, porém, com menos evidência para a raiz. A partir da adição de 30 mg

Figura 12. Produção de matéria seca (g/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.

Mn/l na solução houve um efeito tóxico, conforme ilustrado na Figura 12. Isso pode indicar que houve um estímulo para o desenvolvimento das plantas com a presença de manganês em baixas concentrações, dada a essencialidade do elemento.

A literatura mostra efeitos semelhantes da ação do manganês em algumas espécies; seus efeitos benéficos nas plantas são relatados por EPSTEIN (1975) e MALAVOLTA (1980). Já a ação tóxica do Mn é normalmente evidenciada na parte aérea das plantas, as raízes parecem insensíveis a altas concentrações de Mn e afetadas somente de forma indireta, como resultado da inibição no crescimento da parte aérea, mencionadas por FOY (1976) e PAVAN & BINGHAM (1981).

4.3.2. Efeito das concentrações de manganês na composição química da pimenteira do reino

Os dados analíticos referentes aos teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn na folha para diagnóstico, em função das concentrações de manganês na solução, estão contidos na Tabela 26. Observa-se uma maior concentração de nitrogênio na ausência de Mn na solução; há decréscimo até a dose 20 mg Mn/l e voltando a aumentar nas doses 30 e 40 mg Mn/l, semelhantes entre si. A variação nos teores P e K na folha seguiu o mesmo comportamento do nitrogênio. O manganês adicionado na solução não afetou a absorção de Ca e Mg, ocasionando aumentos nas concentrações desses nutrientes.

Os teores de manganês nas folhas aumentaram como resultado dos tratamentos com Mn, enquanto, no caso dos teores de cobre, houve tendência de decréscimo. Por outro lado, não ocorreu variação significativa nos teores de ferro e zinco na folha com adições de manganês na solução. Essas observações são similares às aquelas observadas por FOY (1973). A relação Ca/Mn nos tecidos mostra que, possivelmente, a absorção de cálcio não foi influenciada pelo aumento da concentração de manganês presente na solução. Contudo a relação Mn/Fe nos tecidos aumentou até a concentração de 30 mg Mn/l, estabilizando-se nas doses superiores. Uma relação Mn/Fe de 22 foi associada a sintomas severos de toxidez nas folhas das pimenteiras.

A relação Mn/Fe nos tecidos de plantas tem um interesse peculiar, tendo em vista que a toxidez de Mn está associada à deficiência de Fe (LEE, 1972).

4.3.3. Efeito das doses de manganês sobre a extração de nutrientes

4.3.3.1. Macronutrientes

Os dados referentes às quantidades de N, P, K, Ca e Mg nas diversas partes das plantas, em função das doses de manganês na solução nutritiva, encontram-se na Tabela 27. Observa-se aumento das quantidades de nitrogênio nas folhas,

Tabela 26. Composição química das folhas (1ª folha dos ramos frutíferos a 2/3 abaixo da copa), das pimenteiras amostradas seis meses após o início dos tratamentos (1).

Dose Mn ²⁺ (mg/l)	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca	Mn
			%				ug/g			/	/
										Mn	Fe
0	5,22a	0,35a	1,47a	1,05c	0,41b	14a	327a	22d	18a	-	-
10	3,93b	0,23b	1,64a	2,32b	0,70a	12ab	336a	2823d	22a	8	8
20	2,99c	0,20b	1,36a	2,41b	0,71a	10ab	320a	3273b	19a	7	10
30	3,49bc	0,23b	1,42a	2,40b	0,70a	9b	286a	6295a	18a	4	22
40	3,82b	0,26b	1,73a	2,87a	0,61ab	10ab	348a	6309a	18a	5	18
50	3,18c	0,24b	1,54a	2,35b	0,67a	11ab	285a	6333a	20a	4	22
DMS (5%)	0,53	0,08	0,46	0,36	0,21	4	85	325	5		
CV(%)	6,24	13,66	13,43	7,23	15,00	17,15	11,98	3,47	11,24		

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

até a dose de 30 mg Mn/l e, no caule, até 40 mg Mn/l; indicou-se o início de toxidez pela redução na produção de matéria seca nas doses superiores, conforme Tabela 25. As quantidades de fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas folhas aumentaram, em função do fornecimento de até 20 mg Mn/l na solução, decrescendo com as adições a partir de 30 mg Mn/l. No caule, as quantidades de potássio aumentaram, de acordo com o incremento de manganês na solução, enquanto, nas quantidades de fósforo, ocorreu aumento até 20 mg Mn/l, diminuindo nas doses superiores. Em relação às quantidades de

cálcio e magnésio, houve aumentos, com adições de manganês até 30 mg/l na solução, e, posteriormente, decréscimo significativo nas doses 40 e 50 mg Mn/l. Nas raízes, as quantidades de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio aumentaram, com adições de manganês na solução até 10 mg/l, enquanto as quantidades de magnésio aumentaram com o fornecimento de até 20 mg Mn/l na solução nutritiva, diminuindo nas doses superiores.

Nas Figuras 13, 14, 15, 16 e 17 são apresentadas as equações de regressão quadráticas, obtidas em função do efeito do manganês sobre o acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas folhas, caule e raízes das pimenteiros do reino.

As Figuras 13, 14 e 15, referentes às quantidades de N, P e K respectivamente, mostram resposta positiva ao manganês apenas na parte aérea das plantas. Enquanto, na raiz, se observou resposta quadrática negativa para o potássio. Com relação ao Ca e Mg, verifica-se, nas Figuras 16 e 17, resposta positiva até a dose de 20 mg Mn/l.

4.3.3.2. Micronutrientes

Os valores referentes às quantidades de cobre, ferro, manganês e zinco nas diferentes partes das plantas, em função das doses de manganês na solução nutritiva, encontram-se na Tabela 28. Verificou-se que a quantidade de

Tabela 27. Quantidades médias de macronutrientes (mg/planta) existentes nas folhas, caule e raízes das pimenteiras, submetidas a doses de manganês na solução nutritiva (1).

Doses Mn ²⁺ (mg/l)	Partes da Planta	N	P	K	Ca	Mg
0	Folhas	639,60c	44,97d	279,88d	151,36d	66,81e
	Caule	235,32c	18,09c	138,98c	41,89c	17,52c
	Raízes	114,76d	19,25c	45,83d	9,85c	4,67c
10	Folhas	1119,59b	61,76c	481,01b	617,04b	147,51b
	Caule	730,53b	67,43b	384,74b	141,64ab	73,25b
	Raízes	211,47a	37,39a	84,07a	43,31a	10,43c
20	Folhas	1258,70a	82,17a	520,24ab	824,58a	198,96a
	Caule	877,44ab	82,82a	386,02b	138,38b	91,23ab
	Raízes	187,62ab	30,93ab	54,62cd	39,07a	37,93a
30	Folhas	1350,68a	70,30bc	387,47c	790,62a	121,20cd
	Caule	918,41a	67,27b	427,32ab	161,85a	101,20a
	Raízes	173,78abc	25,95bc	51,37d	39,30a	34,43ab
40	Folhas	1304,19a	78,22ab	534,66a	667,10b	136,50bc
	Caule	946,90a	65,58b	433,13ab	126,73b	84,59ab
	Raízes	141,80cd	23,53c	73,28ab	28,34b	36,31ab
50	Folhas	1083,25b	50,16d	369,25c	525,41c	113,17d
	Caule	835,27ab	57,29b	474,30a	120,73b	83,61ab
	Raízes	169,93bc	25,14bc	67,50bc	25,13b	30,37b

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

manganês nas folhas, no caule e nas raízes aumentaram, de acordo com os incrementos de sua concentração na solução. FOY (1976) menciona que, quando se tem maior concentração de Mn na solução do solo, há maior absorção de manganês pelas plantas. As quantidades de Cu, Fe e Zn nas folhas aumentaram, com adições de até 20 mg Mn/l na solução nutritiva, e diminuíram significativamente a partir da dose 30 mg Mn/l. No

caule, ocorreram aumentos nas quantidades de Cu e Zn até 30 mg Mn/l, enquanto nas de ferro, na dose 20 mg Mn/l, com posterior decréscimo nas doses superiores. Nas raízes, as quantidades de Cu, Fe e Zn aumentaram, com adições de até 10 mg Mn/l e foram afetadas pelas concentrações de Mn a partir de 20 mg/l na solução.

Nas Figuras 18, 19, 20 e 21, são apresentadas as equações de regressão quadráticas, obtidas em função do efeito do manganês sobre a acumulação de Cu, Fe, Mn e Zn nas diversas partes das pimenteiras. Pode-se observar que as plantas responderam ao manganês somente na parte aérea, até a dose de 20 mg/l, a partir de 30 mg Mn/l, a resposta é negativa, com redução nas quantidades desses nutrientes.

Esses resultados sugerem que as quantidades contidas de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, na parte aérea das plantas foram afetadas pela presença de manganês na solução, a partir de 20 mg/l. Observaram-se sintomas visuais de toxidez nas folhas das pimenteiras, com cloroses marginais e entre as nervuras, com pequenos pontos necróticos no limbo. Esses sintomas apareceram, inicialmente, nas folhas mais novas e progrediram para as mais velhas, com o acúmulo de Mn na parte aérea. Resultados semelhantes foram publicados por FOY (1973), segundo o qual a absorção total de P, Ca, Mg, B e Fe pelas plantas de alfafa em solução nutritiva foi reduzida quando as plantas receberam altas concentrações de manganês.

Figura 13. Acúmulo de nitrogênio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.

Figura 14. Acúmulo de fósforo (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.

Figura 15. Acúmulo de potássio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.

Figura 16. Acúmulo de cálcio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.

Figura 17. Acúmulo de magnésio (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.

Do mesmo modo, PAVAN & BINGHAM (1981) verificaram, em cafeeiros, que o excesso de manganês na solução diminuiu a absorção de ferro e cálcio, mas não afetou a absorção do boro, zinco, magnésio e nitrogênio total das folhas.

FOY (1976) verificou que o manganês, quando em excesso na planta, promove, primeiramente, redução na parte aérea e, como consequência, também no sistema radicular. Por outro lado, FOY et alii (1978) mencionam que o manganês quando em excesso na solução do solo, promove reduções nas quantidades absorvidas de cálcio, ferro e magnésio pelas plantas, o que vem justificar os resultados obtidos.

De acordo com FOY et alii (1978), a toxidez de manganês é difícil de ser estudada isoladamente, por causa das interações existentes entre ele e outros elementos, tais como fósforo, cálcio, ferro, alumínio e silício. Os mesmos autores mencionam que tais interações podem ser responsáveis pela diversidade de sintomas em plantas e pelas reduções produzidas no crescimento pelo excesso de manganês em diferentes espécies.

Tabela 28. Quantidades médias de micronutrientes ($\mu\text{g/planta}$) existentes nas folhas, caule e raízes das pimenteiras, submetidas a doses de manganês na solução nutritiva (1).

Doses Mn^{2+} (mg/l)	Partes da Planta	Cu	Fe	Mn	Zn
0	Folhas	215,18d	4524,10d	402,00e	230,90d
	Caule	126,43b	2008,10d	173,00f	141,12d
	Raízes	129,00c	20796,00d	143,00d	289,25a
10	Folhas	371,89b	7427,10b	62336,00d	687,49b
	Caule	419,53a	3166,50c	6530,00e	510,40bc
	Raízes	223,03b	36252,00a	9477,00c	318,04a
20	Folhas	468,59a	9380,70a	147233,00c	804,93a
	Caule	419,70a	5881,80a	12361,00d	662,10a
	Raízes	208,03b	32233,00ab	12610,00c	301,62a
30	Folhas	372,71b	8477,90ab	163853,00b	687,45b
	Caule	467,77a	5003,60b	20897,00c	669,41a
	Raízes	200,61b	29173,00bc	18465,00b	190,92b
40	Folhas	391,34b	8862,70a	195312,00a	767,87ab
	Caule	425,10a	3590,70c	29648,00b	576,54ab
	Raízes	217,68b	23541,00cd	20682,00b	159,63b
50	Folhas	287,71c	5808,60c	159124,00bc	531,69c
	Caule	387,12a	1969,70d	34136,00a	473,69c
	Raízes	285,52a	25472,00cd	25450,00a	201,26b

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Figura 18. Acúmulo de cobre (ug/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.

Figura 19. Acúmulo de ferro (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.

Figura 20. Acúmulo de manganês (mg/planta) nas folhas, caule e raízes das pimentei­ras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.

Figura 21. Acúmulo de zinco (ug/planta) nas folhas, caule e raízes das pimenteiras submetidas a doses de manganês na solução nutritiva.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho, permitiram as seguintes conclusões:

A produção de matéria seca total das plantas foi afetada em todos os tratamentos com omissão de nutrientes, obedecendo à seguinte ordem decrescente: $N > Fe > Zn > Cu > B > S > P > Mn > K > Ca > Mg$.

Os nutrientes absorvidos em maiores quantidades pela pimenteira do reino foram o nitrogênio e o potássio, seguindo-se, pela ordem decrescente: cálcio, magnésio, fósforo, enxofre, ferro, manganês, zinco, boro e cobre.

As concentrações dos nutrientes nas folhas do tratamento completo e com omissão foram respectivamente: $N=3,47$ e $1,74\%$; $P=0,32$ e $0,14\%$; $K=1,95$ e $0,56\%$; $Ca=1,76$ e $0,77\%$; $Mg=0,58$ e $0,43\%$; $S=0,28$ e $0,17\%$; $B=34$ e 17 ppm; $Cu=11$ e 6 ppm; $Mn=100$ e 31 ppm; $Fe=261$ e 234 ppm; $Zn=53$ e 16 ppm.

Observou-se efeito positivo do alumínio na

produção de matéria seca das folhas, caule e raízes até a dose de 15 mg Al/l, tendo tido a maior produção nesta dose, o que correspondeu a uma maior absorção de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe e Al.

A adição de 20 mg Al/l diminuiu o peso da matéria seca e a absorção de nutrientes e Al, o qual foi associado com o início do efeito da toxidez, esperado maior intensificação ao longo do tempo.

A pimenteira do reino é acumuladora e tolerante à presença de concentrações de alumínio inferiores a 20 mg/l no substrato. Doses superiores provocam distúrbios nutricionais na planta.

O excesso de manganês (30 mg/l) na solução nutritiva reduziu o desenvolvimento das plantas e a absorção de P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Zn.

Observaram-se sintomas de toxidez de manganês a partir da concentração de 20 mg Mn/l na solução: cloroses e pontos necróticos nas folhas novas e progrediram para as mais velhas com acúmulo de Mn na parte aérea da pimenteira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, F. & LUND, Z.F. Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils. **Soil Science**, Baltimore, **101**(3):193-8, 1966.
- ALAM, S.M. Effect of aluminum on the dry matter and mineral content of rice. **Journal of Science Technology**, Peshawar, **7**(1/2):1-3, 1983.
- ALBUQUERQUE, F.C. de & CONDURU, J.M.P. **Cultura da pimenta do reino na região amazônica**. Belém, IPEAN, 1971. 149p. (IPEAN. Sér. Fitotecnia, v.2, n.3).
- ALBUQUERQUE, F.C. de; VELOSO, C.A.C.; DUARTE, M.L.R.; KATO, O.R. **Pimenta do reino; recomendações básicas para seu cultivo**. Belém, EMBRAPA-UEPAE de Belém, 1989. 40p. (EMBRAPA-UEPAE de Belém. Documentos, 12).
- ALLAWAY, W.H. & THOMPSON, J.F. Sulfur in the nutrition of plants and animals. **Soil Science**, Baltimore, **104** (4): 240-7, 1966.

AMARAL, W. do. Deficiências de macronutrientes e de boro em seringueira (*Hevea brasiliensis*, L.). Piracicaba, 1983. 44p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

ANDREW, C.S. & HEGARTY, M.P. Comparative responses to manganese excess of eight tropical and four temperate pasture legume species. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victória, 20:687-96, 1969.

ANDREW, C.S.; JOHNSON, A.D.; SANDLAND, R.L. Effect of aluminum on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victória, 24: 325-39, 1973.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL - 1992, Rio de Janeiro, 52: 556, 1992.

ARNON, D.I. Criteria of essentiality of inorganic micronutrients for plants with special reference to molybdenum. In: WALLACE, T. **Trace elements in plant physiology**. Waltham, Chronica Botanica, 1950. p.31-9. (LOTSYA. A Biological Miscellany, 3).

AVDONIN, N.S. Aluminum in sod-podzolic soils. **Soviet Soil Science**, Washington, 4:441-9, 1971.

BARBOSA FILHO, M.P. **Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e irrigado)**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 120p. (Boletim Técnico, 9).

BARTLETT, R.J. & RIEGO, D.C. Toxicity of aluminum in relation to pH and phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, 114(3):194-200, 1972.

CALBO, A.G. & CAMBRAIA, J. Efeito do alumínio sobre a composição mineral de dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Revista Ceres**, Viçosa, 27: 369-78, 1980.

CAMARGO, C.E.O.; CAMARGO, O.B.A.; SOUZA, D.M. Diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva na tolerância de cultivares de arroz. **Bragantia**, Campinas, 43(2):357-68, 1984.

CAMBRAIA, J. Mecanismos de tolerância a toxidez de alumínio em plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FISIOLOGIA VEGETAL, 2., Piracicaba, 1989. **Anais**. Piracicaba, SBFV/ESALQ, 1989. p.85-92.

CHAPMAN, H.D., ed. **Diagnostic criteria for planta and soils.** Berkeley, University of California/Division of Agricultural Science, 1966. 793p.

CHIBA, M. & TERADA, S. On the optimum amount of fertilizer based upon the amount of nutrients absorbed by pepper plant in Amazonia Region. **Japanese Journal of Tropical Agriculture**, Ibaraki, **20**(1): 14-21, 1976.

CIBES, H. & SAMUELS, G. **Mineral deficiency symptoms displayed by coffee trees under controled conditions.** Rio Piedras, University of Puerto Rico, Agricultural Experimental, 1955. 8p. (Technical Paper, 14).

CLARKSON, D.T. Metabolic aspects of aluminum toxicity and some possible mecanisms for resistance. In: RORISON, I. H., ed. **Ecological aspects of mineral nutrition of plants.** Oxford, Blackwell Scientific, 1969. p.381-97.

COBRA NETO, A.; ACCORSI, W.R.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. var. roxinho). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, **28**:257-74, 1971.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas; princípios e perspectivas.** Trad. E. Malavolta. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.

FALESI, I.C. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia Brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA E EXPERIMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA DO NORTE, **Zoneamento agrícola da Amazônia.** Belém, IPEAN, 1972. p.17-67. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).

FOY, C.D. Manganese and plants. In: _____. **Manganese.** Washington, National Academy of Sciences; National Research Council, 1973. p.51-76.

FOY, C.D. Effect of aluminum on plant growth. In: CARSON, F.W., ed. **The plant root and its environment.** Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.601-42.

FOY, C.D. Differential aluminium and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. **Ciência e Cultura**, São Paulo, **28**(2): 150-5, 1976.

FOY, C.D. Physiological effects of hydrogen, aluminum and manganese toxicities in acid soil. In: ADAMS, F., ed. **Soil acidity and liming.** 2.ed. Madison, Soil Science Society American, 1984. p.57-97.

FOY, C.D. Soil chemical factors limiting plant root growth
In: HATFIELD, J.L. & STEWART, B.A. **Limitations to plant
root growth**. New York, Springer-Verlag, 1992. p.97-149.

FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of me-
tal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physio-
logy**, Lancaster, **29**: 511-66, 1978.

FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; ARMIGER, W.H. Aluminum tolerance
of soybean varieties in relation to calcium nutrition.
Agronomy Journal, Madison, **61**(4): 505-11, 1969.

FOY, C.D.; ARMINGER, W.H.; BRIGGLE, L.W.; REID, D.A. Diffe-
rential aluminum tolerance of wheat and barley varieties
in acid soils. **Agronomy Journal**, Madison, **57**(5):413-7,
1965.

FURLANI, P.R. Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas.
In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2.,
Piracicaba, 1989. **Anais**. Campinas, Fundação Cargill,
1989. p.73-90.

GANGWAR, M.S. & CHANDRA, S.K. Estimation of critical limit
for zinc in rice soils. **Communications in Soil Science
and Plant Analysis**, New York, **7**:295-310, 1976.

GILBERT, F.A. The place of sulfur in plant nutrition. **The Botanical Review**, Bronx, **17**(9):671-91, 1951.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. Piracicaba, Nobel, 1987. 467p.

GRAHAM, R.D. Male sterility in wheat plants deficient in copper. **Nature**, London, **254**:514-5, 1975.

GRAHAM, R.D.; NELCH, R.M.; GRUNES, D.L.; CARY, E.E.; NORVELL, W.A. Effect of zinc deficiency on the accumulation of boron and other mineral nutrients in barley. **Soil Science Society of America Journal**, Baltimore, **51** (3): 652-7, 1987.

GUPTA, V.C. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**, San Diego, **31**: 273-307, 1979.

HECHT-BUCHHOLZ, C. & SCHUSTER, J. Responses of Al tolerant Dayton and Al sensitive Kearney barley cultivars to calcium and magnesium during Al stress. **Plant and Soil**, The Hague, **99**:47-61, 1987.

HEENAN, D.P. & CARTER, O.G. Tolerance of soybean cultivars to manganese toxicity. **Crop Science**, Madison, **16**:389-91 1976.

HEINTZ, J.G. Manganese-phosphate reactions in aqueous systems and the effects application of monocalcium phosphate on the availability of manganese to oats in alkaline fan soil. **Plant and Soil**, The Hague, **29**:407-23, 1968.

HELYAR, K.R. Effects of aluminum and manganese toxicity on legume growth. In: ANDREW, C.S. & KAMPRATH, E.J., ed. **Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils**. Melbourne, CSIRO, 1978. p.207-31.

HEWITT, E.J. The effects of mineral deficiencies and excesses on growth and composition. In: ROBINSON, J.B.D. ed. **Diagnosis of mineral disorders in plants**. London, H.M.S.O., 1983. v.1, cap.2, p.54-110.

HEWITT, E.J. & SMITH, T.A. **Plant mineral nutrition**. London, English University Press, 1975. 298p.

HORWARTH, G.; DROPPA, M.; TERRY, N. Changes in photosynthetic attributes in response to copper depletion in sugar beets (*Beta vulgaris* L.). **Journal of Plant Nutrition**, New York, **6**:971-81, 1983.

JARVIS, S.C. & HATCH, D.J. Differential effects of low concentrations of aluminum on the growth of four genotypes of white clover. **Plant and Soil**, The Hague, **99**:241-53, 1987.

JONES, W.W. Nitrogen In: CHAPMAN, H.D., ed. **Diagnostic criteria for plants and soils**. Berkeley, University of California/Division of Agricultural Science, 1966. cap. 22, p.310-23.

JONES Jr., J.B. Plant tissue analysis for micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L., ed. **Micronutrients in agriculture**. Madison, Soil Science Society of America, 1972. cap.14, p.319-46.

KAMPRATH, E.J. Lime in relation to aluminum toxicity in tropical soils. In: ANDREW, C.S. & KAMPRATH, E.J., ed. **Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils**. Melbourne, CSIRO, 1978. p.232-45.

KATO, A.K. Teor e distribuição de N, P, K, Ca e Mg em pimenteiras do reino (*Piper nigrum*, L.). Piracicaba, 1978. 75p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

KUPPER, A.; SACCHETTO, M.T.D.; RAIJ, B. van. Formas e níveis de manganês em alguns solos com e sem calagem. **Bragantia**, Campinas, **27**(15): XV-XVII, 1968.

LEE, C.R. Interrelationships of aluminum and manganese on the potato plant. **Agronomy Journal**, Madison, **64**:546-9, 1972.

LEVEQUE, L.A. & BELEY, J. Contribution a l' étude de la nutrition minerale de l' arachide (*Arachis hypogaea*). Effects des toxicités borique et manganique. **L' Agronomie Tropicale**, Paris, **14**(1):684-710, 1959.

LEWIN, J. & REIMANN, B.E.F. Silicon and plant growth. **Annual Review of Plant Physiology**, New York, **20**:289-304, 1969.

LINDSAY, W.L. Zinc in soils and plant nutrition. **Advances in Agronomy**, San Diego, **24**:147-86, 1972.

LOHNIS, M.P. Effect of magnesium and calcium supply on the uptake of manganese by various crop plants. **Plant and Soil**, The Hague, **12**(4):339-76, 1960.

- LOPES, A.S. **Solos sob "cerrado";** características, propriedades e manejo. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 162p.
- MAISTRE, J. Las pimientos. In: MAISTRE, J. **Las plantas de especias.** Barcelona, Ed. Blume, 1969. p.123-208.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola;** adubos e adubação. 3. ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 596p.
- MALAVOLTA, E. **Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras.** Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 91p. (Boletim Técnico, 4).
- MALAVOLTA, E. & KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no cerrado.** Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1985. 136p.
- MALAVOLTA, E. & VIOLANTE NETTO, A. **Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros.** Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 153p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas; princípios e aplicações.** Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London, Academic Press, 1986. 674p.

MASCARENHAS, H.A.A. **Calcio, enxofre e ferro no solo e na planta.** Campinas, Fundação Cargill, 1977. 95p.

MASS, E.V.; MOORE, D.P.; MASON, B.J. Influence of calcium and magnesium on manganese absorption. **Plant Physiology**, Lancaster, **44**:796-800, 1969.

MAYNARD, D.N. The effects of nutrient stems the growth and composition of spinach. **Journal of the America Society for Horticultural Science**, Alexandria, **95** (5): 598-600, 1970.

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition.** 4.ed. Worblaufen-Bern, International Potash Institute, 1987. 687p.

- MENGEL, K.; VIRO, M.; HEHL, G. Effect of potassium on uptake and incorporation of ammonium-nitrogen of rice plants. **Plant and Soil**, The Hague, **44**:547-58, 1976.
- MILANEZ, D. Levantamento nutricional de pimenteiras do reino no Espírito Santo pela análise foliar. Cariacica EMCAPA, 1984. 23p. (EMCAPA. Boletim de Pesquisa, 5).
- MILLER, D.S. & DONOSO, G. Relationship between the sulphur /nitrogen ratio and the protein value of diets. **Journal of the Science Food and Agriculture**, London, **14**:345-9, 1963.
- MORAES, V. H.F. Ocorrência de deficiência de magnésio em pimenta do reino (*Piper nigrum*, L.) em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **3**: 147-9, 1968.
- MULLETTE, K.J. Stimulation of growth in *Eucalyptus* due to aluminum. **Plant and Soil**, The Hague, **42**:495-9, 1975.
- NELSON, L.G.; BERGER, K.C.; ANDIRES, H.J. Copper requirements and deficiency symptoms of a number of field and vegetable crops. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, **20**:69-72, 1956.

NOGUEIRA, F.D. Efeitos do alumínio no sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench). Piracicaba, 1979. 120p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

OHKI, K. Zinc nutrition related to critical deficiency and toxicity levels for sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, **76**: 253-6, 1984.

OHKI, K. Aluminum toxicity effects on growth and nutrient compositions in wheat. **Agronomy Journal**, Madison, **77** (6):951-6, 1985.

OHNO, Y.; MARUR, C.J.; OKUYAMA, L.A. Antagonistic iron deficiency of rice plants growing in acid red latosol in Paraná, Brazil. **JARQ**, Ibaraki, **12**(3):177-9, 1978.

OLIVEIRA, L.E.M. Crescimento e comportamento nutricional de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*, Grantz) submetidos a níveis de alumínio. Viçosa, 1979. 39p. (M.S.- Universidade Federal de Viçosa).

OLIVEIRA, L.E.M. & RENA, A.B. Influência do alumínio sobre o comportamento nutricional de cultivares de mandioca em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **24**(9):1119-30, 1989.

OLMOS, J.I.L. & CAMARGO, M.C. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, São Paulo, **28**:171-80, 1976.

OMETTO, J.C. Registros e estimativas dos parâmetros meteorológicos da região de Piracicaba, SP. Piracicaba, FEALQ, 1991. 76p.

PAULSEN, G.M. & HARDER, J.E. Evidence for a role of calcium in nitrate assimilation in wheat seedlings. **Plant Physiology**, Washington, **13**:775-80, 1968.

PAVAN, M.A. & BINGHAM, F.T. Toxidez de metais em plantas. I. Caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **16**(6): 815-21, 1981.

PAVAN, M.A. & BINGHAM, F.T. Toxidez de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **17**(9):1293-302, 1982.

PEASLEE, D.E. & FRINK, G.R. Influence of silicic acid on uptake on Mn, Al, Zn and Cu by tomato (*Lycopersicon esculentum*) grown on an acid soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, **33**:569-71, 1969.

PRATT, P.F. Aluminum. In: CHAPMAN, H.D., ed., **Diagnostic criteria for plants and soils**. Berkeley, University of California/Division of Agricultural Science, 1966. p.3-12.

RICHARDS, E.J. & BERNER, E. Physiological studies in plant nutrition. XVII. A general survey of the free aminoacids of barley as affected by mineral nutrition with special reference to potassium supply. **Annals of Botany**, London, **18**:15-33, 1954.

ROY, K.A.; SHARMA, A.; TALUKDER, G. Some aspects of aluminum toxicity in plants. **The Botanical Review**, Bronx, **54** (1):145-78, 1988.

SCAIFE, A. & TURNER, M. Diagnosing mineral disorders by eye. In:_____. **Vegetables**. London, Her Majesty's Stationery Office, 1983. cap.1, p.7-14. (Diagnosis of Mineral Disorders in Plants, 2).

SHORROCKS, V.M. **Deficiências minerais em hevea e plantas de cobertura associadas**. Brasília, SUDHEVEA, 1979. 76p.

SIM, E.S. Dry matter production and major nutrient contents of black pepper (*Piper nigrum*, L.) in Sarawak. **Malaysian Agricultural Journal**, Kuala Lumpur, **48**(2):73-93, 1971.

SIM, E.S. Trace element contents of black pepper (*Piper nigrum*, L.). **Malaysian Agricultural Journal**, Kuala Lumpur, **49**(2):96-111, 1973.

SIM, E.S. A nutrient survey of black pepper smallholdings in Sarawak. **Malaysian Agricultural Journal**, Kuala Lumpur, **49**(3):365-80, 1974.

THOMAS, M.D.; HENDRICKS, R.H.; HILL, G.R. Sulfur content of vegetation. **Soil Science**, Baltimore, **70**:9-17, 1959.

TREJO CHANDIAS, J.E. Efeito do alumínio e da proporção NO_3/NH_4 sobre o balanço iônico, a composição nitrogenada e a atividade da redutase do nitrato em sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Viçosa, 1985. 36p. (M.S.- Universidade Federal de Viçosa).

ULRICH, A. & OHKI, K. Potassium. In: CHAPMAN, H.D., ed. **Diagnostic criteria for plants and soils**. Berkeley, University of California/Division of Agricultural Science, 1966. cap.24, p.444-75.

VOSE, P.B. Varietal differences in plant nutrition. **Herbage Abstracts**, Farnham Royal, **33** (1):1-13, 1963.

WAARD, P.W.F. de. Pepper cultivation in Sarawak. **World Crops**, London, 16(3):24-30, 1964.

WAARD, P.W.F. de. Foliar diagnosis, nutrition and yield stability of black pepper (*Piper nigrum*, L.) in Sarawak. Amsterdam, Royal Tropical Institute, 1969. 149p. (Communication, 58).

WAARD, P.W.F. de. Problem areas and prospects of production of pepper (*Piper nigrum*, L.); an overview. Amsterdam, Royal Tropical Institute/Department of Agricultural Research, 1980. 29p. (Bulletin, 308).

WAARD, P.W.F. de & SUTTON, C.D. Toxicity of Aluminium to black pepper (*Piper nigrum*, L.) in Sarawak. **Nature**, London, 188 (4756):1129-30, 1960.

WALLACE, T. The diagnosis of mineral deficiency in plants by visual symptoms; a colour atlas and guide. 3. ed. London, H.M.S.O., 1961. 125p.

APÊNDICE

Apêndice 1. Quantidades de macronutrientes (mg/planta) absorvidas pela pimenteira do reino em função dos tratamentos (1).

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
1. Completo	1021,69a	124,92a	637,72a	437,72a	148,00a	73,86a
2. Omissão de N	230,44e	61,30ef	280,63e	160,31efg	50,15d	30,02efg
3. Omissão de P	572,71c	29,51g	397,46cd	210,24cde	85,92b	48,12bc
4. Omissão de K	749,58b	95,63bc	167,33f	304,50b	133,41a	50,60b
5. Omissão de Ca	760,08b	82,34cd	339,47cde	158,88fg	134,74a	71,88a
6. Omissão de Mg	821,66b	107,61ab	507,42b	340,06b	86,85b	49,95b
7. Omissão de S	592,06c	90,74bc	345,32cde	223,22cd	73,34bcd	36,34def
8. Omissão de B	526,61c	67,43def	319,84de	189,62defg	76,25bc	41,02bcd
9. Omissão de Cu	485,29cd	68,32def	341,88cde	204,54cdef	80,68b	32,87defg
10.Omissão de Mn	558,39c	78,46cde	418,86c	246,88c	87,75b	39,07cde
11.Omissão de Fe	300,83e	50,02f	260,71e	149,72g	53,28cd	25,31g
12.Omissão de Zn	365,34de	58,20f	265,68e	159,49efg	66,17bcd	26,95fg
D.M.S. (5%)	146,28	19,58	85,97	50,80	24,78	10,74
C.V. (%)	10,12	10,35	9,70	8,82	11,12	9,86

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Apêndice 2. Quantidades de micronutrientes ($\mu\text{g/planta}$) absorvidas pela pimenteira do reino em função dos tratamentos (1).

Tratamentos	Cu	Fe	Mn	Zn
1. Completo	403,90b	47153,78a	4221,54cd	727,76cd
2. Omissão de N	223,14ef	26919,73cd	1983,30fg	482,58de
3. Omissão de P	358,60bcd	41716,94ab	5010,04bc	656,00cd
4. Omissão de K	335,34bcd	23102,75d	6734,62a	581,83cde
5. Omissão de Ca	315,18cd	21850,20d	4289,45cd	718,07cd
6. Omissão de Mg	388,12bc	46380,34a	5411,19b	841,26bc
7. Omissão de S	347,14bcd	47078,77a	4176,96cd	738,96cd
8. Omissão de B	283,75def	24693,77cd	3574,61de	660,88cd
9. Omissão de Cu	210,94f	21790,19d	4919,66bc	838,14bc
10. Omissão de Mn	303,22cde	33150,14bc	1655,13g	1083,07ab
11. Omissão de Fe	611,77a	9293,42e	2971,48ef	1332,20a
12. Omissão de Zn	205,46f	25761,93cd	4296,38cd	339,89e
D.M.S. (5%)	88,09	8931,10	1030,70	268,73
C.V. (%)	10,68	11,70	10,12	14,43

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Apêndice 3. Teores médios (% e ug/g) de nutrientes e Al nas folhas, caule e raízes das pimenteiras, submetidas a doses de alumínio na solução nutritiva (1).

Doses Al ⁺³ (mg/l)	Partes Planta	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe
		-----	-----	-----	-----	-----	ug/g	-----
0	Folhas	0,13a	1,84e	1,20a	0,48bc	269e	215b	428a
	Caule	0,10a	2,24b	0,67a	0,24ab	84d	69ab	290a
	Raízes	0,20a	1,82b	0,31abc	0,15cd	369d	92d	1177c
5	Folhas	0,10ab	2,46a	1,21a	0,57a	307c	272a	358b
	Caule	0,06b	1,56e	0,53b	0,25a	116c	68ab	224c
	Raízes	0,14c	1,54de	0,35a	0,20bc	2130c	106c	4837b
10	Folhas	0,11ab	2,18c	0,98b	0,55ab	293d	214b	322c
	Caule	0,08ab	1,82d	0,48bc	0,22ab	124c	72a	136e
	Raízes	0,18ab	1,56cd	0,31ab	0,30a	2363c	134a	6093a
15	Folhas	0,10ab	2,06d	1,11ab	0,55ab	343b	188c	421a
	Caule	0,06b	1,56e	0,50bc	0,21ab	160a	62bc	146e
	Raízes	0,16bc	1,61c	0,29bc	0,22b	2374c	126b	6129a
20	Folhas	0,09b	2,26b	1,17a	0,57a	398a	189c	333c
	Caule	0,08ab	2,05c	0,48bc	0,20bc	148b	60cd	167d
	Raízes	0,16bc	1,50e	0,32ab	0,29a	2787b	129ab	5187b
40	Folhas	0,09b	1,49f	0,69c	0,45c	249f	133d	275d
	Caule	0,08ab	2,38a	0,43c	0,16c	153ab	53d	244b
	Raízes	0,17bc	2,05a	0,25c	0,14d	3141a	106c	6560a

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Apêndice 4. Teores médios (% e $\mu\text{g/g}$) de nutrientes nas folhas, caule e raízes de pimenteiras, submetidas à doses de manganês na solução nutritiva (1).

Doses Mn^{2+} (mg/l)	Partes da Planta	N	P	K %	Ca	Mg	Cu	Fe ug/g	Mn	Zn
0	Folhas	5,12a	0,36a	2,24a	1,21c	0,54a	17a	362a	32e	19c
	Caule	4,00a	0,31b	2,36a	0,71ab	0,30d	22a	341a	30f	24abc
	Raízes	4,60a	0,77a	1,84a	0,40e	0,19d	52b	8344a	58f	116a
10	Folhas	3,99c	0,22cd	1,71b	2,20b	0,53a	13b	264c	2220f	25a
	Caule	3,79b	0,35a	1,99c	0,74a	0,38ab	22a	164d	339e	27a
	Raízes	3,69c	0,65b	1,47c	0,76b	0,18d	39d	6329b	1655e	56b
20	Folhas	3,56d	0,23bc	1,47c	2,33a	0,56a	13b	265c	4160c	23ab
	Caule	3,34d	0,32b	1,47e	0,53c	0,35bc	16b	224b	471d	25ab
	Raízes	3,23e	0,53c	0,94e	0,67c	0,65c	36e	5550c	2170d	52b
30	Folhas	3,98c	0,21cd	1,14d	2,33a	0,36c	11c	250cd	4830b	20bc
	Caule	3,59c	0,26c	1,67d	0,63b	0,40a	18b	196c	818c	26ab
	Raízes	3,80b	0,57c	1,12d	0,86a	0,75b	44c	6376b	4035c	42c
40	Folhas	4,25b	0,26b	1,74b	2,17b	0,44b	13b	289b	6364a	25a
	Caule	3,83b	0,27c	1,75d	0,52c	0,34c	17b	146e	1203b	23bc
	Raízes	3,18e	0,53c	1,65b	0,64c	0,82a	49b	5283d	4638b	36c
50	Folhas	4,33b	0,20d	1,48c	2,10b	0,45b	11c	233d	6361a	21b
	Caule	3,82b	0,26d	2,17b	0,55c	0,38a	18b	90f	1565a	22c
	Raízes	3,56d	0,53c	1,41c	0,53d	0,64c	60a	5330d	5325a	42c

(1) Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não apresentam diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.