

EFEITOS DO ALUMÍNIO EM PIMENTEIRAS DO REINO (*Piper nigrum*, L.) CULTIVADAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA¹

C.A.C. VELOSO²; T. MURAOKA³; E. MALAVOLTA³; J.G. de CARVALHO⁴

² CPATU/EMBRAPA, C.P. 48, CEP: 66095-100, Belém, PA.

³ Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA/USP, C.P. 96, CEP: 13400-970, Piracicaba, SP.

⁴ Depto. de Ciência do Solo, ESAL/LAVRAS, C.P. 37, CEP: 37200-000. Lavras, MG.

RESUMO: A pimenteira 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. Visando estudar os efeitos do alumínio sobre a cultura foi conduzido um experimento com a cultivar Guajarina em solução nutritiva. As doses de alumínio estudadas foram: 0; 5; 10; 15; 20 e 40 mg/L. O sintoma inicial de toxidez de alumínio foi caracterizado por um retardamento no crescimento radicular, com aumento no diâmetro das raízes. Observou-se efeito positivo do alumínio na produção de matéria seca com adição de até 15 mg/L na solução, o que correspondeu a 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 com redução no crescimento da planta.

Descritores: *Piper nigrum*, toxidez de alumínio, absorção, nutrição

EFFECT OF ALUMINUM ON BLACK PEPPER (*Piper nigrum*, L.) GROWN IN NUTRIENT SOLUTION

ABSTRACT: Black pepper (*Piper nigrum*, L.) is usually grown in soils of low natural fertility and high aluminum saturation. An experiment using young plants of the Guajarina cultivar grown in nutrient solution was carried out in order to verify the effects of aluminum on the growth and chemical composition and determine the concentration in the substrate which causes toxicity symptoms. Aluminum was added to the nutrient solution at the rates of 0, 5, 10, 15, 20 and 40 mg/L. The initial symptom of Al toxicity was a slower development of the roots, which were thicker than those of the control. Dry weight increased when aluminum supply increased 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 concentrations as high as 20 mg/L. Higher rates cause nutritional disturbances and reduction in growth.

Key Words: black pepper, aluminum toxicity, absorption, nutrition

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).

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 efeito nocivo de alumínio em plantas tem sido extensivamente pesquisado por muitos cientistas como FOY *et al.* (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 marrom, menos ramificadas, quebradiças e ocasionalmente com manchas necróticas (FOY, 1992).

O limitado crescimento das raízes restringe a absorção de nutrientes e água, o que pode afetar

¹ Parte do trabalho de tese do primeiro autor, apresentado à ESALQ/USP

consideravelmente o rendimento das culturas, em solos com baixa fertilidade (FOY, 1992).

Na prática, o uso de corretivos da acidez diminui o efeito tóxico do alumínio. Há inúmeros resultados na literatura demonstrando que através da calagem dos solos ácidos elimina-se o Al trocável e aumenta-se a produção dos cultivos (PRATT, 1966; LOPES, 1984; MALAVOLTA & KLIEMANN, 1985). 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 al.*, 1989).

Portanto, devido aos poucos dados de pesquisa disponíveis sobre o efeito nocivo de alumínio em pimenteiras, foi conduzido um experimento em solução nutritiva com os objetivos de verificar os efeitos do alumínio no crescimento e na composição química da pimenteira do reino, bem como determinar as concentrações de alumínio que induzem sintomas de toxidez.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em solução nutritiva em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo, em Piracicaba-SP, no período compreendido entre abril a novembro de 1992.

Foram utilizadas mudas de pimenteira do reino (*Piper nigrum*, L.) obtidas de estacas herbáceas com dois entre-nós e providas de uma folha no nó superior, do cultivar Guajarina, coletadas em uma área de plantio comercial no município de Mirassolândia-SP.

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 plásticos 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 (TABELA 1), de acordo com a metodologia usada por WAARD (1969), diluída a 1/4 da concentração usual; nas duas semanas seguin-

tes receberam solução diluída a 1/2 e em seguida foram submetidas aos tratamentos.

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 $AlCl_3 \cdot 6H_2O$. 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 1.

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, dividiram-se as plantas em 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 moídas 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.

Para as análises químicas, as amostras do material colhido foram digeridas em ácido nítrico e perclórico concentrados, segundo o método descrito por MALAVOLTA *et al.*, (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, ferro e manganês por espectrofotometria de absorção atômica.

TABELA 1. 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

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.

Os resultados do experimento foram submetidos a análise de variância, sendo as médias comparadas através do teste de Tukey. As análises foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico SAS - Statistical Analysis System.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 2.

Os parâmetros analisados foram afetados pelos tratamentos. Não houve diferença significativa na altura das plantas, mas houve a tendência de maior altura nas doses de até 20 ml/l de Al na solução. No comprimento das raízes, não houve diferença significativa na presença do Al, mas na ausência do alumínio o comprimento foi menor. Apesar da altura das plantas 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.

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 relação parte aérea/raiz não foi afetada pela adição de Al na solução, mostrando-se, com isso, que o efeito do alumínio foi homogêneo na planta inteira. 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 na disponibilidade do ferro em solos calcáreos (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.

TABELA 2. Efeito de concentrações de alumínio na solução nutritiva na altura, comprimento das raízes e peso da matéria seca das folhas, caule e raízes de pimenteira do reino (1).

Doses de Al ³⁺ (mg/l)	Altura da planta (cm)	Comprimento raízes (cm)	Peso da matéria seca(g/planta)				Relação P.A. 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.

TABELA 3. Composição química das folhas (1ª folha dos ramos frutíferos a 2/3 abaixo da copa) das pimentei-ras, amostradas 215 dias após o início dos tratamentos (1).

Doses de Al ³⁺ (mg/l)	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe
	-----: % -----				----- ug/g -----		
0	0,14a	1,77d	1,15a	0,59a	150d	176a	325
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.

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 3.

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 P, Ca, Mg, e Fe e aumentou a concentração de K, Al, e Mn. Os resultados indicaram que 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 al.* (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 pimentei-ras.

Efeito do alumínio sobre a extração de nutrientes: Fósforo: Nas TABELAS 4, 5 e 6, estão contidas as quantidades de fósforo nas diversas partes das plantas em função das doses de alumínio. Ob-

serva-se que o aumento da concentração de alumínio na solução aumentou a quantidade 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.

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).

Potássio: Nas TABELAS 4, 5 e 6, são apresentados os conteúdos de potássio nas diversas partes da planta. 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 al.*, 1973).

Cálcio: Nas TABELAS 4, 5 e 6, estão expressas as quantidades de cálcio contidas nas diversas partes da planta. 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.

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.

Magnésio: As quantidades de magnésio encontradas nas folhas, caule e raízes, em função das doses de alumínio, estão contidas nas TABELAS 4, 5 e 6. 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.

Alumínio: As quantidades de alumínio encontradas nas diversas partes das plantas, em função dos tratamentos estão apresentadas nas TABELAS 4, 5 e 6. 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

TABELA 4. Quantidades médias de nutrientes e alumínio, existentes nas folhas das pimenteiras do reino, submetidas às doses de alumínio na solução nutritiva (1)

Doses de Al ³⁺ (mg/l)	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe
	mg/planta				ug/planta		
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.

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 al.* (1978), vários 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 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).

TABELA 5. Quantidades médias de nutrientes e alumínio, existentes no caule 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/planta				μ g/planta		
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.

TABELA 6. Quantidades médias de nutrientes e alumínio, existentes nas raízes 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/planta				μ g/planta		
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.

Manganês: As quantidades de manganês encontradas nas diferentes partes das plantas, em função das doses de alumínio, estão contidas nas TABELAS 4, 5 e 6. 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 tem se 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.

Ferro: Nas TABELAS 4, 5 e 6, estão expressos os valores das quantidades de ferro para as diversas partes das plantas, em função dos tratamentos com alumínio. 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.

Efeito de alumínio na distribuição de nutrientes nas raízes e parte aérea: A TABELA 7, mostra a

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

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.

TABELA 7. 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

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho, permitiram as seguintes conclusões:

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. O sintoma inicial de toxidez de alumínio foi caracterizado por um retardamento no crescimento radicular, com aumento no diâmetro das raízes.

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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAM, S.M. Effect of aluminum on the dry matter and mineral content of rice. *Journal of Science Technology*, Peshawar, v.7, n.1/2, p.1-3, 1983.
- 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).
- 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*, Vitória, v.24, p.325-339, 1973.
- CAMBRAIA, J. Mecanismos de tolerância a toxidez de alumínio em plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FISILOGIA VEGETAL, 2., Piracicaba, 1989. *Anais...* Piracicaba: SBFV; ESALQ, 1989. p.85-92.
- FALESI, I.C. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia Brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA E EXPERIMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA DO NORTE. *Zonamento agrícola da Amazônia*. Belém: IPEAN, 1972. p.17-67. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).
- 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.601-642.
- 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 of America, 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 metal toxicity in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Lancaster, v.29, p.511-566, 1978.
- 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.
- 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.207-231.
- 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 pimentas. In: _____. *Las plantas de especias*. Barcelona: Ed. Blume, 1969. p.123-208.
- MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. *Desordens nutricionais no cerrado*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1985. 136p.
- 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.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. 4.ed. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MULLETTE, K.J. Stimulation of growth in *Eucalyptus* due to aluminum. *Plant and Soil*, The Hague, v.42, p.495-499, 1975.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Toxidez de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.17, n.9, p.1293-1302, 1982.
- 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.
- 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).

Recebido para publicação em 21.10.94

Aceito para publicação em 27.06.95