

TOLERÂNCIA DE PROGÊNIOS DE CAFEEIROS (*Coffea arabica* L.) AO EXCESSO DE MANGANÊS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA¹

André Vinicius Zabini², Hermínia Emília Prieto Martinez³, Camila Andrade Silva⁴

(Recebido: 10 de novembro de 2006; aceito: 25 de maio de 2007)

RESUMO: A toxidez de manganês é uma das mais comuns entre os micronutrientes, especialmente em solos tropicais ácidos, afetando o crescimento e a produtividade das culturas. Com o objetivo de avaliar a tolerância ao excesso de manganês em progênies de cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.), foi instalado um experimento fatorial 14 x 2 (14 progênies e 2 concentrações de manganês) no delineamento inteiramente ao acaso com três repetições. As mudas dos cafeeiros foram cultivadas durante sete meses em casa-de-vegetação, em solução nutritiva com 7,0 e 70,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de manganês. Avaliaram-se as características de crescimento e os teores de manganês em folhas apicais, folhas inferiores e folhas completamente expandidas. As progênies UFV 3880, Mundo Novo 12 CAS, H-518-3-6-1 e H-518-2-10-14 foram as que apresentaram maior frequência de redução das características de crescimento, demonstrando maior sensibilidade ao excesso de manganês em solução, enquanto as progênies UFV 6869 e H-337-13-3-10 não apresentaram redução em nenhuma das variáveis de crescimento avaliadas, sugerindo maior tolerância ao excesso do elemento. Teores foliares semelhantes de manganês nas folhas maduras podem representar toxidez para algumas progênies e, ao mesmo tempo, não afetar o crescimento de outras, ressaltando as diferenças genéticas existentes entre as progênies.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, micronutrientes, toxidez, cafeeiro.

COFFEE (*Coffea arabica* L.) PLANTS' TOLERANCE TO MANGANESE IN A NUTRIENT SOLUTION

ABSTRACT: Manganese toxicity is one of the most common toxicities among micronutrients, especially in tropical acid soils, affecting crop growth and productivity. The objective of this work was to determine differential tolerance to manganese doses in coffee plants (*Coffea arabica* L.). Thus, seedlings of 14 coffee plant progenies were subjected to 7,0 and 70,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of manganese, for seven months. The experiment was carried out in greenhouse using plastic pots containing aerated and modified Clark solution. A 14 x 2 factorial scheme (14 progenies and two manganese concentrations) arranged in a completely randomized design with three replications was used. At the end of the assay, the growth characteristics of the plants were evaluated. Manganese content was determined in the different leaf dry matter fractions (youngest leaves, oldest leaves and completely expanded leaves). When cultivated with a 70,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ manganese concentration, the progenies UFV 3880, Mundo Novo 12 CAS, H-518-3-6-1 and H-518-2-10-14 experienced a reduction in growth characteristics, suggesting high sensibility to manganese toxicity, while the progenies UFV 6869 and H-337-13-3-10 did not present any reduction of the growth characteristics evaluated, demonstrating a high tolerance to manganese toxicity. Similarly, manganese contents in mature leaves were toxic to some progenies, but not to others, demonstrating differences among coffee varieties.

Key words: *Coffea arabica*, micronutrients, toxicity, coffee.

1 INTRODUÇÃO

A toxidez de manganês, bem como a tolerância ao excesso desse metal, varia amplamente entre espécies de plantas e entre variedades da mesma espécie (FOY et al., 1988). Winterhalder (1963) concluiu que *Eucalyptus gummifera* Hochr. é muito sensível ao manganês do solo, enquanto *Eucalyptus*

saligna Sm. é capaz de absorver grandes quantidades do metal sem mostrar sintomas de toxidez. Apesar de haver vários trabalhos nos quais se relata a importância da toxidez de manganês em várias espécies, não há dados específicos por meio dos quais se comparam cultivares de cafeeiros quanto à tolerância a esse micronutriente.

¹Projeto financiado pelo Departamento de Fitotecnia/UFV e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

²Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Fitotecnia – Departamento Fitotecnia – Universidade Federal de Viçosa – Av. PH Holfs, s/n – 36570-000 – Viçosa, MG – avzabini@yahoo.com.br

³Engenheira Agrônoma, DSc., Professora Adjunta do Departamento Fitotecnia – Universidade Federal de Viçosa – Av. PH Holfs, s/n – 36570-000 – Viçosa, MG – herminia@ufv.br

⁴Acadêmica de Agronomia – Universidade Federal de Viçosa/UFV – Av. PH Holfs, s/n – 36570-000 – Viçosa, MG – camilaagro@bol.com.br

Níveis tóxicos de metais no solo podem ser causados por propriedades naturais dos solos ou práticas agrícolas incorretas. A toxidez de manganês ocorre em solos ácidos, devido ao aumento de sua solubilidade em pH ao redor de 5,0, e, onde o material de origem é rico em manganês. Também pode ocorrer em solos de pH mais elevado se houver condições redutoras, tais como alagamento, compactação ou acúmulo de matéria orgânica (FOY et al., 1978). Nessas condições, as plantas absorvem e transportam manganês em quantidades excessivas, resultando em acúmulo nas folhas.

A faixa crítica da concentração de manganês nas folhas do cafeeiro varia entre 50 e 210 mg kg⁻¹ (MALAVOLTA, 1993; MALAVOLTA et al., 1997; MILLS & JONES JUNIOR, 1996), mas também apresenta variações em relação a regiões distintas, ao nível de produtividade da lavoura e à adubação e calagem. Martinez et al. (2003) verificaram baixos teores de manganês em lavouras de alta produtividade e excesso do metal em lavouras de baixa produtividade, e atribuíram esse resultado à aplicação de calcário em excesso nas lavouras de alta produtividade e à acidez elevada do solo em lavouras de baixa produtividade.

A concentração crítica de deficiência de manganês é similar na maioria das espécies cultivadas e varia de 10 a 20 mg kg⁻¹ em folhas completamente expandidas (MARSCHNER, 1995); no entanto, poucos trabalhos reportam teores de toxidez de manganês. Veloso et al. (1995) verificaram sintomas de toxidez de manganês em pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) com teores foliares da ordem de 6200 mg kg⁻¹. Na cultura da soja, Oliveira Junior et al. (2000) observaram sintomas de toxidez em folhas que apresentaram concentração de manganês acima de 600 mg kg⁻¹, e teores entre 1155 e 2380 mg kg⁻¹ causaram redução na produção de matéria seca. Na cultura do cafeeiro, foi sugerido que teores acima de 400 – 500 mg kg⁻¹ e 700 – 800 mg kg⁻¹ no terceiro par de folhas podem causar toxidez nas cultivares Bourbon e Mundo Novo, respectivamente (IBC, 1974). Pavan & Bingham (1981) objetivaram determinar e caracterizar a toxidez de manganês em mudas de cafeeiro cv. Catuaí Vermelho e constataram sintomas de toxidez relacionados a teores foliares de 1200 mg kg⁻¹, mas o crescimento das mudas foi restrito apenas quando a

concentração de manganês na folha era superior a 1700 mg kg⁻¹.

Os procedimentos para seleção de plantas tolerantes ao excesso de manganês podem ser baseados em observações visuais dos sintomas de toxidez ou em medidas de crescimento das plantas, como produção de biomassa de parte aérea e raízes, área foliar, entre outras. Assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a tolerância de quatorze progênies de cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.) ao excesso de manganês em solução nutritiva, com base no crescimento das plantas e nas concentrações foliares de manganês.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente experimento foi conduzido em Viçosa, MG, (20°45' S, 42°51' W), no período de janeiro a julho de 2003. Plantas de café (*Coffea arabica* L.) de quatorze progênies germinadas em germinador e papel germitest foram cultivadas em solução de Clark sem manganês durante 15 dias em casa-de-vegetação. Após esse período, as mudas receberam solução de Clark modificada para obtenção das concentrações de 7,0 e 70,0 µmol L⁻¹ de manganês, empregando-se a fonte MnSO₄.H₂O. A solução nutritiva foi mantida sob aeração constante e o pH ajustado semanalmente a 5,0 ± 0,5, com HCl 0,1 N ou NaOH 0,1 N. As trocas das soluções seguiram o critério de 30% de redução da condutividade elétrica inicial. O experimento constituiu-se de um fatorial 14 x 2 (catorze progênies e duas concentrações de manganês) sob delineamento inteiramente ao acaso com três repetições e uma planta por repetição. As progênies são descritas no Tabela 1.

As plantas foram cultivadas durante sete meses em vasos com capacidade para oito litros de solução. Ao final do experimento, foram avaliadas as características de crescimento (altura de planta, diâmetro de caule, número de folhas e área foliar), sendo as plantas posteriormente separadas em raízes, caule e ramos, folhas apicais (dois pares de folhas novas), folhas inferiores (seis pares de folhas inferiores) e folhas completamente expandidas (folhas maduras), submetendo o material à secagem em estufa com circulação de ar a 70°C por 72 horas e determinada a matéria seca de cada parte. Determinou-se a concentração de manganês por

Tabela 1 – Identificação e descrição das progênies avaliadas no ensaio.

Identificação	Descrição
1. UFV 2147	Catuaí Vermelho IAC 99
2. UFV 2149	Catuaí Amarelo IAC 91
3. Icatu 3282	Icatu IAC 3282
4. Icatu 2942	Icatu Vermelho IAC 2942
5. H-514-5-4-2	Catuaí Amarelo IAC 86 x Híbrido de Timor UFV 440-10 CAS
6. UFV 3880	F5 Caturra Vermelho CIFC 19/1 x Híbrido de Timor CIFC 832/1
7. UFV 2877	F5 Caturra Vermelho CIFC 19/1 x Híbrido de Timor CIFC 832/1
8. UFV 6869	F6 Caturra Vermelho CIFC 19/1 x Híbrido de Timor CIFC 832/1
9. H-337-13-3-10	Catuaí Vermelho IAC 44 x Híbrido de Timor CIFC 832/1
10. Icatu 4045	Icatu Vermelho IAC 4045
11. Mundo Novo 12 CAS	Mundo Novo 12 CAS
12. H-518-3-6-1	Catuaí Vermelho IAC 141 x Híbrido de Timor UFV 442-34 CAS
13. H-518-2-10-14	Catuaí Vermelho IAC 141 x Híbrido de Timor UFV 442-34 CAS
14. H-514-7-14-2	Catuaí Amarelo IAC 86 x Híbrido de Timor UFV 440-10 CAS

espectrofotometria de absorção atômica na matéria seca das folhas apicais, folhas inferiores e folhas maduras ou completamente expandidas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e teste F a 5%, fazendo-se o desdobramento das interações independentemente da significância, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características de crescimento

O efeito do manganês nas características de crescimento é apresentado nos Tabelas 2, 3 e 4. O diâmetro de caule (DCAU) não diferiu entre progênies de cafeeiros nem entre as duas concentrações de manganês em solução, apresentando médias de 6,81 e 6,95 mm nas concentrações 70,0 e 7,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de manganês. A altura de plantas (ALT) diferiu significativamente entre progênies e entre as concentrações de manganês, sem haver, entretanto, interação significativa progênies x manganês. Na solução 70,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, destacaram-se as progênies UFV 2149, H-337-13-3-10, Icatu 4045, Mundo Novo 12 CAS, H-518-2-10-14 e H-514-7-14-2 com as maiores ALT, enquanto na solução 7,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$, as maiores ALT

foram verificadas para as progênies UFV 2149, Icatu 2942, H-337-13-3-10, Icatu 4045, Mundo Novo 12 CAS, H-518-2-10-14 e H-514-7-14-2. Nota-se que as progênies UFV 2149 e Icatu 2942 tiveram redução na ALT quando cultivadas na solução 70,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de manganês (Tabela 2).

O número de folhas (NFOL) foi afetado pelas concentrações de manganês e diferiu também entre progênies. Destacaram-se as progênies H-514-5-4-2 e H-337-13-3-10, com o maior NFOL e também altas médias de área foliar (AF) nas duas concentrações de manganês em solução. As progênies UFV 3880, Mundo Novo 12 CAS, H-518-3-6-1 e H-518-2-10-14 tiveram redução de AF quando cultivadas na concentração 70,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de manganês, e essa redução foi acompanhada pela redução na matéria seca de folhas (MSF). A MSF foi reduzida significativamente em sete das quatorze progênies avaliadas, e as progênies H-514-5-4-2 e H-518-3-6-1 destacaram-se com a maior e a menor média, respectivamente (Tabela 2).

A produção de matéria seca de caule (MSC) e ramos foi a variável afetada em maior extensão; na concentração excessiva de manganês, nove das quatorze progênies avaliadas apresentaram redução significativa de crescimento (Tabela 3). Nas progênies UFV 3880 e H-518-3-6-1, houve redução simultânea

da MSC, MSF e AF; na progênie H-514-7-14-2, reduziram-se a MSC e a MSF; e a progênie H-518-2-10-14 foi a mais afetada na concentração 70,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de manganês, com reduções significativas da MSC, MSF, AF e NFOL, evidenciando a maior sensibilidade dessa progênie ao excesso de manganês em solução. Na concentração excessiva de manganês, quatro progênies destacaram-se, sendo três pelo bom desempenho. As progênies H-514-5-4-2 e H-514-7-14-2 apresentaram comportamento bastante satisfatório em termos de NFOL, AF, MSF, MSC, MSR e MST, na concentração 70,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$; entretanto, ambas as progênies sofreram redução significativa de MSF, MSC (Tabela 3) e MST (Tabela 4) em relação à concentração 7,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$.

A progênie H-518-3-6-1 demonstrou crescimento bastante inferior às demais progênies na concentração 70,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de manganês, evidenciando as menores médias de ALT, AF, MSF e MSC. As características de crescimento AF, MSF, MSC e volume de raiz (VRAIZ) dessa progênie foram restritas na concentração 70,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de manganês.

Observando-se a frequência com que as progênies apresentam redução de crescimento na concentração 70,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de manganês, é possível distinguir progênies mais sensíveis ao excesso de manganês em solução. As progênies UFV 3880, H-518-3-6-1 e H-518-2-10-14 tiveram redução significativa em cinco das nove variáveis de crescimento avaliadas, e a progênie Mundo Novo 12 CAS, em seis das nove variáveis de crescimento, apontando elevada sensibilidade ao excesso de manganês. A situação oposta verifica-se para as progênies UFV 2877 e Icatu 4045, as quais apresentaram redução de crescimento em apenas uma variável de crescimento, podendo ser classificadas como medianamente tolerantes ao excesso de manganês, e as progênies UFV 6869 e H-337-13-3-10, que não sofreram redução de crescimento em nenhuma das variáveis mensuradas, indicaram boa tolerância ao excesso de manganês por essas duas progênies.

Analisando-se os dados obtidos da MST (Tabela 4), observa-se que as progênies UFV 2147, Icatu 3282 e Icatu 2942 não responderam

diferentemente às concentrações de manganês; entretanto, apresentaram redução significativa das variáveis NFOL, VRAIZ e MSR (UFV 2147), MSC e MSR (Icatu 3282) e ALT e MSC (Icatu 2942), o que indica sua maior sensibilidade à toxidez do elemento, comparativamente às progênies UFV 6869 e H-337-13-3-10, classificadas como tolerantes ao excesso de manganês por não apresentarem redução em nenhuma das variáveis de crescimento mensuradas até o momento em que o experimento foi encerrado. É provável que se o experimento fosse conduzido por mais tempo, tais diferenças fossem verificadas também na MST. No entanto, o tamanho atingido pelas plantas após sete meses de condução limitou a continuidade do experimento em vasos.

Os efeitos tóxicos do manganês que levaram à restrição no crescimento de algumas progênies podem estar relacionados à deficiência induzida de outros elementos. Segundo Marschner (1995), o excesso de manganês pode induzir a deficiência de ferro e magnésio pela inibição da absorção ou competição em nível celular, e a deficiência de cálcio pode ocorrer devido ao efeito indireto no transporte desse para as folhas novas. O transporte de cálcio é mediado por um co-transportador de AIA (ácido indol acético) e, frequentemente, tecidos com alta concentração de manganês apresentam elevada atividade da oxidase do AIA, o que pode também contribuir, segundo Foy et al. (1978), para a redução de crescimento de plantas devido à degradação de AIA nos tecidos.

Verifica-se também que a razão entre matéria seca de parte aérea e matéria seca de raiz (PA/R), uma medida da partição de matéria seca da planta, não foi afetada pelas concentrações de manganês, diferindo apenas entre progênies, sem haver interação significativa progênies x manganês. Nesse caso, as diferenças na razão PA/R entre progênies resultam apenas das diferenças na produção de matéria seca de cada progênie. A progênie Icatu 3282 apresentou a menor razão PA/R (Tabela 4) devido à sua elevada MSR, enquanto na progênie H-514-7-14-2, a maior razão PA/R deve-se à elevada matéria seca da parte aérea, especialmente em relação a MSC.

Tabela 2 – Médias das características de crescimento diâmetro de caule (DCAU), altura de planta (ALT), número de folhas (NFOL) e área foliar (AF) de catorze progênies de cafeeiros arábica em resposta a duas concentrações de manganês em solução nutritiva.

Progênies	DCAU (mm)		ALT (cm)		NFOL (unidade)		AF (cm ²)	
	7 µmol L ⁻¹	70 µmol L ⁻¹	7 µmol L ⁻¹	70 µmol L ⁻¹	7 µmol L ⁻¹	70 µmol L ⁻¹	7 µmol L ⁻¹	70 µmol L ⁻¹
1. UFV 2147	7.87 a A	7.57 a A	44.00 a BCD	43.17 a CDE	44.00 a CDE	36.00 b D	1939.70 a BCD	1727.51 a CD
2. UFV 2149	6.60 a A	6.50 a A	63.50 a A	51.33 b ABCD	49.33 a BCD	48.67 a BC	1643.86 a DE	1551.96 a DE
3. Icatu 3282	7.37 a A	6.90 a A	41.33 a CD	35.83 a DE	38.00 a EF	40.67 a CD	1778.23 a CDE	1702.39 a D
4. Icatu 2942	6.50 a A	6.80 a A	53.67 a ABCD	41.50 b DE	33.33 b F	40.00 a CD	1436.75 a E	1628.33 a D
5. H-514-5-4-2	7.87 a A	7.33 a A	44.00 a BCD	41.67 a DE	60.00 a A	54.67 a AB	3029.75 a A	2837.85 a A
6. UFV 3880	7.67 a A	6.50 a A	40.83 a CD	35.33 a DE	42.67 a DEF	37.33 a D	1824.14 a BCDE	1495.51 b DE
7. UFV 2877	7.47 a A	7.13 a A	43.67 a BCD	40.83 a DE	32.67 b F	45.33 a BCD	1714.94 a DE	1681.02 a D
8. UFV 6869	6.27 a A	7.27 a A	43.83 a BCD	41.83 a CDE	38.00 a EF	37.33 a D	1851.73 a BCDE	1833.63 a BCD
9. H-337-13-3-10	7.07 a A	6.90 a A	64.67 a A	59.83 a ABC	56.00 b AB	62.67 a A	2256.20 a B	2247.42 a B
10. Icatu 4045	6.73 a A	6.80 a A	57.33 a ABC	52.83 a ABCD	38.67 a EF	38.00 a D	1664.34 a DE	1569.07 a DE
11. MN 12 CAS	6.53 a A	6.63 a A	51.50 a ABCD	47.00 a BCDE	45.33 a CDE	36.00 b D	1997.11 a BCD	1688.36 b D
12. H-518-3-6-1	6.37 a A	5.53 a A	35.83 a D	33.00 a E	40.00 a DEF	38.67 a CD	1696.30 a DE	1108.53 b E
13. H-518-2-10-14	5.97 a A	6.10 a A	62.33 a A	63.17 a AB	54.00 a ABC	43.33 b CD	2212.17 a BC	1525.26 b DE
14. H-514-7-14-2	7.00 a A	7.43 a A	59.83 a AB	66.17 a A	44.00 a CDE	48.67 a BC	2236.14 a BC	2197.75 a BC
Média	6.95	6.81	50.45	46.68	44.00	43.38	1948.67	1771.04
CV (%)	15.96		12.98		8.04		8.94	

* Médias seguidas por letras minúsculas iguais na horizontal ou maiúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3 – Médias das características de crescimento matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule e ramos (MSC), matéria seca de raiz (MSR) e volume de raiz (VRAIZ) de catorze progêneses de cafeeiros arábica em resposta a duas concentrações de mangans em solução nutritiva.

Progêneses	MSF (g)		MSC (g)		MSR (g)		VRAIZ (ml)	
	7 $\mu\text{mol L}^{-1}$	70 $\mu\text{mol L}^{-1}$	7 $\mu\text{mol L}^{-1}$	70 $\mu\text{mol L}^{-1}$	7 $\mu\text{mol L}^{-1}$	70 $\mu\text{mol L}^{-1}$	7 $\mu\text{mol L}^{-1}$	70 $\mu\text{mol L}^{-1}$
1. UFV 2147	12.31 a CDEF	12.16 a BCD	7.14 a EFG	7.19 a CD	7.91 a A	5.65 b AB	70.00 a A	48.33 b AB
2. UFV 2149	11.27 a EF	10.71 a DEF	8.50 a CDEF	6.38 b DCEF	5.11 a BCD	3.93 a B	31.67 a E	31.67 a CD
3. Icatu 3282	11.22 a EF	12.44 a BCD	7.02 a EFG	5.30 b DEFG	8.17 a A	6.46 b A	60.00 a AB	53.33 a A
4. Icatu 2942	13.50 a BCDE	13.75 a BC	7.29 a DEFG	4.21 b EFG	3.86 a D	4.71 a AB	31.67 a E	31.67 a CD
5. H-514-5-4-2	22.67 a A	17.17 b A	11.95 a AB	8.55 b BC	6.11 a ABC	4.89 a AB	63.33 a AB	48.33 b AB
6. UFV 3880	11.76 a DEF	8.77 b EF	6.00 a FG	3.62 b FG	5.60 a BCD	4.02 b B	35.00 a DE	30.00 a CD
7. UFV 2877	13.83 a BCDE	12.06 b BCD	7.06 a EFG	6.57 a CDE	5.23 a BCD	4.54 a AB	41.67 a CDE	38.33 a BC
8. UFV 6869	11.67 a DEF	11.58 a BCDE	6.03 a FG	5.97 a CDEF	4.35 a CD	4.08 a B	38.33 a DE	31.67 a CD
9. H-337-13-3-10	15.21 a BC	13.84 a B	11.16 a ABC	10.45 a AB	5.95 a ABCD	6.55 a A	46.67 a CD	41.67 a ABC
10. Icatu 4045	11.64 a DEF	10.88 a CDEF	9.89 a BCDE	7.48 b CD	3.82 a D	4.09 a B	31.67 a E	31.67 a CD
11. MN 12 CAS	11.73 a DEF	9.56 b DEF	6.75 a FG	5.51 a DEFG	7.07 a AB	4.97 b AB	53.33 a BC	35.00 b C
12. H-518-3-6-1	10.55 a F	8.02 b F	5.28 a G	2.99 b G	4.34 a CD	3.57 a B	38.33 a DE	20.00 b D
13. H-518-2-10-14	14.23 a BCD	10.06 b DEF	10.14 a BCD	8.17 b BCD	4.87 a BCD	4.71 a AB	36.67 a DE	31.67 a CD
14. H-514-7-14-2	15.55 a B	12.27 b BCD	13.57 a A	11.63 b A	4.47 a CD	4.09 a B	40.00 a DE	40.00 a BC
Média	13.37	11.66	8.41	6.74	5.49	4.73	44.17	36.67
CV (%)	8.19		13.59		15.3		10.37	

* Médias seguidas por letras minúsculas iguais na horizontal ou maiúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4 – Médias de matéria seca total (MST) e razão parte aérea/raiz (PA/R) de catorze progênies de cafeeiros em resposta a duas concentrações de manganês em solução nutritiva.

Progênies	MST (g)		PA/R (g.g ⁻¹)	
	7 µmol L ⁻¹	70 µmol L ⁻¹	7 µmol L ⁻¹	70 µmol L ⁻¹
1. UFV 2147	27.39 a CDE	25.30 a ABC	2.49 a DE	3.51 a BC
2. UFV 2149	24.87 a DEF	21.03 b CD	3.88 a BCDE	4.35 a ABC
3. Icatu 3282	26.41 a DE	24.20 a BC	2.25 a E	2.76 a C
4. Icatu 2942	24.65 a DEF	22.67 a BC	5.47 a AB	3.81 b ABC
5. H-514-5-4-2	40.73 a A	30.60 b A	5.67 a AB	5.37 a AB
6. UFV 3880	23.37 a DEF	16.40 b DE	3.21 a CDE	3.11 a C
7. UFV 2877	26.11 a DE	23.18 a BC	4.12 a BCDE	4.10 a ABC
8. UFV 6869	22.05 a EF	21.62 a CD	4.07 a BCDE	4.49 a ABC
9. H-337-13-3-10	32.32 a BC	30.83 a A	4.50 a BCD	3.73 a BC
10. Icatu 4045	25.35 a DEF	22.46 a BC	5.67 a AB	4.60 a ABC
11. MN 12 CAS	25.55 a DEF	20.05 b CDE	2.65 a DE	3.11 a C
12. H-518-3-6-1	20.18 a F	14.58 b E	3.77 a BCDE	3.15 a C
13. H-518-2-10-14	29.24 a BCD	22.94 b BC	5.07 a ABC	3.89 a ABC
14. H-514-7-14-2	33.58 a B	27.99 B AB	6.88 a A	5.85 a A
Média	27.27	23.13	4.26	3.99
Cv (%)	8.2		17.74	

*Médias seguidas de letras minúsculas iguais na horizontal ou maiúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Teores foliares de manganês

Os teores foliares de manganês encontram-se no Tabela 5, e apresentaram diferenças pouco expressivas entre as progênies estudadas. Nas folhas apicais, o teor de manganês diferiu apenas entre as progênies, não sendo afetado pelas concentrações de manganês em solução. Destacaram-se a progênie UFV 2147, com a maior concentração de manganês na folha apical (194,00 e 151,25 mg kg⁻¹), e a progênie H-514-7-14-2, com o menor teor na solução 70,0 µmol L⁻¹ (31,08 mg kg⁻¹). Os teores médios de manganês nas folhas apicais foram 59,31 e 64,87 mg kg⁻¹ nas concentrações 7,0 e 70,0 µmol L⁻¹ de manganês, respectivamente. A concentração de manganês nas folhas inferiores não diferiu entre progênies, e nem entre as concentrações de manganês em solução, demonstrando teores médios de 336,69 e 365,45 mg kg⁻¹ na solução 7,0 e 70,0 µmol L⁻¹ de manganês (Tabela 5). Com esses resultados, verifica-se que as folhas velhas são locais de acúmulo de manganês.

As folhas maduras ou completamente expandidas foram as que apresentaram teores de

manganês diferentes estatisticamente entre progênies e com interação significativa progênies x manganês. Os teores médios de manganês nessas folhas foram 217,77 e 263,91 mg kg⁻¹ nas soluções de concentração 7,0 e 70,0 µmol L⁻¹ de manganês, respectivamente (Tabela 5). Na concentração 70,0 µmol L⁻¹ de manganês, as progênies UFV 2149 e Icatu 2942 evidenciaram os maiores teores de manganês na folha madura (496,85 e 494,69 mg kg⁻¹, respectivamente), enquanto a progênie UFV 2877 apresentou a menor concentração (154,78 mg kg⁻¹); entretanto, inferior estatisticamente apenas às progênies UFV 2147, UFV 2149 e Icatu 2942 (Tabela 5). Na concentração 7,0 µmol L⁻¹ de manganês, não houve diferença entre as progênies para o teor de manganês nas folhas maduras.

Pelos resultados obtidos, verificam-se as diferenças genéticas entre as progênies avaliadas neste trabalho. Nota-se que teores similares de manganês nas folhas dos cafeeiros podem ou não representar toxidez, dependendo da progênie em questão. Assim, as progênies UFV 3880, Mundo Novo 12 CAS, H-518-3-6-1 e H-518-2-10-14, as quais

Tabela 5 – Médias dos teores de manganês, em mg kg⁻¹, na folha apical, folha inferior e folha madura de catorze progênies de cafeeiros em resposta a duas concentrações de manganês em solução nutritiva.

Progênies	Variáveis					
	Folha Apical		Folha Inferior		Folha Madura	
	7 µmol L ⁻¹	70 µmol L ⁻¹	7 µmol L ⁻¹	70 µmol L ⁻¹	7 µmol L ⁻¹	70 µmol L ⁻¹
1. UFV 2147	151.25 b A	194.00 a A	205.43 a A	311.45 a A	213.92 b A	471.76 a AB
2. UFV 2149	66.33 a B	103.00 a B	216.32 a A	295.22 a A	245.70 b A	496.85 a A
3. Icatu 3282	58.43 a B	54.33 a BC	353.38 a A	427.95 a A	316.68 a A	192.50 a C
4. Icatu 2942	83.53 a AB	76.25 a BC	517.24 a A	580.57 a A	229.08 b A	494.69 a A
5. H-514-5-4-2	57.08 a B	46.65 a BC	441.97 a A	287.23 a A	194.80 a A	220.47 a BC
6. UFV 3880	39.30 a B	49.43 a BC	300.58 b A	563.22 a A	160.38 a A	164.88 a C
7. UFV 2877	57.95 a B	40.15 a BC	309.63 a A	262.70 a A	156.15 a A	154.78 a C
8. UFV 6869	37.78 a B	71.50 a BC	292.75 a A	384.97 a A	183.78 a A	154.90 a C
9. H-337-13-3-10	56.38 a B	50.98 a BC	400.13 a A	293.03 a A	189.63 a A	259.27 a ABC
10. Icatu 4045	33.78 a B	42.38 a BC	351.01 a A	293.40 a A	196.03 a A	215.20 a BC
11. MN 12 CAS	43.58 a B	32.45 a C	467.35 a A	284.08 a A	232.54 a A	220.08 a BC
12. H-518-3-6-1	63.65 a B	58.28 a BC	273.70 b A	540.69 a A	197.08 a A	185.08 a C
13. H-518-2-10-14	33.48 a B	57.73 a BC	271.52 a A	331.17 a A	198.08 a A	229.99 a BC
14. H-514-7-14-2	47.93 a B	31.08 a C	312.70 a A	260.63 a A	335.04 a A	234.30 a BC
Média	59.31	64.87	336.69	365.45	217.77	263.91
CV (%)	30.88		35.18		29.19	

* Médias seguidas de letras minúsculas iguais na horizontal ou maiúsculas na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

demonstraram maior frequência de redução nas características de crescimento, na solução com excesso de manganês, indicando maior sensibilidade à elevada concentração do elemento, apresentaram teores de manganês nas folhas maduras de 164,88, 220,08, 185,08 e 229,99 mg kg⁻¹, respectivamente, enquanto nas progênies UFV 6869 e H-337-13-3-10, que demonstraram maior tolerância ao excesso de manganês, os teores foliares foram 159,90 e 259,27 mg kg⁻¹. Com esses resultados, infere-se tolerância diferencial dos tecidos de diferentes progênies a concentrações similares de manganês, como sugerido por Foy et al. (1978). Em nível celular, a tolerância dos tecidos ao excesso de manganês pode ser devida ao acúmulo do elemento nos vacúolos, paredes celulares ou vesículas de Golgi (LIDON & TEIXEIRA, 2000). Infere-se, assim, que as concentrações de manganês em folhas maduras não permitem discriminar progênies mais ou menos tolerantes à toxidez do elemento.

Malavolta et al. (2002) constataram teores foliares de 384,25 e 224,75 mg kg⁻¹ em cafeeiros Catuaí Amarelo e Mundo Novo, respectivamente, sem que esses apresentassem sintomas de toxidez do elemento.

Segundo Pavan & Bingham (1981), o crescimento de mudas de cafeeiros 'Catuaí Vermelho' foi restrito apenas com teores foliares acima de 1700 mg kg⁻¹. Esses teores são muito superiores aos encontrados no presente ensaio, provavelmente devido à elevada concentração empregada pelos autores, 0,0 - 20,0 mg L⁻¹ de manganês, as quais correspondem a 0,0 - 363,97 µmol L⁻¹, ou seja, mais de cinco vezes superior à concentração 70,0 µmol L⁻¹ utilizada neste experimento.

Segundo Marschner (1995), na maioria das dicotiledôneas, os sintomas de toxidez de manganês são caracterizados por clorose entre as nervuras e necrose, geralmente acompanhados por deformação das folhas novas. Pavan & Bingham (1981) observaram clorose entre as nervuras de folhas novas, associada à redução dos teores de clorofila, em mudas de cafeeiros 'Catuaí Vermelho', quando a concentração de manganês no terceiro par de folhas era superior a 1200 mg kg⁻¹, entretanto sem restringir o crescimento da parte aérea. Esses resultados diferem dos obtidos no presente experimento, no qual a concentração foliar de manganês detectada, apesar de não manifestar sintomas típicos de toxidez, foi responsável por redução no crescimento de algumas progênies.

4 CONCLUSÕES

As progênies UFV 3880, Mundo Novo 12 CAS, H-518-3-6-1 e H-518-2-10-14 apresentaram redução significativa em várias características de crescimento, quando cultivadas na concentração 70,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de manganês, e foram classificadas como mais sensíveis ao excesso de manganês. As progênies UFV 6869 e H-337-13-3-10 não demonstraram redução nas variáveis de crescimento, sendo classificadas como mais tolerantes a toxidez do elemento.

As concentrações de manganês nas folhas maduras não permitem discriminar genótipos de cafeeiros mais ou menos tolerantes à toxidez de manganês.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Fitotecnia/UFV e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da pesquisa.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FOY, C. D.; CHANEY, R. L.; WHITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, [S.l.], v. 29, p. 511-566, 1978.
- FOY, C. D.; SCOTT, B. J.; FISHER, J. A. Genetic differences in plant tolerance to manganese toxicity. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (Eds.). **Manganese in soil and plants: BHP – UTAH – minerals international**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. p. 293-307.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: GERCA, 1974.
- LIDON, F. C.; TEIXEIRA, M. G. Rice tolerance to excess Mn: implications in the chloroplast lamellae and synthesis of a novel Mn protein. **Plant Physiology Biochemical**, [S.l.], v. 38, p. 969-978, 2000.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Ceres, 1993. 210 p.
- MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J. L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C. P.; HEINRICH, R.; SILVEIRA, J. S. M. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1017-1022, 2002.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 238 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic, 1995. 889 p.
- MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ-VENEGAS, V. H.; GUIMARAES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional do cafeeiro em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, 2003.
- MILLS, H. A.; JONES JUNIOR, J. B. **Plant analysis handbook II**. 2. ed. Athens: Micro-Macro, 1996. 422 p.
- OLIVEIRA JUNIOR, J. A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Efeitos do manganês sobre a soja cultivada em solo de cerrado do triângulo mineiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1629-1636, 2000.
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. Toxidez de metais em plantas: I. caracterização de toxidez de manganês em cafeeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 6, p. 815-821, 1981.
- VELOSO, C. A. C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J. G. Influência do manganês sobre a nutrição mineral e crescimento da pimenta do reino (*Piper nigrum* L.). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 376-383, 1995.
- WINTERHALDER, E. K. Differential resistance of two species of *Eucalyptus* to toxic soil manganese levels. **Australian Journal of Science**, Melbourne, v. 25, p. 363-374, 1963.

