

TOXIDEZ DE MANGANÊS EM LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS TROPICAIS ¹

SEBASTIÃO MANIÃES SOUTO ² e JOHANNA DÖBEREINER ³

Sínpse

Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação que tiveram como finalidade estudar a influência da toxidez de manganês no estabelecimento de seis leguminosas forrageiras (*Centrosema pubescens*, *Pueraria javanica*, *Glycine javanica* var. SP-1, *Glycine javanica* var. Tinaroo, *Styloanthus gracilis* e *Phaseolus atropurpureus*), em dois solos da Baixada Fluminense.

No primeiro experimento estudou-se a influência de quatro níveis de manganês (0, 50, 100 e 200 ppm) aplicado em forma de MnSO₄, na sintomatologia e no desenvolvimento das seis leguminosas. Não houve efeito da aplicação do manganês na germinação das plantas. Por ocasião do desbaste já se notou maior ou menor sensibilidade das espécies à toxidez de manganês. A *Centrosema pubescens* se mostrou mais tolerante tendo ao mesmo tempo maior desenvolvimento radicular. *C. pubescens*, *P. javanica* e *P. atropurpureus*, nesta ocasião, já apresentaram aproximadamente 50% das plantas noduladas enquanto nas três outras leguminosas esta percentagem foi insignificante.

Dois meses após o plantio, quando o experimento foi colhido, estas diferenças estavam ainda mais pronunciadas tendo sido altamente significativa a interação espécie x manganês para peso de nódulos, peso das plantas, teor de nitrogênio nas plantas e para o nitrogênio total nas plantas. Outra vez, a *C. pubescens*, a *P. javanica* e a *P. atropurpureus* foram as espécies que conseguiram desenvolver nodulação abundante neste solo, tendo, porém, já a primeira dosagem de manganês reduzido consideravelmente o peso dos nódulos e o nitrogênio fixado. A variedade SP-1 da *G. javanica* mostrou ser mais tolerante à toxidez de manganês que a variedade Tinaroo.

No segundo experimento estudou-se o efeito da calagem com e sem adubação fosfatada no estabelecimento das duas variedades de *Glycine javanica* em dois solos com toxidez de manganês.

Na época de desbaste já se notou efeito favorável da calagem em tôdas as observações feitas na nodulação e no desenvolvimento das plantas, exceto no crescimento das raízes, que foi prejudicado. A variedade Tinaroo mostrou desenvolvimento inicial mais rápido. A calagem reduziu a absorção do manganês pela planta, mas a adubação fosfatada num dos solos a aumentou.

Dois meses após o plantio o efeito da calagem na presença da adubação fosfatada proporcionou um aumento da ordem de 10 a 30 vezes no nitrogênio fixado e na produção de forragem, confirmando pronunciada toxidez de manganês além da deficiência de fósforo, nos dois solos. O melhor desenvolvimento inicial da variedade Tinaroo, nesta época já não se fazia sentir. A variedade SP-1, como no primeiro experimento, se mostrou mais tolerante à toxidez de manganês sendo principalmente sua simbiose menos afetada do que a da variedade Tinaroo.

INTRODUÇÃO

Em regiões de clima tropical, a substituição das forrageiras clássicas, como os trevos e a alfafa, por leguminosas tropicais é imprescindível, sendo entretanto as informações a respeito ainda bem escassas. Foram encontradas dificuldades, principalmente no estabelecimento de algumas destas espécies tropicais, que foram atribuídas a uma nodulação deficiente, a

qual por sua vez afetada por condições das mais diversas. Em trabalhos anteriores, que se concentraram em primeiro plano na soja perene (*Glycine javanica*), verificou-se a interferência de temperaturas elevadas, da umidade do solo e da variedade de soja perene (Ferrari *et al.* 1967, Souto & Döbereiner 1968a), sendo que níveis muito elevados de fósforo aliviaram os efeitos deletérios das temperaturas (Souto & Döbereiner 1968a, b).

Nos solos onde tinham sido encontradas dificuldades no estabelecimento da soja perene, a *C. pubescens* e a *P. atropurpureus* se desenvolveram satisfatoriamente. Estes solos foram classificados como solos de transição entre a Série Ecologia e a Série Itaguaí, sendo o solo da Série Ecologia conhecido como alta-

¹ Recebido em 14 de fevereiro de 1969 e aceito para publicação em 25 de abril de 1969.

Apresentado na IV Reunião Latino-Americana sobre Inoculantes para Leguminosas, Porto Alegre, out. 1968.

Boletim Técnico n.º 83 do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Centro-Sul (IPEACS).

² Eng.º Agrônomo da Seção de Agrostologia do IPEACS, Km 47, Campo Grande, GB. ZC-26.

³ Eng.º Agrônomo da Seção de Solos do IPEACS, e bolsista do Conselho Nacional de Pesquisas.

mente tóxico por causa de elevado teor de manganês solúvel (Döbereiner & Alvahydo 1963). Foi demonstrado que o excesso deste elemento em feijão *P. vulgaris* é mais prejudicial à simbiose do que ao desenvolvimento da planta em si (Döbereiner 1966). Estudos com alfafa mostraram que esta espécie é extremamente sensível à toxidez de manganês, podendo sua sensibilidade a solos ácidos, possivelmente, ser explicada por este fato (Fóy 1964).

Não sendo conhecidos ainda os sintomas da toxidez de manganês e a sua possível importância nas leguminosas forrageiras tropicais, foram estudados no presente trabalho os efeitos da adição do manganês em forma solúvel, e ainda os da calagem, nas 6 espécies mais promissoras desta região.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram feitos dois experimentos em casa de vegetação com o objetivo de estudar as influências edafológicas no estabelecimento de seis leguminosas forrageiras.

Experimento 1. O esquema experimental foi um fatorial 6 x 4 com quatro repetições e os seguintes tratamentos:

- Leguminosas 1. *Centrosema pubescens* Benth. var. Comercial (jetirana)
 2. *Puerária javanica* Benth. var. Comercial (Kudzu tropical)
 3. *Glycine javanica* L. var. IRI n.º I (SP-1) (soja perene)
 4. *Glycine javanica* L. var. Tinaroo (soja perene)
 5. *Styloxanthes gracilis* H.B.K. (IRI 1022) (Alfafa do Nordeste)
 6. *Phaseolus atropurpureus* D.C. var. Siratro (Siratro)

Manganês 1. Testemunha

2. 50 ppm de Mn⁺⁺
3. 100 ppm de Mn⁺⁺
4. 200 ppm de Mn⁺⁺

As leguminosas foram cedidas pelo Serviço de Introdução e Avaliação de Plantas Forrageiras do IPEACS. As seis leguminosas usadas neste experimento são aquelas mais usadas nas pastagens tropicais.

O manganês foi aplicado em forma de MnSO₄ em solução (76,8 g de MnSO₄.H₂O/l), tendo sido usadas as quantidades 0, 5, 10 e 20 ml/vaso para os tratamentos 0-50-100 e 200 ppm de Mn, respectivamente.

O solo usado foi classificado como de transição entre o "gray-hidromórfico" antigamente designado como Série "Ecologia" e a Série Itaguaí (podzólico

vermelho amarelo), e foi colhido na profundidade de 0-40 cm.

Todos os vasos foram preenchidos com 2,5 kg de solo, sendo misturado 2,5 g de casca de arroz por vaso, com a finalidade de baixar o teor de N mineral no solo.

Fizemos uma adubação básica constituída de 12,5 ml/vaso de uma solução de 35 g KH₂PO₄/litro (40 ppm P e 50 ppm K) e uma adubação de elementos menores + Mg aplicando 2,5 ml/vaso da seguinte solução:

Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	.....	0,50 g
MgSO ₄ .7H ₂ O	.....	37,50 g
CuSO ₄ .5H ₂ O	.....	3,95 g
ZnSO ₄ .7H ₂ O	.....	2,22 g
H ₃ BO ₃	.....	0,25 g
FeSO ₄ .H ₂ O	.....	5,00 g
Ac. cítrico	.....	5,00 g
Água	.....	250 ml

A inoculação das sementes foi feita por ocasião da semeadura, e os inoculantes usados foram os seguintes:

Glycine javanica — estirpes — P₁₂, P₁₀₁, P₁₀₈ (ambas as variedades)

Centrosema pubescens — estirpes — C₂₉, C₁₀₁.

Espécies restantes — estirpes — Do4b, II., CM-3, K-28.

A semeadura foi efetuada no dia 4-4-68. Aproximadamente uma semana após a semeadura fizemos uma avaliação da germinação.

Devido ao grande número de plantas, fizemos no dia 26-4-68 um desbaste, deixando apenas 10 plantas.

Nas plantas desbastadas, determinamos a porcentagem de plantas noduladas, e em seguida secamos as mesmas em estufa a 65°C, pesamos e determinamos o teor de manganês colorimetricamente, após oxidação com periodate, no produto de digestão pelo Kjeldahl.

Antes da colheita do experimento foi feita uma descrição dos sintomas de toxidez de manganês nas seis leguminosas estudadas (Quadro 1).

O experimento foi colhido dois meses após a semeadura. Determinamos o número e peso de nódulos. O material foi secado em estufa a 65°C e pesado; foram determinados os teores de nitrogênio pelo método Kjeldahl (semi-micro) e os de manganês colorimetricamente como citado acima.

Experimento 2. O delineamento experimental foi um fatorial 2 x 2 x 2 x 2 com três repetições e os seguintes tratamentos:

CaCO₃ — 0 e 2g/vaso (quantidade para elevar o pH a 6,5)

QUADRO 1. Sintomas de toxidez de manganês em seis leguminosas forrageiras tropicais

Mn (ppm)	<i>Centrosema pubescens</i>	<i>Pueraria javanica</i>	<i>Glycine javanica</i> var. SP-1	<i>Glycine javanica</i> var. Tinaroo	<i>Styloanthus gracilis</i> var. IRI 1022	<i>Phaseolus atropurpureus</i> var. Siratro
0	nenhum	nenhum	nenhum	Leve clorose entre as nervuras das folhas novas	Clorose e necrose nas extremidades das folhas velhas	nenhum
50	Clorose em manchas entre as nervuras das folhas velhas	Clorose entre as nervuras de tôdas as folhas. Nanismo. Pequena deformação das folhas	Intensa clorose entre as nervuras das folhas. As folhas velhas apresentam necrose e nanismo	Nanismo muito pronunciado. Folhas muito pequenas e deformadas. Manchas necróticas ocasionais	Nanismo. Extremidades de tôdas as folhas enroladas para baixo. Necroses localizadas principalmente nas extremidades das folhas. Lista esbranquiçada transversal perto da extremidade das folhas	Forte mosqueamento em tôdas as folhas. Folhas velhas mostrando descoloração em lugar de clorose. Hipofitismo acentuado
100	Folhas novas deformadas (+ arredondadas) menores e grosseiras. Folhas velhas — com clorose em manchas entre as nervuras com maior intensidade que 50 ppm	Nanismo mais acentuado. Clorose acompanhada por hiperclorofílose entre as nervuras foliares	Nanismo. Folhas pequenas, enroladas para cima, manchas necróticas	Quase nenhum crescimento	Intenso nanismo. Folhas pequenas, fortemente mosqueadas e ocasionalmente necrosadas	O mesmo sintoma que 50 ppm porém mais intenso. Nanismo intenso
200	Nanismo mais intenso. Folhas torcidas irregulares	Crescimento quase nulo. Sobre as folhas localizam-se necroses e leves antocianoses as quais não têm semelhança com os normais	Nenhum crescimento	Nenhum crescimento	Intenso nanismo. Folhas pequenas, fortemente mosqueadas e ocasionalmente necrosadas, com maior intensidade que 100 ppm	Nenhum crescimento

Fósforo — O e 20 ppm de P

Solo — Transição Ecologia — Itaguaí (solo A) e Ecologia (solo B)

Variedades de *G. javanica* — Tinaroo e SP-1 (IRI n.º 1)

O tratamento em que se usou carbonato de cálcio teve a finalidade, em ambos solos, de eliminar a toxidez de manganês.

Nos tratamentos com fósforo, foi usado 0,675 g de superfosfato simples/vaso, para o tratamento 20 ppm de P.

Os solos usados foram os mais representativos da área do Instituto, sendo que o Ecologia já era conhecido como apresentando toxidez de manganês (Döbereiner & Alvahydo, 1963).

As variedades de soja perene foram cedidas pelo Serviço de Introdução de Plantas Forrageiras do IPEACS; ambas são comerciais, sendo que a variedade IRI I (SP-1) já é amplamente utilizada em São Paulo, e em toda a região Centro-Sul, e a Tinaroo,

introduzida da Austrália, onde domina quase tôdas as pastagens.

Usamos a mesma quantidade de solo por vaso que no Experimento 1, assim como a adubação de elementos menores, sendo que o potássio foi aplicado na base de 10 ml/vaso da solução 24 g/l de K_2SO_4 . (30 ppm K).

A inoculação das sementes foi feita por ocasião da semeadura e o inoculante usado foi o mesmo do primeiro experimento.

A semeadura foi efetuada no dia 18-4-68.

Fizemos também, como no experimento anterior, um desbaste deixando 10 plantas/vaso. Nas plantas desbastadas determinamos o comprimento da raiz e a percentagem de plantas com nódulos, em seguida secamos as mesmas em estufa a 65°, pesamos e determinamos o teor de manganês como no Experimento 1.

O experimento foi colhido três meses após a semeadura. Determinamos a posição e côr (Quadro 2), número e pêso dos nódulos. O material das plantas

QUADRO 2. - Efeito do cálcio, fósforo e solo na posição e cor dos nódulos em 2 variedades de soja perene (médias de 3 repetições)

Solo	Variedade	CaCO ₃ g/vaso	Posição dos nódulos ^a superf. g/vaso		Cor dos nódulos ^b superf. g/vaso	
			0	0,675	0	0,675
Ecologia	Tinaroo	0	1,0	1,6	1,0	2,0
		2	1,0	1,0	2,3	3,0
	SP-1	0	2,0	1,6	2,3	2,3
		2	1,3	1,0	2,0	2,3
		0	1,3	2,0	1,3	2,0
	Itaguaí	Tinaroo	2	1,3	1,3	2,0	2,6
0			1,3	2,0	1,3	2,3
SP-1		2	1,3	1,0	2,0	2,0

- ^a Avaliação empírica da posição dos nódulos
- 1 — nódulos na raiz principal e secundária
 - 2 — nódulos na raiz principal
- ^b Avaliação empírica da cor dos nódulos
- 1 — nódulos cor branca
 - 2 — nódulos cor rosa
 - 3 — nódulos cor marrom

foi secado em estufa a 65°C e pesado; foram determinados os teores de N, pelo método Kjeldahl (semi-micro), e os de manganês como no Experimento 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento 1

No primeiro experimento estudou-se o efeito da adição de sulfato de manganês em 4 níveis, em um solo típico das áreas que apresentam dificuldades no estabelecimento da soja perene. Para obter informações que possam esclarecer estas dificuldades, neste experimento foram feitas observações mais minuciosas no ciclo inicial das plantas. O Quadro 3 apresenta observações feitas na época de desbaste relativas à germinação (número de plantas por vaso), desenvolvimento inicial das plantas (peso seco das plantas), das raízes (comprimento das raízes) e início da nodulação (número de plantas noduladas).

Observa-se em primeiro lugar que não houve efeito da toxidez de manganês na germinação das sementes, mesmo nas concentrações mais elevadas, que posteriormente se mostraram tão excessivas que chegaram a matar completamente as plantas de algumas espécies.

As dificuldades surgiram, entretanto, logo após, ao desbaste, aparecendo diferenças altamente significativas entre espécies e entre os níveis de manganês (Quadro 3). As espécies que mostraram desenvolvi-

mento inicial mais lento foram a *S. gracilis* e a *G. javanica*, principalmente a variedade SP-1, enquanto que a *C. pubescens* foi a que atingiu maior peso nesta época. Esta espécie também mostrou desenvolvimento das raízes mais rápido que as demais, sendo isto um fator importante no estabelecimento das mudas no campo. Desenvolvimento radicular mais lento se observou na *P. atropurpureus*, apesar de a parte aérea desta espécie se mostrar bem superior à da *G. javanica*. A *S. gracilis* foi a espécie que mostrou maior comprimento das raízes em relação ao desenvolvimento aéreo.

Não foi possível fazer-se análise estatística dos dados relativos ao número de plantas noduladas devido à falta de dados em vários vasos, mas as médias apresentadas no Quadro 3 permitem, mesmo assim, observações interessantes. Tentou-se avaliar com esta medida, aos 22 dias, a iniciação da nodulação, que tem importância no estabelecimento das plantas no campo, pois uma planta nova com nodulação bem estabelecida compete melhor com as espécies consorciadas que dependem do nitrogênio do solo. Na *C. pubescens*, *P. javanica* e *P. atropurpureus*, com 22 dias aproximadamente, metade das plantas já apresentaram nódulos, enquanto a *G. javanica* e a *S. gracilis* ainda não puderam contar com nitrogênio proveniente da fixação.

Além da diferença entre espécies, observa-se no Quadro 3 o efeito da toxidez de manganês que variou consideravelmente com as espécies (interação

0

50

100

200 ppm Mn



FIG. 1. Sintomas de toxidez de manganês devidos a aplicação de 0, 50, 100 e 200 ppm Mn em seis leguminosas forrageiras: (A) *Centrosema pubescens*, (B) *Pueraria javanica*, (C) *Glycine javanica* var. SP-1, (D) *Glycine javanica* var. Tinaroo, (E) *Stylozanthes gracilis* e (F) *Phaseolus atropurpureus*.

QUADRO 3. Efeito da toxidez de manganês na germinação e no desenvolvimento inicial de seis forrageiras (22 dias após o semeio) (médias de 4 repetições)

Espécie	MnSO ₄ aplicado ao solo (ppm Mn)	Mn na planta (ppm)	N.º de plantas germinadas	Peso das plantas (mg/planta)	Comprimento da raiz principal (cm)	N.º de plantas noduladas (%)
<i>Centrosema pubescens</i>	0	1090	27	62	5,6	56
	50	3790	25	42	4,3	44
	100	5170	33	43	4,0	23
	200	4860	25	26	3,5	0
<i>Pueraria javanica</i>	0	865	13	57	2,6	69
	50	4415	14	18	2,4	14
	100	5440	11	13	1,6	0
	200	4560	15	8	2,6	0
<i>Glycine javanica</i> var. SP-1	0	1140	40	12	2,6	1
	50	2900	34	11	2,7	0
	100	4000	39	11	2,2	0
	200	6160	44	6	1,7]	0
<i>Glycine javanica</i> var. Tinaroo	0	1127	26	26	3,5	7
	50	2690	30	14	1,7	2
	100	3330	24	11	2,1	0
	200	5000	21	6	1,9]	0
<i>Stylosanthes gracilis</i>	0	1519	36	6	3,0	0
	50	4630	26	4	1,7	0
	100	5690	26	3	1,5	0
	200	3720	25	3	1,6	0
<i>Phaseolus atropurpureus</i> var. Siratro	0	930	9	45	1,8	41
	50	4240	7	13	1,1	12
	100	5230	13	10	1,2	0
	200	—	7	0	0,6	0

espécies x manganês). A *C. pubescens* parece ter sido a mais tolerante tanto no que se refere ao desenvolvimento como ao início da nodulação. Todas as outras espécies foram altamente prejudicadas mesmo pela dosagem mais baixa de 50 ppm de manganês.

No Quadro 4 são apresentados os dados obtidos nas determinações feitas no fim do experimento, isto é, dois meses após o plantio. Como na época de destabe, a diferença entre as variedades e o efeito do manganês foram altamente significativos em todas as observações. A interação espécies x manganês, que foi significativa para peso de nódulos, peso das plantas e nitrogênio total nas plantas, demonstra diferenças entre espécies em relação à sua tolerância à toxidez de manganês. O efeito no número de nódulos foi menos pronunciado do que o no peso dos mesmos, indicando que a iniciação dos nódulos foi menos sensível à toxidez de manganês do que o desenvolvimento posterior da simbiose. Uma maior sensibilidade da simbiose à toxidez de manganês já foi sugerida para feijão (Döbereiner 1966) e *G. javanica* (Souto & Döbereiner 1968b). As três espécies que conseguiram desenvolver peso de nódulos satisfatório no solo usa-

do, foi a *C. pubescens*, a *P. javanica* e a *P. atropurpureus*. Com a adição da primeira dosagem de manganês, este peso já foi reduzido consideravelmente. Nota-se, nesta dosagem de manganês, diferença entre as duas variedades de *G. javanica*, parecendo a variedade SP-1 mais tolerante que a Tinaroo. Isto já tinha sido observado em trabalho anterior (Souto & Döbereiner, 1968b), e foi confirmado no segundo experimento como será visto mais adiante. Na concentração de 100 ppm de manganês, nenhuma das espécies conseguiu formar número de nódulos significativo, e na dosagem mais alta até houve morte das plantas, principalmente no siratro. A *C. pubescens* foi a espécie mais tolerante, mesmo nestas concentrações elevadas. Os sintomas de toxidez de Mn (Quadro 1), sem dúvida, não só nos mostram os efeitos drásticos das concentrações de manganês usadas, como também quando acompanhados por fotografias (Fig. 1), nos esclarecem a respeito da descrição desta toxidez, que poderia ser confundida facilmente com deficiências, como a de magnésio, e ainda com viroses, no seu estado mais grave.

QUADRO 4. Efeito da toxidez de manganês na nodulação e no desenvolvimento de 6 espécies forrageiras (médias de 4 repetições)

Espécie	MnSO ₄ aplicado ao solo (ppm Mn)	Mn na planta na época da colheita (ppm)	N.º de nódulos/vaso	Pêso de nódulos (mg/vaso)	Pêso das plantas (g/vaso)	N % na planta	N total na planta (mg/vaso)
<i>Centrosema pubescens</i>	0	1010	63	223	2,7	2,31	60
	50	7280	44	72	1,4	2,60	38
	100	8440	7	8	0,5	2,02	12
	200	10110	1	1	0,4	2,62	4
<i>Pueraria javanica</i>	0	1130	39	230	3,9	2,00	62
	50	4680	12	57	1,2	2,49	31
	100	5690	1	1	0,4	3,97	10
	200	9040	0	0	0,1	—	—
<i>Glycine javanica</i> var. SP-1	0	755	41	50	2,2	2,02	44
	50	4540	21	25	1,4	2,15	30
	100	8940	11	9	0,3	3,08	18
	200	8060	3	2	0,2	2,44	4
<i>Glycine javanica</i> var. Tinaroo	0	795	18	66	2,3	1,76	43
	50	4715	2	3	0,7	2,04	16
	100	6270	2	2	0,2	—	—
	200	8100	0	0	0,1	—	—
<i>Stylozanthus gracilis</i>	0	2055	48	12	1,1	1,82	20
	50	9490	7	2	0,5	2,19	13
	100	8670	0	0	0,1	—	—
	200	8370	0	0	0,1	—	—
<i>Phaseolus atropurpureus</i> var. Siratro	0	750	52	222	5,7	2,67	150
	50	3000	19	35	1,1	2,67	23
	100	4420	1	1	0,2	—	—
	200	7020	0	0	0,0	—	0

Devido à falta de material para análise de nitrogênio, nos tratamentos mais prejudicados, foram feitas duas análises de variâncias para os resultados relativos ao teor de N e ao N total, uma para todas as espécies mas apenas incluindo os níveis 0 a 50 ppm de Mn (Quadro 5), e outra incluindo os níveis 0, 50 e 100 ppm de manganês, mas apenas para *C. pubescens*, *P. javanica* var. SP-1. No nitrogênio total, em ambas as análises, os efeitos principais e a interação foram altamente significativos, sendo sua interpretação a mesma dos efeitos na nodulação.

Entretanto, a interpretação do teor de nitrogênio (N%) nas plantas se torna mais complexa. Esta medida avalia o estado de nutrição nitrogenada das plantas na época da colheita. Verifica-se, em linhas gerais, um aumento do teor de nitrogênio com aumento da toxidez de manganês, indicando que nestes vasos o excesso do manganês e não o nitrogênio foi o fator limitante do desenvolvimento das plantas. Sendo assim, fica patente que nestas dosagens elevadas de manganês não foi a simbiose que foi afetada pela toxidez, mas sim o próprio desenvolvimento das

plantas. A interação espécie x manganês, que foi significativa quando a análise incluía três níveis de manganês e as espécies *C. pubescens*, *P. javanica* e *G. javanica* var. SP-1, indica um possível efeito sobre a simbiose na *C. pubescens*, pois nesta espécie o teor de nitrogênio baixou na terceira dosagem de manganês, e contrário acontecendo nas outras duas espécies.

Experimento 2

O segundo experimento foi feito para estudar numa das espécies mais sensíveis, a soja perene, o efeito da calagem para eliminar a toxidez de manganês. Foi usado, além do solo usado no primeiro experimento (solo A), outro da série Ecologia, conhecido como altamente tóxico (solo B)

Os altos teores de manganês nas plantas dos vasos sem calagem e a pronunciada resposta à calagem nos dois solos (Quadro 6) confirmam a suposição que um dos problemas principais do solo A que foi usado no primeiro experimento seja a toxidez de manganês.

QUADRO 5. Análise da Variância dos dados apresentados nos Quadros 1 e 2 (Valores F)

Fonte da variância	Pêso da planta no desbaste ^b	Raiz no desbaste	N.º de nódulos ^{cd}	Pêso de nódulos ^{cd}	Pêso da planta ^d	N% na planta ^a	N total na planta ^a	Mn na planta (desbaste) ^b
Espécies	69,79**	38,35**	9,54**	15,18***	19,45**	5,62** 9,43**	29,62** 3,90**	4,93**
Manganês	31,26**	12,88**	86,76**	89,51**	195,81**	6,29** 19,83**	115,64** 49,53**	76,04**
Espécies X manganês	5,84**	—	1,83	5,10**	15,70**	— 15,03**	20,56** 4,46**	1,27
C. V.	35%	31%	30%	38%	31%	14% 4%	29% 30%	29%

^a Devido a falta de material para análise de nitrogênio nos tratamentos com alto teor de manganês, foram feitas duas análises de variância, uma para todas as espécies mas apenas para os níveis 0 e 50 de manganês (valores colocados acima), e outra para as espécies *Centrosema pubescens*, *Pueraria javanica* e *Glycine javanica* var. SP-1 (valores colocados abaixo) com os níveis 0-50-100 ppm de Mn.

^b Devido à falta de material para análise de manganês especialmente no *Phaseolus atropurpureus*, esta planta não foi incluída na análise da variância.

^c Análise da variância feita após transformação em $\sqrt{x+1}$.

^d Devido ao elevado número de vasos com plantas mortas na dosagem mais elevada de manganês, este tratamento não foi incluído na análise da variância.

As observações feitas na época do desbaste (Quadro 6) já demonstraram diferenças altamente significativas (Quadro 7). A calagem, que reduziu a absorção do manganês, já nesta época também teve efeito no desenvolvimento das plantas, apresentando os vasos com calagem maior pêso das plantas, mas menor comprimento das raízes, principalmente no solo B (interação solo x Calagem). O número de plantas noduladas, nesta época, foi de aproximadamente 50% nos vasos com calcário, enquanto nos sem neutralização foi insignificante, a não ser na varie-

dade SP-1 nos vasos sem fósforo. O efeito negativo deste elemento na iniciação dos nódulos da variedade SP-1, efeito este que foi positivo na variedade Tinaroo, é difícil de explicar (interação variedade x fósforo); confirma, entretanto, diferenças fisiológicas relacionadas com a nodulação entre as duas variedades, observadas em trabalhos anteriores (Souto et al. 1968a, 1968b).

A variedade Tinaroo se mostrou mais precoce, como no primeiro experimento. Já nesta época se confirma sua maior sensibilidade à toxidez de manga-

QUADRO 6. Efeito da calagem e do fósforo no desenvolvimento inicial de duas variedades de *G. javanica* em dois solos com toxidez de Mn*

Solo	Varietade	CaCO ₃ g/vaso	Superfosfato g/vaso	Mn na planta (ppm)	Pêso seco mg/vaso	Comprimento da raiz (cm)	N.º das plantas noduladas (%)
Ecologia (B)	Tinaroo	0	0	815	164	5,2	3
		0	0,675	842	222	6,5	5
		2	0	801	264	3,8	44
		2	0,675	243	305	4,1	84
	SP-1	0	0	1168	129	6,6	20
		0	0,675	1079	140	4,4	5
		2	0	1240	84	3,4	48
		2	0,675	257	148	3,6	45
Transição (A)	Tinaroo	0	0	895	231	4,3	5
		0	0,675	1348	206	4,3	16
		2	0	68	349	4,9	51
		2	0,675	198	344	3,5	68
	SP-1	0	0	1597	125	3,4	11
		0	0,675	1280	184	3,4	8
		2	0	95	273	3,7	55
		2	0,675	114	169	3,3	42

* 20 dias após o plantio, médias de 4 repetições.

QUADRO 7. Análise de variância dos Quadros 5 e 6

Fonte de variância	GL	Mn desbaste	Pêso seco planta desbaste	Comprimento raiz desbaste	N.º plantas noduladas desbaste	N.º de nódulos*	Pêso seco dos nódulos	Pêso seco planta	N% ^b	N total
CaCO ₃ (Ca)	1	93,48**	7,28*	4,91*	140,52**	241,46**	295,70**	179,44**	10,00**	165,40**
Superfosfato (P)	1	2,65	—	—	—	42,93**	249,55**	109,44**	12,09**	9,40**
Solo (S)	1	—	4,63*	3,79	—	9,90**	1,21	—	16,00**	—
Variedade (V)	1	9,12**	17,79**	1,89	—	2,47	3,20	3,88	10,00**	—
Var. x P	1	6,41*	—	—	7,36**	—	7,61**	1,11	—	—
Var. x Ca	1	—	2,99	—	5,78*	1,65	—	9,44**	—	3,94
Ca x S	1	21,42**	1,48	5,07*	—	—	1,48	—	—	—
Ca x P	1	3,50	—	—	2,10	32,47**	187,93**	73,88**	32,00**	80,90**
S x P	1	5,36*	1,59	—	—	—	2,37	—	8,00**	—
Var. x Ca x S	1	1,43	—	—	—	8,71**	7,87**	—	—	—
Ca x P x S	1	2,98	—	—	1,57	—	11,82**	—	16,00**	—
C. V.	—	38,90%	40,86%	35,11%	28,57%	21,66%	32,60%	33,18%	4,86%	42,10%

* Transformação $\sqrt{n+1}$ b Transformação \sqrt{n}

nês, sendo a interação variedade x calagem significativa no número de plantas noduladas e perto da significância no pêso das plantas (Quadro 6), mostrando desenvolvimento mais rápido da variedade Tinaroo nos vasos com calagem.

A diferença entre os dois solos também se manifestou no início do ciclo tendo sido o desenvolvimento aéreo maior no solo A, mas, como no efeito da calagem, a reação do desenvolvimento das raízes foi oposta, apesar de não ter sido significativa. Neste solo o fósforo aumentou a absorção do manganês, fato este já observado em trabalho anterior com o mesmo solo

(Souto & Döbereiner 1968b), enquanto no solo B o fósforo diminui a absorção daquele elemento (interação solo x fósforo).

No Quadro 8 são apresentados os resultados das observações finais do segundo experimento. Nesta época, as diferenças estavam ainda muito mais pronunciadas. Os efeitos da calagem e do fósforo, como a interação calagem x fósforo, foram altamente significativas em tôdas as observações (Quadro 7). Demonstraram elevada deficiência de fósforo e toxidez de manganês, tendo sido ambos fatores limitantes no desenvolvimento das plantas e dos nódulos.

QUADRO 8. Efeito da calagem e do fósforo na nodulação e no desenvolvimento de duas variedades de *G. javanica* em dois solos com toxidez de manganês (média de 4 repetições)

Solo	Variedade	CaCO ₃ g/vaso	Superfosfato g/vaso	Mn na planta (ppm)	N.º de nódulos/vaso	Pêso de nódulos (mg/vaso)	Pêso seco da planta (g/vaso)	N% na planta	N total na planta (mg/vaso)
Ecologia (B)	Tinaroo	0	0	459	3	8	0,1	2,05	2
		0	0,675	1145	4	8	0,1	1,80	3
		2	0	618	43	37	0,9	2,11	19
		2	0,675	970	93	138	3,6	2,25	80
	SP-1	0	0	—	14	8	0,1	2,32	3
		0	0,675	1060	17	37	0,4	2,29	9
		2	0	700	31	23	0,6	2,45	14
		2	0,675	435	82	139	2,5	2,50	64
Transição (A)	Tinaroo	0	0	970	3	4	0,1	2,35	4
		0	0,675	786	4	4	0,5	1,53	7
		2	0	613	21	13	1,0	1,90	15
		2	0,675	260	67	133	3,5	2,04	69
	SP-1	0	0	1605	3	3	0,3	2,07	6
		0	0,675	940	3	5	0,6	1,78	6
		2	0	76	21	5	0,6	2,01	8
		2	0,675	233	58	185	2,8	2,18	65

A diferença entre as duas variedades diminuiu com o tempo, recuperando a variedade SP-1 a desvantagem inicial.

A interação variedades x calagem, que foi significativa na matéria seca e próxima da significância no nitrogênio total das plantas, confirma a observação no primeiro experimento de que a variedade Tinaroo é mais sensível à toxidez de manganês, e esclarece experimentos anteriores (Souto *et al.* 1968b) onde os autores trabalhavam com as duas variedades e onde a variedade Tinaroo se mostrou superior à SP-1 em determinados solos enquanto em outros não. Posteriormente, todos os solos onde a variedade SP-1 se tinha mostrado superior foram identificados como solos da Série Ecologia (Solo B).

A interação fósforo x variedade, que foi significativa no peso dos nódulos, indica que houve maior nodulação na variedade Tinaroo quando sem fósforo, o contrário se observando na variedade SP-1, o que indica maior necessidade de fósforo nesta última variedade. Isto pode ser comprovado (Quadro 2), quando observamos uma coloração mais escura dos nódulos e uma posição mais próxima da raiz principal das plantas que estavam nos vasos com solo B e supridas de fósforo.

As interações fósforo x solo e fósforo x solo x cálcio, que foram significativas na percentagem de nitrogênio, indicam deficiência de nitrogênio nos vasos com solo A, quando adubado com fósforo e na ausência da calagem.

A interação de quarta ordem, que foi significativa para o peso de nódulos, sugere interpretação dos fenômenos ligados à fixação de nitrogênio a partir desta interação. Na ausência da calagem, os únicos vasos que parecem ter tido fixação de nitrogênio foram os da variedades SP-1 no solo B, e o teor de nitrogênio visto acima confirma isto. Os mesmos tratamentos no solo A, ou nos vasos com a variedade Tinaroo, mostraram teores de nitrogênio muito baixos, mais baixos

que os respectivos tratamentos sem fósforo. Isto indica que o aumento do peso seco proporcionado pela adubação fosfatada foi sobre a planta em si permanecendo a simbiose inibida, provavelmente pela toxidez de manganês. A variedade Tinaroo se mostrou mais inibida que a variedade SP-1, confirmando sua maior sensibilidade à toxidez de Mn. A inibição da simbiose na variedade SP-1 no solo A sugere outro fator prejudicial neste solo, como por exemplo a toxidez de alumínio. O teor de Al^{+++} trocável neste solo foi 0,3mE. enquanto o do solo B foi 0,0.

AGRADECIMENTOS

Não podemos deixar de reconhecidamente agradecer ao Eng.º Agrônomo Iván Guzmán, a sua colaboração na descrição dos sintomas de toxidez de manganês, bem como ao Dr. Jürgen Döbereiner pela sua valiosa colaboração na série de fotografias tiradas do experimento, que focalizam os sintomas de toxidez de manganês.

Agradecemos também ao laboratorista Carlos Alberto Gonçalves Cavalcante, que colaborou na análise de nitrogênio e manganês das plantas.

REFERÊNCIAS

- Döbereiner, J. 1966. Manganese toxicity effects in nodulation and nitrogen fixation of beans (*Phaseolus vulgaris* L.), in acid soils. *Plant and Soil* 14:153-166.
- Döbereiner, J. & Alvahydo, R. 1963. Toxidez de manganês em solos da série Ecologia. IX Congr. bras. Ciênc. Solo, Fortaleza, Ceará.
- Ferrari, E., Souto, S.M. & Döbereiner, J. 1967. Efeito da temperatura do solo na nodulação e no desenvolvimento de soja perene (*Glycine javanica* L.) *Pesq. agropec. bras.* 2:461-466.
- Foy, C.D. 1964. Toxic factors in acid soil soils of the Southeastern United States as related to the response of alfafa to lime. *rod. Rest. n.º 80, USDA, Washington D.C.*, p. 1-26.
- Souto, S.M. & Döbereiner, J. 1968a. Efeito do fósforo, temperatura e umidade do solo na nodulação e no desenvolvimento de duas variedades de soja perene (*Glycine javanica* L.). *Pesq. agropec. bras.* 3:215-223.
- Souto, S.M. & Döbereiner, J. 1968b. Fixação de nitrogênio e estabelecimento de duas variedades de soja perene (*Glycine javanica* L.) com três níveis de fósforo e de cálcio, em solos com toxidez de manganês. IV Reunião lat.-am. Inoculantes Leg., Pôrto Alegre.

MANGANESE TOXICITY IN TROPICAL FORAGE LEGUMES

Abstract

Two greenhouse experiments were carried out to study manganese toxicity in the establishment, nitrogen fixation and growth of six tropical forage legumes (*Centrosema pubescens*, *Pueraria javanica*, *Glycine javanica* var. SP-1, *Glycine javanica* var. Tinaroo, *Stylozanthes gracilis*, and *Phaseolus atropurpureus*, in two soils of Rio de Janeiro State.

In the first experiment symptomatology and development were studied with the application of manganese sulphate at four levels (0, 50, 100 and 200 ppm Mn on soil basis). Germination of the seeds was not affected by these manganese levels. Twenty-two days after sowing however manganese toxicity was already pronounced. *C. pubescens* seemed to be the most tolerant showing at the same time fastest root growth. *C. pubescens*, *P. javanica* and *Ph. atropurpureus* at that time showed about 50% of plants nodulated while nodulation of the three other species was insignificant.

Two months after planting these differences were still more pronounced. The interaction species x manganese was highly significant for nodule weight, plant weight, nitrogen content and total nitrogen in plants indicating varying tolerance of the species. Again *C. pubescens*, *P. javanica* and *Ph. atropurpureus* were the only species to develop abundant nodulation in this soil, 50 ppm of manganese reducing considerably nodulation and nitrogen fixation even of these species. The variety SP-1 of *G. javanica* proved to be more tolerant to manganese toxicity than the variety Tinaroo.

In a second experiment the effect of liming with and without phosphorus were studied on the two varieties of *G. javanica* in two manganese toxicity soils.

Twenty days after sowing the affect of liming was already apparent on nodulation and plant growth, but root growth retarded. Liming reduced absorption of manganese by the plant but in one of the soils the application of superphosphate increased manganese absorption.

Two months after planting liming together with the application of superphosphate increased 10 to 30 times nodulation, nitrogen fixation and forage production demonstrating high manganese toxicity besides phosphorus deficiency in the two soils. The variety SP-1 as in the first experiment was more tolerant to manganese toxicity, being specially its *Rhizobium* symbiosis less affected.