

CALAGEM E MANGANÊS NA CULTURA DA SOJA EM SOLOS DA REGIÃO DE RIO VERDE-GO*

DAVID VIEIRA LIMA¹, MILTON FERREIRA MORAES², HUBERTO JOSÉ KLIEMANN³ e WILSON MOZENA LEANDRO³

RESUMO: Foram desenvolvidos dois experimentos em casa de vegetação objetivando estudar os efeitos da correção de acidez e aplicação de manganês na produção de massa seca da soja (*Glycine max* L. Merrill) utilizando dois solos de Cerrado (Latosolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico) da região de Rio Verde, Goiás. Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x5, com cinco doses de calcário e cinco de manganês. Verificou-se que nos tratamentos sem calagem ocorreu toxidez de Mn, com menor produção de massa seca. Por derivação das superfícies de resposta, os níveis críticos de máxima resposta a produção foram: a) Para o Latossolo: calagem = 6,06 t ha⁻¹ e Mn = 10,02 mg kg⁻¹, com ponto estacionário – PE (máximo) de 33,92 g vaso⁻¹; b) Para o Neossolo: calagem = 2,88 t ha⁻¹ e Mn = 10,24 mg kg⁻¹, com PE de 38,72 g vaso⁻¹. A calagem é essencial para a cultura da soja em ambos os solos, sendo a aplicação de manganês desnecessária. A aplicação do dobro da calagem recomendada, em nenhum caso, induziu deficiência de Mn na soja.

Termos para indexação: Deficiência induzida, acidez do solo, nível crítico.

DRY MATTER YIELD OF SOYBEAN AS AFFECTED BY RATES OF LIME AND MANGANESE IN TWO SOILS FROM RIO VERDE, STATE OF GOIAS, BRAZIL

ABSTRACT: Two greenhouse experiments were carried out to assess the effects of lime and manganese on the dry matter production of soybean in two soils (Typic Haplorthox and Ultipsamment) from Rio Verde, Southwest Goiás, Brazil. A 5 x 5 factorial design (rates of liming and manganese) with three replicates in a completely randomized layout was used. Liming treatments reduced dry matter yield and led to manganese toxicity. By derivation of the surfaces of response the following critical points were calculated: a) Oxisol: lime - 6.06 t ha⁻¹ and Mn - 10.02 mg kg⁻¹, with a stationary point of 33.92 g pot⁻¹; b) Ultipsamment: lime - 2.88 t ha⁻¹ and Mn - 10.24 mg kg⁻¹, with a stationary point of 38.72 g pot⁻¹. As an average base saturation to reach 90% of the maximum productivity was 50%. Isoquants of the surfaces of response indicated the possibility of obtaining maximum dry matter yields without adding Mn whereas liming was requested. Actually lime was necessary for dry matter production in both soils. On the other hand, a requirement for manganese was not observed. In both soils the use of twice the required rate of lime did not induce deficiency of manganese.

Index terms: Induced deficiency, soil acid, critical point.

*Parte da Tese de Doutorado em Produção Vegetal do primeiro autor, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, GO.

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Rio Verde, GO. E-mail: dvlima@yahoo.com.br.

²Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas – CENA/USP, CP 96, CEP 13400-970, Piracicaba, SP. E-mail: moraesmf@yahoo.com.br Bolsista FAPESP. (Autor correspondente)

³Escola de Agronomia, UFG. E-mail: kliemann@agro.ufg.br; leandro@agro.ufg.br.

INTRODUÇÃO

Nos 12 milhões de hectares que estão ocupados com culturas anuais nos Cerrados brasileiros, os principais solos são os Latossolos, seguidos dos Neossolos Quartzarênicos (RESCK, 2001). Em geral, estes solos são distróficos, de baixa CTC e ácidos e ricos em sesquióxidos de Fe e Al, necessitando, assim, a correção da acidez e a adubação para a obtenção de elevadas produtividades das culturas (MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985).

Para a soja, principal cultura da região, tanto do ponto de vista econômico quanto da área cultivada, a calagem é indispensável, já que sua omissão reduz em até 90% a produção de massa seca da cultura e inviabiliza os cultivos (LIMA et al., 2000, 2004), além de ser a prática mais efetiva e barata para a correção da acidez dos solos (FAGERIA e STONE, 1999). Para os Latossolos de Goiás, Fageria (2001b) comprovou a importância da calagem.

Além da soja ser uma espécie muito exigente em Ca e Mg e sensível a acidez dos solos, o Ca e o P, são considerados os nutrientes cujas deficiências mais limitaram a produtividade nos Latossolos distróficos dos Cerrados (LIMA et al., 2000). Sem a calagem, a cultura se inviabiliza nestes solos devido ao efeito conjugado de deficiência de Ca e de Mg, toxidez de Al e de Mn (FAQUIN et al., 2000; LIMA et al., 2003).

No entanto, esta prática deve ser criteriosa porque, ao mesmo tempo em que eleva a disponibilidade de Ca e Mg, diminui a de todos os micronutrientes catiônicos (MALAVOLTA, 1980). Tem sido relatados casos de deficiência de Mn na soja mesmo nos solos sob cerrados, em função da calagem excessiva no plantio convencional (TANAKA et al., 1992; SANZONOWICZ, 1995) ou da aplicação superficial, praticada a lanço no Sistema de Plantio Direto (CAIRES e FONSECA, 2000),

inversamente ao que é relatado pela maioria dos autores, que têm comprovado toxidez de Mn na cultura da soja em Latossolos ácidos, não corrigidos (ROSOLEM et al., 1992; FAQUIN et al., 2000; LIMA et al., 2000, 2004; FAGERIA, 2001a).

Atualmente, a correção da acidez dos solos ainda é uma dificuldade tecnológica do Sistema de Plantio Direto (SPD), pois as conseqüências das alterações químicas do solo pela calagem superficial na nutrição mineral das culturas anuais são pouco conhecidas (CAIRES e FONSECA, 2000). Na região de Rio Verde-GO, o temor da ocorrência de deficiência tem motivado a aplicação empírica de Mn em cultivos comerciais de soja, tendo sido observada correlação negativa desta prática com a produtividade da cultura (FERREIRA, 2002).

Assim, os objetivos deste trabalho foram: estudar os efeitos da correção de acidez e aplicação de manganês na produção de massa seca da soja (*Glycine Max* L. Merrill), em dois solos de Cerrado e avaliar a eficácia do uso de superfícies de resposta como ferramenta para análise e interpretação conjunta dos dados da interação calagem e manganês.

MATERIAL E MÉTODOS

Realizaram-se dois experimentos em vasos com dois cultivos sucessivos de soja [*Glycine max* (L.) Merrill, cv. Emgopa-316], durante o período de março a setembro de 2001. Foram utilizadas amostras superficiais (camada de 0 a 20 cm) de dois materiais de solos virgens - um Latossolo Vermelho-Amarelo - LV (argiloso) e um Neossolo Quartzarênico - RQ (arenoso), ambos distróficos e ácidos, fase Cerrado, representativos da região sudoeste de Goiás. Estes foram analisados física e quimicamente (Tabela 1) segundo EMBRAPA, (1997).

Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x5, com

TABELA 1. Caracterização química e física dos solos, na profundidade de 0 a 20 cm.

Variáveis	Tipo de solo	
	Latossolo	Neossolo
pH em água	4,9	5,0
P (mg dm ⁻³)	1,7	1,6
K (mg dm ⁻³)	49,0	58,0
Ca (mmolc dm ⁻³)	4,0	4,0
Mg (mmolc dm ⁻³)	1,0	2,0
Al (mmolc dm ⁻³)	10,0	4,0
H + Al (mmolc dm ⁻³)	93,0	47,0
CTC (mmolc dm ⁻³) ⁽¹⁾	99,2	54,5
m (%) ⁽²⁾	61,5	34,8
V (%) ⁽³⁾	6,2	13,8
Matéria Orgânica (g dm ⁻³)	53,0	8,0
Cu (mg dm ⁻³)	0,3	0,2
Fe (mg dm ⁻³)	99,3	143,8
Mn (mg dm ⁻³)	16,1	23,0
Zn (mg dm ⁻³)	0,5	0,3
Areia (g kg ⁻¹)	220,0	810,0
Silte (g kg ⁻¹)	120,0	60,0
Argila (g kg ⁻¹)	660,0	130,0

⁽¹⁾CTC: capacidade de troca catiônica

⁽²⁾m (%): saturação por alumínio

⁽³⁾V(%): saturação por bases.

cinco doses de calcário, equivalentes a 0; 0,5; 1; 1,5; e 2,0 vezes a dose suficiente para elevar a saturação por bases para 50% e cinco doses de manganês (0, 5, 10, 15 e 20 mg de Mn kg⁻¹ de solo), com 3 repetições por tratamento. As doses de calagem usadas como referenciais para os tratamentos (dose para V = 50%), aplicadas somente no primeiro cultivo, foram de 4,14 t ha⁻¹ (equivalente a 2,05 g kg⁻¹ de solo) para o solo argiloso e de 1,89 t ha⁻¹ (equivalente a 0,68 g kg⁻¹ de solo) para o arenoso. Como corretivo, conforme tratamentos, foi empregada a mistura de CaCO₃ mais MgCO₃ p.a., na proporção de 3:1, com 104,75% de PRNT, deixando-se o solo sob incubação aeróbica por 30 dias.

Aos solos, foram adicionados como adubação básica, os seguintes nutrientes e quantidades (mg kg⁻¹ de solo): N – 80; K – 150; P – 200; S – 50; Mo – 0,1; B – 1,5; Cu – 1,5 e Zn – 5. Por último, foi adicionado o manganês, nas doses especificadas para cada tratamento, como solução de cloreto de manganês tetraidratado. O solo de cada vaso foi homogeneizado e deixado novamente incubado por 30 dias, para novas análises químicas.

O N foi fornecido no plantio e coberturas na forma mineral, para eliminar o efeito dos tratamentos e das condições experimentais sobre a simbiose.

Foram realizadas duas coberturas em cada cultivo, empregando-se sulfato de amônio e/ou uréia, de acordo com a necessidade das plantas.

Foram então plantadas 8 sementes por vaso e, uma semana após a germinação, foi feito um desbaste para quatro plantas por vaso.

A irrigação foi controlada por perda de peso dos vasos, mantendo-se a umidade aproximadamente a 80% da capacidade de campo. Realizaram-se rodízios freqüentes e aleatórios dos vasos dentro da estufa.

Foram realizados dois cultivos sucessivos até o estágio R2 (pré-florescimento, 50 – 54 dias após a emergência), cortando-se a parte aérea rente ao solo.

Após cada cultivo, o material vegetal da parte aérea e raízes foi seco em estufa com circulação de ar, a 65-70°C até peso constante. Posteriormente foi medida a massa seca (MS) e realizada a moagem. O material vegetal passou por digestão nítrico-perclórica e foram quantificados os teores de Ca, Mg e Mn por espectrometria de absorção atômica, segundo Malavolta et al. (1997).

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, as interações foram avaliadas por

regressão, segundo Head e Dillon (1961) e Colwell (1994), utilizando o modelo polinomial quadrático. Estimaram-se os pontos de máxima eficiência técnica – pontos estacionários que representam máximos, ou seja, as derivadas parciais são iguais à zero.

Para o processamento dos dados foi empregado o sistema computacional Statistical Analysis System (SAS), segundo Pimentel-Gomes e Garcia (2002). As superfícies de resposta foram plotadas no programa STATISTICA for Windows (Statsoft In., 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizou-se a produção de massa seca da parte aérea (Tabela 2, Figuras 1 e 2) como variável de produção por ser este um parâmetro considerado dos mais adequados para estudos sob condições controladas (FAGERIA, 1998). A produção total de massa seca (MS) refere-se à soma dos dois cultivos.

Os solos estudados apresentam uma baixa fertilidade natural e acentuados problemas de acidez, confirmados pela produção de massa seca da testemunha (C_0Mn_0), que apresentou valores significativamente inferiores àqueles verificados nos pontos estacionários, isto é, onde a combinação das doses de calagem e doses de manganês maximiza a produção. No solo argiloso, a produção relativa da testemunha foi 30% ($10,75 \text{ g vaso}^{-1}$) da produção do ponto de maximização produtiva ($33,92 \text{ g vaso}^{-1}$) e no arenoso foi 49% ($19,13 \text{ g vaso}^{-1}$) daquela obtida no ponto de maximização ($38,71 \text{ g vaso}^{-1}$).

Verifica-se ainda que o solo argiloso foi afetado de maneira mais drástica do que o arenoso, apresentando produção de MS total inferior à verificada neste solo. O comportamento diferenciado dos solos sugere práticas de manejo diferentes, uma vez que solos arenosos têm menor potencial produtivo do que

TABELA 2. Produção de massa seca (g vaso^{-1}) pela parte aérea da soja nos dois cultivos e total dos cultivos (média de três repetições).

Tratamento	1º cultivo (g vaso^{-1})		2º cultivo (g vaso^{-1})		Soma (g vaso^{-1})	
	Latossolo	Neossolo	Latossolo	Neossolo	Latossolo	Neossolo
C_0Mn_0	7,13	13,66	3,62	5,47	10,75	19,13
$C_0Mn_{1/2}$	9,12	10,91	2,94	5,51	12,06	16,42
C_0Mn_1	7,33	12,23	2,64	5,78	9,97	18,01
$C_0Mn_{1,5}$	10,53	14,29	2,83	5,70	13,36	19,99
C_0Mn_2	10,27	7,86	2,85	5,59	13,12	13,45
$C_{1/2}Mn_0$	12,80	21,36	12,58	11,06	25,38	32,42
$C_{1/2}Mn_{1/2}$	18,02	19,47	9,29	10,19	27,31	29,66
$C_{1/2}Mn_1$	19,59	21,93	12,34	8,63	31,93	30,56
$C_{1/2}Mn_{1,5}$	18,48	23,49	10,44	8,55	28,92	32,04
$C_{1/2}Mn_2$	16,61	23,33	9,84	8,42	26,45	31,75
C_1Mn_0	15,90	21,03	13,33	11,76	29,23	32,79
$C_1Mn_{1/2}$	19,82	22,29	13,08	13,91	32,90	36,20
C_1Mn_1	18,81	25,47	12,63	12,48	31,44	37,95
$C_1Mn_{1,5}$	17,84	24,05	11,91	12,46	29,75	36,51
C_1Mn_2	17,65	22,68	11,88	11,75	29,53	34,43
$C_{1,5}Mn_0$	17,26	20,76	14,36	15,51	31,62	36,27
$C_{1,5}Mn_{1/2}$	18,43	21,74	12,83	15,43	31,26	37,17
$C_{1,5}Mn_1$	17,54	23,03	12,47	13,70	30,01	36,73
$C_{1,5}Mn_{1,5}$	17,35	22,60	11,09	13,46	28,44	36,06
$C_{1,5}Mn_2$	17,24	22,49	10,93	12,72	28,17	35,21
C_2Mn_0	13,87	20,30	14,16	15,75	28,03	36,05
$C_2Mn_{1/2}$	16,10	22,51	16,82	16,06	32,92	38,57
C_2Mn_1	16,14	22,25	17,19	15,50	33,33	37,75
$C_2Mn_{1,5}$	18,39	20,28	14,94	15,07	33,33	35,35
C_2Mn_2	17,36	23,58	14,23	14,53	31,59	38,11
CV (%)	13,00	11,60	18,20	8,20	12,40	7,70
PE ⁽¹⁾	19,89	24,73	15,56	17,58	33,92	38,72

⁽¹⁾ Ponto estacionário – ponto de máxima resposta (g vaso^{-1}).

$$MS = 11,887 + 6,494Ca + 0,472Mn - 0,528Ca^2 - 0,020Mn^2 - 0,010CaMn$$

$$R^2 = 0,8353 \quad (n=75) \quad CV = 12,4\%$$

$$PE: 33,92 \text{ g vaso}^{-1} \text{ (calcário: } 6,06 \text{ t ha}^{-1} \text{ Mn: } 10,02 \text{ mg kg}^{-1}\text{)}$$

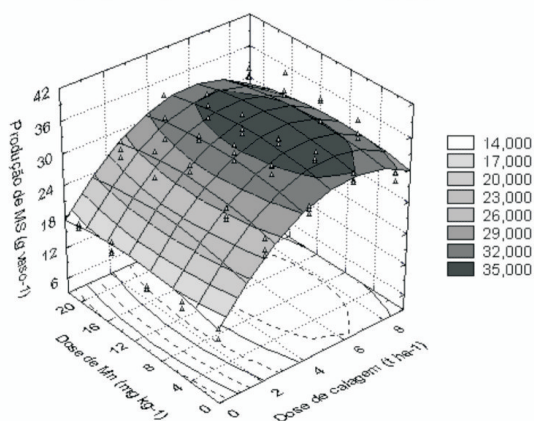


FIG. 1. Produção da massa seca total da parte aérea (soma dos dois cultivos) da soja no Latossolo. (PE = ponto estacionário – ponto de máxima resposta).

$$MS = 18,575 + 13,386Ca + 0,163Mn - 2,370Ca^2 - 0,012Mn^2 + 0,028CaMn$$

$$R^2 = 0,9075 \quad (n=75) \quad CV = 7,7\%$$

PE: 38,72 g vaso⁻¹ (calagem: 2,88 t ha⁻¹ Mn: 10,24 mg kg⁻¹)

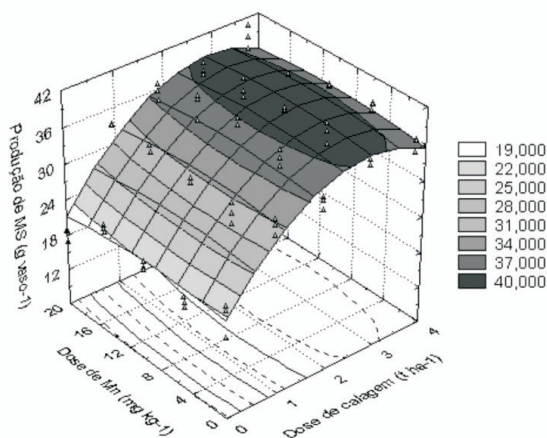


FIG. 2. Produção da massa seca total da parte aérea (soma dos dois cultivos) da soja no Neossolo. (PE = ponto estacionário – ponto de máxima resposta).

os mais argilosos, sobretudo em longo prazo, não sendo adequados para cultivos intensivos e contínuos (SPERA et al., 1999). Em ambiente controlado, Lima et al. (2000) também observaram que os solos mais arenosos propiciaram maiores produções de MS da soja do que os mais argilosos e, além do baixo potencial de suprimento de nutrientes, os solos arenosos são sujeitos a exaustão mais acelerada.

Tomando-se como base a produção relativa de 40% ou menos, em relação ao tratamento de maior produção, para caracterização de deficiência nutricional severa em determinado solo (KILIAN e VELLY, citados por CHAMINADE, 1972), observa-se que no solo argiloso todos os tratamentos em que se omitiu a calagem atingiram este nível de deficiência e no solo arenoso, esta condição também foi atingida quando se aplicaram altas doses de manganês, sem calagem. Destaca-se ainda a queda acentuada dos pontos estacionários do primeiro para o segundo cultivo indicando que nestes solos, para um crescimento normal e produção adequada da cultura, em longo prazo, é essencial a calagem em doses adequadas (Tabela 2).

Em ambos os solos, os teores de Ca e Mg associados às máximas produções variaram de 6 a 21 g kg⁻¹ e de 4 a 7 mg kg⁻¹ na massa seca da parte aérea, respectivamente. Estes resultados concordam com as faixas de 10,6 a 20,5 mg kg⁻¹ para Ca e de 2,7 a 15,0 para Mg, sugeridas por Faquin et al. (2000). Na ausência de calagem foram observados sintomas característicos de deficiência de Ca e Mg. Outros aspectos referentes aos efeitos da calagem e aplicação de Mn na nutrição mineral da soja foram detalhadamente discutidos por Lima et al. (2004).

Limitações severas na produção da soja em função da omissão da calagem, Ca e Mg têm sido amplamente divulgadas na literatura, visto que a acidez dos solos sob Cerrado tem sido apontada como uma das principais causas da baixa produção nestes solos (LIMA et al., 2000; FAGERIA 2001b). A calagem tem sido apontada como a melhor alternativa para minimizar estes problemas e incrementar a produção da soja (VIDOR e FREIRE, 1972; FAGERIA e STONE, 1999; FAGERIA, 2001b). Os resultados obtidos neste trabalho concordam com estas observações.

Nas condições experimentais deste trabalho, considerando a obtenção de 90% da produtividade máxima, as saturações por base foram de 46% e 54% para o Latossolo e Neossolo, respectivamente (Figura 3). Sousa et al. (1993) relatam que parcelas experimentais e propriedades rurais produtoras de soja das regiões dos Cerrados apresentam substanciais acréscimos quando se atinge saturação de bases na camada arável dos solos em torno de 50%. Entretanto, recomenda-se aplicar calcário visando uma saturação por bases entre 60-70%, pois desta forma, consegue-se prover a cultura de Ca e Mg, além de neutralizar a acidez dos solos por períodos mais prolongados, especialmente quando for iniciar o SPD. Isto é respaldado pelos pontos estacionários (33,92 e 38,72 g de MS por vaso) das superfícies de

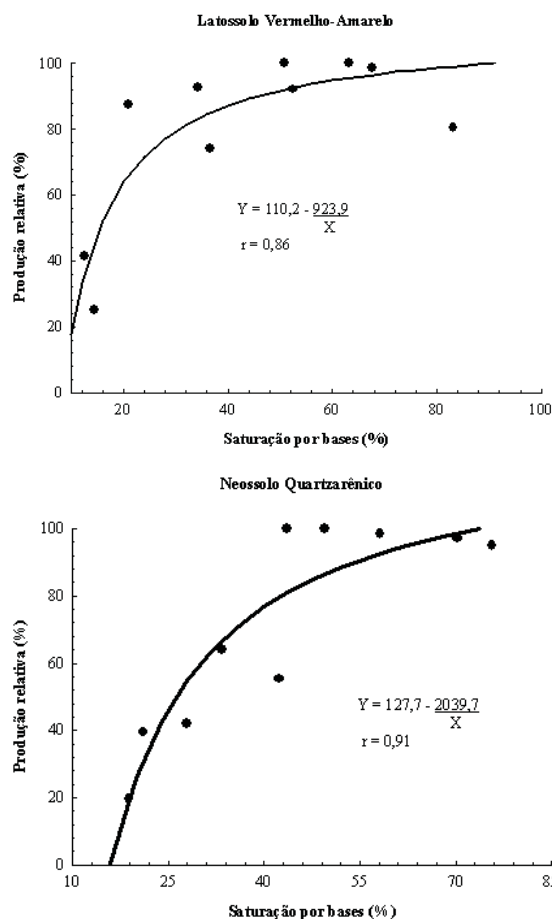


FIG. 3. Relação entre saturação por bases e resposta da soja a calagem na ausência de aplicação de manganês (média de três repetições - n = 10).

respostas das Figuras 1 e 2, que correspondem às doses máximas de calagem de $6,06 \text{ t ha}^{-1}$ para o solo argiloso (LV) e de $2,88 \text{ t ha}^{-1}$ para o solo arenoso (RQ). Associando-se estas doses com os valores de saturação por bases, constata-se que correspondem, aproximadamente, a 1,5 vezes as quantidades de calagem recomendadas para ambos os solos pelo método da saturação por bases (QUAGGIO, 2000). Por outro lado, verifica-se que a necessidade de calagem significativamente maior do solo argiloso deve-se ao maior poder tampão do solo e à capacidade de troca de cátions (Tabela 1).

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por outros autores, como Rosolem et al. (1992), Quaggio (2000) e Lima et al. (2000), que obtiveram maiores produtividades de soja com saturação de bases por volta de 60%. Para implantação do SPD, Vitti e Trevisan (2000) também recomendam a calagem para elevar a saturação por bases para 60-70%, a fim de se obter altas produtividades, podendo diminuir com a consolidação do processo.

A omissão da calagem foi o tratamento que, nos dois solos, exerceu maior efeito depressivo sobre a produção de MS da soja (Tabela 2 e Figuras 1 e 2), evidenciando que esta é uma prática de manejo fundamental nos solos estudados, não somente para o fornecimento de Ca e Mg, mas também pela correção da acidez, uma vez que a soja, além de exigente naqueles nutrientes, não é considerada tolerante à acidez do solo (LIMA et al., 2000, 2003), que também prejudica o processo de fixação biológica do nitrogênio.

Estudou-se, ainda, a correlação entre a produção total de MS com a calagem, obtendo-se elevados coeficientes de correlação ($P < 0,001$) tanto para o solo argiloso ($r = 0,76$) quanto para o arenoso ($r = 0,83$), evidenciando a íntima relação de causa-efeito entre a calagem e a produção de MS pela soja.

Ressalta-se que, embora a calagem seja essencial para os solos estudados, esta calagem necessariamente deve ser criteriosa, tendo-se em vista a soja exige a correção do pH para valores próximos de 6,0 (LIMA et al., 2000) e que a interação entre os fatores nutricionais dos solos é complexa, sendo bem conhecido o efeito do pH na disponibilidade dos micronutrientes, sobretudo do Zn, sabidamente deficiente em solos sob Cerrado (LOPES, 1983; MALAVOLTA e KLIEMANN, 1985).

Com relação à aplicação de manganês, observa-se que não houve uma tendência definida

dos efeitos em relação aos solos ou cultivos, mas pode-se afirmar que a produção de MS pela parte aérea apresentou tendência inversa ($P < 0,001$) com a elevação dos teores de Mn, decorrente da adição do nutriente ao solo. Nos dois solos estudados, os teores de Mn na parte aérea, associados às máximas produções variaram de 127 a 1800 mg kg⁻¹. Os teores encontrados são considerados altos, todavia só foram observados sintomas de toxidez nos tratamentos onde foi adicionado Mn e omitida a calagem, observando-se sintomas característicos de toxidez de Mn, cuja severidade foi proporcional à elevação das doses de Mn.

Segundo Rosolem et al. (2001), a soja apresenta alta variabilidade quanto aos teores de Mn e afirmam que este não é um bom indicativo de toxicidade, uma vez que se têm observado boas produções com teores foliares acima de 200 mg kg⁻¹. Recentemente, Lavres Jr., (2007) observou diferenças genotípicas na concentração de Mn nos tecidos foliares de cultivares de soja, tanto em condição de deficiência (9 a 26 mg kg⁻¹) quanto na tolerância à toxidez por Mn (700 a 1000 mg kg⁻¹).

A queda de produção em função da toxidez de Mn em soja cultivada em solos ácidos tem sido relatada por diversos pesquisadores, tanto em condições de casa de vegetação quanto sob condições de campo (LIMA et al., 2000; FAQUIN et al., 2000; FAGERIA, 2001a), concordando com os resultados obtidos no presente estudo. Também a ausência de resposta à aplicação do nutriente tem sido freqüente (ROSOLEM et al., 1992).

Portanto, os resultados obtidos neste trabalho mostram que a aplicação de Mn nos solos estudados é desnecessária e até prejudicial. Esta prática, utilizada empiricamente por muitos produtores, apresenta correlação negativa com a produtividade, como foi constatado por Ferreira (2002) em lavouras comerciais da região de Rio Verde-GO.

Avaliação do modelo matemático

A adoção do modelo não deve ser feita apenas com base em critérios estatísticos, simplesmente comparando os coeficientes de determinação dos diferentes ajustes matemáticos, mas considerando-se também os desdobramentos teóricos que são seqüencialmente aplicados nestes modelos, além da correlação multidisciplinar entre aspectos práticos de agronomia e experimentação. Outro aspecto importante é definir o modelo que melhor representa a superfície de resposta (BATAGLIA e QUAGGIO, 2000).

Considerando-se estes aspectos, o modelo quadrático mostrou-se adequado para o presente estudo. Como é característico, o modelo apresentou o ajuste quase linear nas doses iniciais de nutrientes, demonstrando grande sensibilidade nesta parte da curva e, de modo diferente dos modelos que atingem rapidamente o platô de produção, permitiu caracterizar o efeito depressivo para doses excessivas de calcário e manganês e visualizar as interações negativas que deprimiram a produção.

O modelo apresentou, ainda, coeficientes de determinação (R^2) elevados, sempre acima de 0,756 para a parte aérea e acima de 0,632 para as raízes, indicando que mais de 75% das variações observadas no rendimento da MS da parte aérea da soja e mais de 63% da observada na produção de MS de raízes da cultura seriam explicadas pela regressão quadrática ajustada, semelhante ao que foi obtido por Vidor e Freire (1972).

Para o estudo da produção de massa seca o modelo permitiu ainda a obtenção dos pontos críticos de máxima resposta (Figuras 1 e 2), por meio das derivadas parciais das equações, igualadas a zero, conforme Ferreira (1999). A partir dessas equações podem ser calculadas as possíveis combinações que permitem a obtenção de rendimentos equivalentes,

conforme é sugerido pelas literaturas (ALVAREZ, 1985; FERREIRA, 1999).

Analisando-se as isoquantas de produção de MS total da parte aérea (Figuras 1 e 2) constata-se que, nos dois solos, há combinações que permitem máximas produções com pouco ou nenhum Mn, no entanto, isto não é possível sem a calagem. No segundo cultivo, as derivadas parciais mostraram os seguintes pontos críticos: para o LV: 7,66 t ha⁻¹ para a calagem e -6,63 mg kg⁻¹ para o Mn; para a RQ: 4,92 t ha⁻¹ para a calagem e -23,03 mg kg⁻¹ para o Mn, refletindo o efeito positivo da calagem e negativo do nutriente Mn sobre a produção de MS, sobretudo com o decorrer de sucessivos cultivos.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de Iniciação científica (PIBIC) ao segundo autor durante a realização do estudo.

CONCLUSÕES

1. Nos solos estudados, a calagem é essencial para a cultura da soja e a aplicação de Mn desnecessária.

2. Devido ao alto teor de Mn, aplicação de duas vezes a dose recomendada de calagem, mesmo na ausência de aplicação de Mn, não induziu deficiência do elemento na soja.

2. Existem combinações que permitem a obtenção de máxima produção total sem o uso do Mn, mas não sem a calagem.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V.H. **Avaliação da fertilidade do solo (superfícies de resposta – modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta)**. Viçosa: Editora UFV, 1985. 101p.

BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A. Aplicação de modelos na avaliação da fertilidade do solo e nutrição de plantas. In: FERTBIO 2000, Santa Maria, 2000. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2000. CD-ROM.

CHAMINADE, R. Recherches sur la fertilité et la fertilisation des sols em régions tropicales. **L'Agronomie Tropicale**, v.27, p.891-904, 1972.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no Sistema de Plantio Direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, v.59, n.2, p.213-220, 2000.

COLWELL, J.D. **Estimating fertilizer requirements: a quantitative approach**. Wallingford: CAB International, 1994. 262p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CNPS, 1997. 212p.

FAGERIA, N.K. Adequate and toxic levels of copper and manganese in upland rice, common bean, corn, soybean and wheat grown on an oxisol. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.32, p.1659-1676, 2001a.

FAGERIA, N.K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1419-1424, 2001b.

FAGERIA, N.K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.6-16, 1998.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Manejo da acidez dos solos de Cerrado e de várzea do Brasil. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA – CNPAF, 1999. 42p. (Documentos, 92).

FAQUIN, V.; LIMA, D.V.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; HIGA, N.T.; MORAIS, A.R. Nutrição

- mineral do braquiário e da soja cultivados em Latossolos sob cerrado da região de Cuiabá - MT. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, n.1, p.110-117, 2000.
- FERREIRA, R.S. **Matemática aplicada às ciências agrárias: análise de dados e modelos**. Viçosa: Editora UFV, 1999. 333p.
- FERREIRA, S.M. **Fatores Condicionantes da Produtividade de Soja (*Glycine max* L. Merrill) no Sistema de Plantio Direto na Região de Rio Verde - Goiás**. 2002. 87f. Dissertação Mestrado (Produção Vegetal) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO.
- HEAD, E.O.; DILLON, J.L. **Agricultural production functions**. Ames: Iowa State University, 1961. 667p.
- LAVRES JR., J. **Influência genotípica na absorção, utilização e na toxidez de manganês na soja**. 2007. 88f. Tese Doutorado (Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- LIMA, D.V.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; MORAIS, A.R.; CURTI, N.; HIGA, N.T. Macro e micronutrientes no crescimento do braquiário e da soja em Latossolos sob cerrado da região de Cuiabá - MT. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, n.1, p.96-104, 2000.
- LIMA, D.V.; KLIEMANN, H.J.; FAGERIA, N.K.; MORAES, M.F.; LEANDRO, W.M.; SEVERIANO, E.C. Saturação por alumínio e relação Al/Ca para a cultura da soja em solos de Cerrado. **Revista Agricultura Tropical**, v.7, n.1, p.106-118, 2003.
- LIMA, D.V.; KLIEMANN, H.J.; MORAES, M.F.; LEANDRO, W.M. Relações entre doses de calcário e manganês na nutrição mineral da soja na região de Rio Verde – GO. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, n.2, p.65-73, 2004.
- LOPES, A.S. **Solos sob “Cerrado”: Características, propriedades e manejo**. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 161p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E.; KLIEMANN, H.J. **Desordens nutricionais no Cerrado**. Piracicaba: POTAFOS, 1985. 136p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997, 319p.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.
- QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 111p.
- RESCK, D.V.S. Uso e ocupação do solo e a crise energética no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.4, p.14-18, 2001.
- ROSOLEM, C.A.; BESSA, M.A.; AMARAL, P.G.; PEREIRA, H.F.M. Manganês no solo, sua avaliação e toxidez de manganês em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.2, p.277-285, 1992.
- ROSOLEM, C.A.; QUAGGIO, J.A.; SILVA, N.M. Algodão, amendoim e soja. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van.; ABREU, C.A. (eds) **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.319-354.
- SANZONOWICZ, C. Deficiência de manganês em solos dos Cerrados. **Informações**

- Agronômicas**. Piracicaba: POTAFOS, 1995. p.7-7. (Boletim, 71).
- SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; MIRANDA, L.N. Correção do solo e adubação da cultura da soja. In: **Cultura da soja nos cerrados**. SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DA SOJA NOS CERRADOS, Piracicaba, 1993. Anais... Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.137-158.
- SPERA, S.T.; REATTO, A.; MARTINS, E.S.; CORREIA, J.R.; CUNHA, T.J.F. Solos arenos-quartzosos do Cerrado: Características, problemas e limitações ao uso. Planaltina: EMBRAPA - CPAC, 1999. 48p. (Documentos, 7).
- Statsoft Inc. STATISTICA (Data analysis system), version 6. www.statsoft.com. 2001.
- TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.2, p.247-250, 1992.
- VIDOR, C.; FREIRE, J.R.J. Relação de substituição entre calcário e fósforo aplicados ao solo na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill). **Agronomia Sulriograndense**, v.8, n.2, p.187-193, 1972.
- VITTI, G.C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. **Informações agronômicas**. Piracicaba: POTAFOS, 2000. p.21-36. (Boletim, 90).