

RESPOSTA DA SOJA A MOLIBDÊNIO EM DIFERENTES NÍVEIS DE pH DO SOLO⁽¹⁾

A. F. LANTMANN⁽²⁾, G. J. SFREDO⁽²⁾, C. M. BORKERT⁽²⁾,
& M. C. N. de OLIVEIRA⁽²⁾

RESUMO

Foram realizados em campo dois experimentos com o objetivo de determinar a influência do molibdênio, em função de diferentes níveis de pH do solo na produtividade e no teor de proteína da soja. Os solos utilizados - latossolo roxo álico (LRa), em Campo Mourão (PR) e o latossolo vermelho-escuro álico (LEa), em Ponta Grossa (PR) - foram calcariados com seis diferentes doses. Na instalação, o LRa (1985/86) apresentava pH em CaCl₂, variando de 4,2 a 5,4 e o LEa (1976/87), de 4,4 a 6,0. Em parcela subdividida, o molibdênio foi aplicado à soja na dose equivalente a zero e 30g/ha de Mo, na forma de molibdato de sódio, via semente. Os resultados mostraram que essa aplicação proporcionou aumentos de 295 (11%) a 370kg/ha (16%) de grãos em pH menor que 4,7 no LRa e de 105 (4%) a 477kg/ha (29%) em pH menor que 4,8 no LEa. O Mo proporcionou acréscimos de 3 a 6% nos teores de proteína da soja, em pH menor que 4,3 e 4,8 respectivamente no LRa e no LEa. O trabalho permitiu concluir que o Mo nativo nos solos estudados encontra-se mais disponível para a soja em pH acima de 4,8 medido em CaCl₂.

Termos de indexação: Soja, *Glycine max* (L.) Merrill, molibdênio, pH do solo.

SUMMARY: SOYBEAN RESPONSE TO MOLYBDENUM IN DIFFERENT SOIL pH

The influence of soil molybdenum (Mo) under different soil pH, on the yield and seed protein content of soybeans was evaluated in two field experiments. Lime was applied in six doses to two soil types: (i) Dusky Red Latosol, alic (LRa) at Campo Mourão, State of Paraná, Brazil, and (ii) Dark Red Latosol alic (LEa) at Ponta Grossa, in the same State. At the planting time the soil pH measured in CaCl₂ ranged from 4.2 to 5.4 in the LRa (1985/86), and 4.4 to 6.0 in the LEa (1986/87). Molybdenum was applied on the seeds at rates of 0 and 30 g/ha of Mo as sodium molybdate in an experiment in split plot design. Mo application resulted in soybean yield increases from 295 (11%) to 370 kg/ha (16%) when soil pH was lower than 4.7 in LRa, and from 105 (4%) to 477 kg/ha (29%), when soil pH was lower than 4.8 in the LEa. Soybean seed protein increased 3 and 6% when soil pH was lower than 4.3 in the LRa, and lower than 4.6 in the LEa, respectively. Results also indicated that soil native Mo is more available to soybeans at soil pH above 4.8 (measured in CaCl₂).

Index terms: Soybeans, *Glycine max* (L.), molybdenum, soil pH.

(1) Trabalho apresentado no XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Campinas, SP, de 19 a 25 de julho de 1987. Recebido para publicação em dezembro de 1988 e aprovado em março de 1989.

(2) Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Caixa Postal 1061, 86001 Londrina, PR.

INTRODUÇÃO

O efeito benéfico do molibdênio na produtividade de leguminosas é conhecido desde 1930. Sua principal atuação está no processo de fixação simbiótica do nitrogênio e em outros processos fisiológicos das plantas superiores (Parker & Harris, 1962). O molibdênio participa ativamente como cofator integrante nas enzimas nitrogenase, redutase do nitrato e oxidase do sulfato, e está intensamente relacionado com o transporte de elétrons durante as reações bioquímicas (Price et al., 1972).

O teor de Mo total nos solos encontra-se na faixa de 0,5 a 5,0 ppm, onde ocorre nas seguintes fases: solúvel na solução do solo, adsorvido na fração coloidal, retido na rede cristalina dos minerais primários e quelado à matéria orgânica (Gupta & Lipssett, 1981).

Em condições de pH extremamente baixo, o Mo existente na solução do solo encontra-se predominantemente em forma não-dissociada de ácido molíbdico (H_2MoO_4). Com o aumento do pH, o H_2MoO_4 se dissocia em ($HMoO_4^{2-}$) e, posteriormente, a molibdato (MoO_4^{2-}), o qual se torna a forma predominante em solos de pH neutro e alcalino (Davies, 1956, e Tiffin, 1972). O suprimento para as plantas é feito na maior parte na forma de MoO_4^{2-} , presente na solução do solo, via fluxo de massa (Gupta & Lipssett, 1981).

O Mo é facilmente liberado dos minerais primários pela intemperização; comparado com os outros micronutrientes, ele permanece relativamente móvel como molibdatos potencialmente solúveis. Entretanto, esses molibdatos são adsorvidos nas superfícies de minerais primários e da fração coloidal, fazendo com que a disponibilidade do Mo no solo seja dependente do pH. A correção do pH dos solos ácidos, através da calagem, aumenta a disponibilidade de molibdênio, justificando-se esta ocorrência com o mecanismo de troca dos ânions de molibdato (MoO_4^{2-}) por hidroxila (OH^-).

Segundo Murphy & Walsh (1972), Mo em pequenas quantidades tem sido usado para corrigir deficiências desse nutriente; essas aplicações, em diversas culturas, são realizadas no solo, via foliar ou no tratamento de sementes. Doses de 5 a 100g/ha de Mo são geralmente efetuadas como aplicações de solo para a maioria dos cultivos.

Muitos trabalhos indicam que o uso do calcário em solos ácidos elimina a resposta à fertilização com Mo. Rolt (1967) mostrou que o trevo-branco respondeu significativamente à aplicação de 70g/ha de Mo na presença de 0, 2,2 ou 4,5t/ha de calcário, em solo argiloso com pH original 4,8, mas não ocorreu resposta quando se adicionaram ao solo 9,0t/ha de calcário.

Vitti et al. (1984) observaram que a aplicação de produto contendo 10% de Mo na dose de 200g/ha em sementes de soja ocasionou aumentos significativos na produção de grãos em soja cultivada em latossolo vermelho-escuro com pH (H_2O) igual a 4,8. Também, Parker & Harris (1962) obtiveram acréscimos na produtividade de até 55%, quando aplicaram Mo às

sementes e cultivaram a soja na ausência de calagem. Neste trabalho também foi observado aumento no teor de nitrogênio das folhas e proteína nos grãos de soja quando as sementes foram tratadas com Mo.

Com o objetivo de determinar a influência do molibdênio, em função de diferentes níveis de pH do solo, na produtividade e no teor de proteína da soja, foram instalados dois experimentos em campo em solos do Estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em duas localidades paranaenses, Campo Mourão, em um latossolo roxo álico (LRa) (EMBRAPA, 1984) e Ponta Grossa, em um latossolo vermelho-escuro álico (LEa) (EMBRAPA, 1984).

No LRa, o calcário foi aplicado em 1977 em doses equivalentes a 0, 2, 4, 6, 8 e 10t/ha, em parcelas de 12 x 7m. Esse experimento inicialmente tinha o objetivo de determinar as doses de calcário de maior eficiência técnica e econômica na produtividade da soja. Em 1985/86, a parcela correspondente ao tratamento "calagem" foi dividida em duas, com dimensões de 6 x 7m, sendo uma correspondente ao tratamento zero de Mo e, outra, com a aplicação de 30g/ha desse elemento. Dessa forma, ficou estabelecido um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições em parcelas subdivididas.

No LEa o experimento foi instalado em 1986/87, com delineamento em blocos casualizados num esquema fatorial e quatro repetições. Os tratamentos se constituíram de seis doses de calcário equivalente a 0, 3, 6, 9, 12 e 15t/ha aplicados em parcelas de 6 x 5m, quatro meses antes da semeadura, sendo seis tratamentos com zero de Mo e seis com 30g/ha de Mo.

O Mo foi aplicado em ambos os experimentos na forma de molibdato de sódio ($Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$), em solução com açúcar a 10%, com a finalidade de promover aderência à semente, na proporção de 200ml da solução por 50kg de sementes junto com o inoculante.

Na instalação dos experimentos, os solos apresentavam valores de pH diferentes em função dos tratamentos com calagem. No LRa, o pH, medido em $CaCl_2$, variou de 4,2, correspondente à dose 0t/ha de calcário, a 5,4, na dose mais alta. Da mesma forma, no LEa o pH ficou entre 4,4 e 6,0.

Os nutrientes fósforo e potássio foram fornecidos aos experimentos através de adubação com formulados e, o nitrogênio, pela inoculação com *Rhizobium japonicum*. De amostras de solo coletadas nas parcelas entre linhas antes da semeadura, foram determinados os valores de pH em $CaCl_2$, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, utilizando KCl N como extrator e, para o K e P, o extrator Mehlich, conforme Vettori (1969). Os valores assim determinados encontram-se no quadro 1.

No experimento localizado em Campo Mourão, empregou-se o cultivar Paraná e, em Ponta Grossa, o FT-2, determinando-se os rendimentos de grãos e o teor de proteína em grãos de soja pelo método de Kjeldahl.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quadro 2 mostra o rendimento de grãos de soja nas duas localidades, em função dos tratamentos com calcário e molibdênio.

Em Campo Mourão (LRa) a soja, cultivar Paraná, respondeu de forma mais acentuada à calagem, quando não se utilizou o Mo, apresentando diferença de 755kg/ha entre os tratamentos 0 e 4t/ha de calcário; com a utilização do Mo, essa diferença foi de 465kg/ha. Esse fato evidencia que o Mo, nessa condição de solo, seria um elemento pouco disponível para a soja até determinado nível de calagem. A partir da dose 2,0t/ha de calcário, o Mo do solo já se encontraria em forma disponível para a cultura, sendo sua disponibilidade afetada pela condição de acidez natural do solo. Entretanto, é fundamental salientar que, na ausência de calagem, na dose 0 de Mo, a produção de soja foi apenas de 2.340kg/ha, enquanto, com a aplicação do Mo, a produção já partiu de 2.710kg/ha, ou seja, um aumento significativo de cerca de 400kg/ha de grãos.

Em Ponta Grossa (LEa), a soja respondeu de forma menos acentuada à calagem, tanto na ausência como na presença de Mo. Apenas até a dose equivalente a 3t/ha de calcário foram observados acréscimos significativos de rendimento em relação ao tratamento testemunha.

Resposta significativa na produção de grãos ao Mo, dentro de um mesmo nível de calagem, só ocorreu no tratamento correspondente a 0t/ha de calcário, com diferença de 477kg/ha. A utilização do cultivar FT-2, considerado como tolerante à acidez do solo, pode justificar esse comportamento, ou seja, a menor resposta da soja ao Mo pode estar associada à menor sensibilidade à acidez. Poucos trabalhos estudaram as diferentes respostas varietais em função do Mo. Brown et al. (1972) descrevem essa possibilidade, porém nos casos em que isso ocorreu, não houve investigação completa.

A análise de regressão feita entre o pH do solo, obtido em função das diferentes doses de calcário, medido em CaCl_2 , e o rendimento da soja no LRA de Campo Mourão, é mostrada na figura 1. Essa análise determinou um ajuste de pontos de modelo linear com coeficiente de determinação de 0,94 e 0,95 para tratamento com Mo e sem Mo respectivamente. A mesma análise, efetuada com os dados obtidos no LEa de Ponta Grossa encontra-se na figura 2. Ela determinou um ajuste de pontos do modelo quadrático com

Quadro 1. Características químicas do latossolo roxo álico (LRa) de Campo Mourão e latossolo vermelho-escuro álico (LEa) de Ponta Grossa (PR), em amostras obtidas de tratamentos sem calagem, mas com adubação fosfatada e potássica

Solo	pH em CaCl_2	Al	K	Ca	Mg	H + Al	Sat. Al	C	P
LRa	4,2	1,33	0,22	0,90	0,33	9,67	48,0	2,26	9,2
LEa	4,4	1,72	0,23	1,07	0,45	7,85	49,5	2,80	7,9

Quadro 2. Rendimento de grãos de soja em função de doses de calcário e molibdênio em duas localidades paranaenses, Campo Mourão – cultivar Paraná, e Ponta Grossa – cultivar FT-2

Calcário	Campo Mourão ⁽¹⁾		Calcário	Ponta Grossa ⁽²⁾	
	Dose de Mo ⁽³⁾ (g/ha)			Dose de Mo (g/ha)	
	0	30		0	30
t/ha	kg/ha		t/ha	kg/ha	
0	2.340dB ⁽⁴⁾	2.710bA	1	1.625bB	2.102bA
2	2.595cB	2.890bA	3	2.424aA	2.529aA
4	3.095bA	3.175abA	6	2.509aA	2.556aA
6	3.185abA	3.280aA	9	2.538aA	2.586aA
8	3.275abA	3.295aA	12	2.618aA	2.619aA
10	3.400aA	3.290aA	15	2.623aA	2.600aA
	C.V.Cal = 4,5%	C.V.Mo = 4,1%		C.V.Cal = 4,5%	C.V.Mo = 6,3%

⁽¹⁾ Cultivar Paraná. ⁽²⁾ Cultivar FT-2. ⁽³⁾ Molibdênio via semente na dose de 30 g/ha de Mo na forma de molibdato de sódio. ⁽⁴⁾ Médias seguidas de mesma letra minúscula (nas colunas) e maiúsculas (nas linhas) não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%

coeficiente de determinação de 0,93 tanto para o tratamento sem Mo como para o com Mo.

As análises de regressão determinadas mostraram que, no LRA (Figura 1), o Mo estaria mais disponível para a soja em pH maior que 4,7, medido em CaCl_2 , ou 5,3, medido em água. No LEa (Figura 2), as curvas assim ajustadas revelaram que o Mo estaria mais disponível para a soja em pH maior que 4,8, medido em CaCl_2 , ou 5,4, medido em água.

A influência do pH do solo na disponibilidade de Mo para as culturas pode ser entendida conforme Lindsay (1972), que, estimando solubilidade do MoO_4^{2-} a partir da reação:



encontrou a relação: $(\text{MoO}_4^{2-}) = 10^{-20,5}/(\text{H}^+)^2$

mostrando que a concentração de molibdato aumenta cem vezes para cada unidade de aumento do pH.

O aproveitamento do Mo em função da variação do pH do solo pela soja já foi estudado por diversos autores. Boswell & Anderson (1969) só encontraram resposta da soja ao Mo em pH (H_2O) menor que 5,9. Também Parker & Harris (1962) obtiveram acréscimo de produtividade de soja de até 1.123kg/ha (55%), usando Mo em sementes em solo com pH menor que 5,5.

Observou-se, também, uma variação no teor de proteína em grãos de soja em função do pH e Mo aplicado (Quadro 3). No LRA, o teor de proteína proveniente da soja tratada com Mo foi superior ao da soja não-tratada até o pH 4,3 e, no LEa, o teor de proteína de semente tratada com Mo foi superior ao da não-tratada até pH 4,8. Essa observação evidencia a importância do pH dos solos na disponibilidade de Mo necessário para o processo de fixação do nitrogênio através da simbiose de *Rhizobium* x leguminosas,

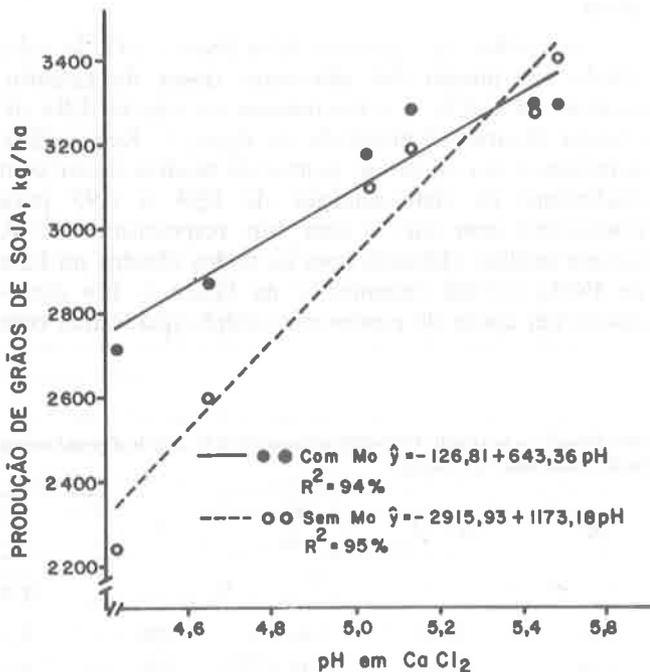


Figura 1. Relação entre a produtividade de soja, cultivar Paraná, e o pH do solo, com e sem molibdênio, em latossolo roxo álico de Campo Mourão (PR).

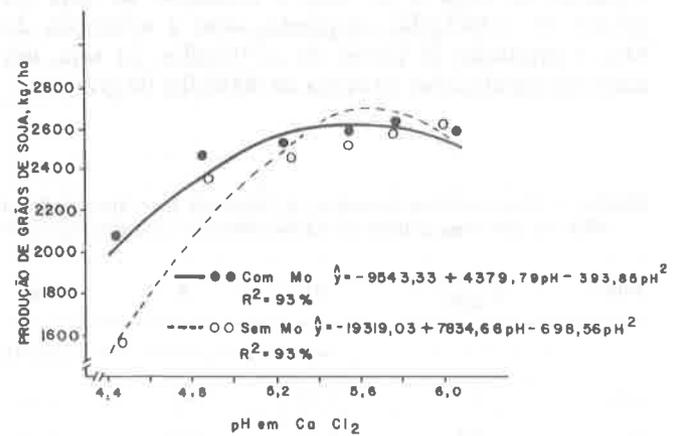


Figura 2. Relação entre a produtividade de soja, cultivar FT-2, e o pH do solo com e sem aplicação de molibdênio, em latossolo vermelho-escuro álico de Ponta Grossa (PR).

Quadro 3. Teor de proteína em soja, observado em duas localidades paranaenses em função de doses de calcário e de molibdênio⁽¹⁾

Campo Mourão (LRA)				Ponta Grossa (LEa)			
Calcário	Dose de Mo (g/ha)		pH ⁽²⁾	Calcário	Dose de Mo (g/ha)		pH
	0	30			0	30	
t/ha	%			t/ha	%		
0	40,8bB ⁽³⁾	44,2aA	4,2	0	35,2bB	41,4aA	4,4
2	41,3bB	44,3aA	4,3	3	39,1bB	41,8aA	4,8
4	44,1aA	44,6aA	4,6	6	40,2aA	39,7aA	5,3
6	42,8aA	44,8aA	4,8	9	41,4aA	40,9aA	5,6
8	42,6aA	44,7aA	5,0	12	41,0aA	41,4aA	5,8
10	42,5aA	44,7aA	5,4	15	40,0aA	40,7aA	6,0

⁽¹⁾ Molibdênio aplicado via semente na dose de 30g de Mo/ha, na forma de molibdato de sódio. ⁽²⁾ pH medido em CaCl_2 0,01 M. ⁽³⁾ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%

refletido pelo maior ou menor teor de proteína na soja. Segundo Gupta & Lipsett (1981), adições de Mo resultam em maior síntese da redutase do nitrato e, conseqüentemente, em maior atividade redutora.

CONCLUSÕES

1. O molibdênio natural dos solos estudados encontra-se mais disponível para a soja, acima de pH 4,8, medido em CaCl₂.

2. A aplicação de Mo proporcionou acréscimos no teor de proteína da soja nas situações de pH menor que 4,3 no LRA e menor que 4,8 no LEa.

AGRADECIMENTOS

Aos técnicos do Laboratório de Solos e Nutrição Mineral do CNPSo - EMBRAPA, Nelson Ávila Simão e Nestor Rioiti Miura, pela eficiência e responsabilidade nas determinações laboratoriais.

LITERATURA CITADA

- BOSWELL, F.C. & ANDERSON, O.E. Effect of time molybdenum application on soybean yield and on nitrogen, oil, and molybdenum contents. *Agron. J.*, Madison, 61:58-60, 1969.
- BROWN, J.C.; AMBLER, J.E.; CHANEY, R.L. FOY, C.D. Differential responses of plant genotypes to micronutrients. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. *Micronutrients in agriculture, Zn, Fe, Mo, Cu, B, Mn*. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.389-413.
- DAVIES, E.B. Factors affecting molybdenum availability in soils. *Soil Sci.*, Baltimore, 81:209-221, 1956.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Curitiba, EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. 414p. (Boletim de Pesquisa, 27)
- GUPTA, V.C. & LIPSETT, J. Molybdenum in soils, plants and animals. *Adv. Agron.*, New York, 34:73-115, 1981.
- LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. *Micronutrients in agriculture; Zn, Fe, Mo, Cu, B, Mn*. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.41-57.
- MURPHY, L.S. & WALSH, L.M. Corrections of micronutrient deficiencies with fertilizers. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L. eds. *Micronutrients in agriculture; Zn, Fe, Mo, Cu, B, Mn*. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.347-381.
- PARKER, M.B. & HARRIS, H.B. Soybean response to molybdenum and lime and the relationship between yield and chemical composition. *Agron. J.*, Madison, 54(6):480-483, 1962.
- PRICE, C.A.; CLARK, H.E. & FUNKHOUSER, E.A. Functions of micronutrients in plants. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. *Micronutrients in agriculture; Zn, Fe, Mo, Cu, B, Mn*. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.231-242.
- ROLT, W.F. Some effects of lime and molybdenum on the growth of white clover in Autea Clay. *New Zeal. J. Agr. Res.*, New York, 11:193-205, 1967.
- TIFFIN, L.O. Translocation of micronutrients in plants. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. *Micronutrients in agriculture; Zn, Fe, Mo, Cu, B, Mn*. Madison, Soil Science Society of America, 1972. p.199-229.
- VETTORI, L. Métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura - Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- VITTI, G.L.; FORNASIER, D.; PEDROSO, P.A.C. & CASTRO, R.S.A. Fertilizante com molibdênio e cobalto na cultura da soja. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 8:349-352, 1984.