

BALANÇO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO E DESENVOLVIMENTO DO MILHO EM SOLOS SOB CERRADO¹

JOSÉ EURÍPEDES DA SILVA²

RESUMO - Variações no balanço de Ca:Mg prejudicam o desenvolvimento de raízes e a parte aérea das plantas. Apesar de serem requeridos em pequenas quantidades, a correção da acidez e do alumínio tóxico através da calagem incorpora ao solo quantidades elevadas de cálcio e magnésio, cuja proporção, dependendo da origem do material calcário, altera substancialmente o equilíbrio entre os dois nutrientes e entre os outros cátions do solo. Objetivando estabelecer um nível adequado de cálcio e magnésio que permita um bom desenvolvimento de raízes e parte aérea, foram estudadas quatro diferentes relações Ca:Mg (100:0, 75:25, 50:50 e 0:100; ou 4:0, 3:1, 2:2 e 0:4), em combinação com níveis crescentes de fósforo e de potássio em iguais condições de saturação de alumínio entre os tratamentos. O experimento foi realizado em casa de vegetação, utilizando-se o milho (*Zea mays* L.) como planta-teste em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso e em Latossolo Vermelho-Amarelo, argilo-arenoso. Os dois solos apresentaram um comportamento semelhante quanto ao equilíbrio final de Ca:Mg. As alterações nesse equilíbrio foram mais críticas à medida que o balanço de Ca:Mg tornava-se desfavorável ao cálcio, produzindo deficiência generalizada do nutriente no solo, manifestada por um reduzido crescimento de raízes e parte aérea. Em contrapartida, o equilíbrio verificado a relações de Ca:Mg mais elevadas não foi tão crítico para o crescimento das plantas, sendo que até os 40 dias, não havia sido constatado qualquer sintoma de deficiência de magnésio. A importância da maior concentração de cálcio no solo foi evidenciada em todos os níveis de fósforo e potássio, sendo que o melhor equilíbrio entre os cátions foi obtido a uma relação Ca:Mg de 3:1, com uma saturação de cálcio de 63%, no LVE, e 70%, no LVA.

Termos para indexação: acidez, alumínio, toxidez, relação Ca:Mg.

CALCIUM AND MAGNESIUM BALANCE IN "CERRADO" SOILS AND CORN DEVELOPMENT

ABSTRACT - Four Ca:Mg ratios were studied in two "cerrado" soils to find a good balance in soil for root and shoot growth. The soils, DRL (Dark-Red Latosol) and RYL (Red-Yellow Latosol) were limed to equal aluminium saturation with different Ca:Mg ratios (4:0, 3:1, 2:2 and 0:4) in combination with various levels of phosphorus and potassium. The experiment was carried out in a greenhouse with corn as the test plant. There was no difference between the behavior of two soils and the effect of the Ca:Mg ratio was the same for all phosphorus and potassium levels. Root and shoot growth decreased drastically as the Ca:Mg ratio decreased from 3:1 to 0:4 showing severe symptoms of Ca deficiency, but no Mg deficiency was observed in the 0:4 treatment during the period of the experiment (40 days). The highest yield was obtained at the 3:1 Ca:Mg ratio with 63 and 70% Ca saturation in DRL and RYL, respectively.

Index terms: acidity, aluminium, toxicity, Ca:Mg ratios.

INTRODUÇÃO

Os solos sob cerrado apresentam uma baixa disponibilidade natural de cálcio e magnésio e um elevado teor de alumínio tóxico (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1976), o que limita o crescimento e desenvolvimento de raízes e parte aérea das plantas (Jackson & Evans 1962, Rios & Pearson 1964 e Howard & Adams 1965).

De modo geral, as plantas exigem um baixo teor de cálcio e magnésio para a realização de suas fun-

ções fisiológicas se, na solução do solo, outros nutrientes essenciais estiverem em equilíbrio, na ausência de íons tóxicos (Wallace 1966 e Lund 1970). Nessas condições, o equilíbrio entre as concentrações de cálcio e magnésio tem mostrado ser de maior importância para a nutrição, crescimento e desenvolvimento das plantas do que as concentrações isoladas desses elementos. É provável que uma das razões seja o fato de que o cálcio e o magnésio, além de interferirem na absorção de grande parte dos outros nutrientes, interagem nos seus processos de absorção e nutrição pelas plantas (Jacoby 1961, Doll & Hossner 1964, Salmon 1964 e Mostafá & Ulrich 1976).

As interações entre cálcio e magnésio foram estudadas por Mostafá & Ulrich (1976) usando be-

¹ Aceito para publicação em 6 de fevereiro de 1980. Trabalho apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Manaus, julho de 1979.

² Eng.^o Agr.^o M.Sc., Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) - EMBRAPA, Caixa Postal, 70.0023 - CEP 73.300 - Planaltina, DF.

terrabá açucareira cultivada em solução nutritiva, tendo sido observado que, a uma relação Ca:Mg 0:33, o Mg interferiu na absorção da Ca, induzindo sintomas de deficiência, em condições de altas e baixas concentrações dos elementos. A um maior valor da relação Ca:Mg, o Ca interferiu na absorção do Mg, mas não houve manifestação dos sintomas de deficiência deste nutriente.

Resultados semelhantes foram obtidos por Carter & Webster (1979), os quais, trabalhando com aveia em solução nutritiva e depois em "solos solonéticos", concluíram que os efeitos das relações Mg:Ca e saturação de cálcio foram mais importantes que as concentrações isoladas de cálcio na solução nutritiva e no solo, tendo sido observada uma redução no crescimento da planta (raízes e parte aérea), quando a relação Mg:Ca foi maior do que 1:0, e a saturação de cálcio, menor do que 15%.

A calagem, prática usual para neutralização do alumínio tóxico, supre, ao mesmo tempo, o solo de Ca e Mg em quantidades superiores às necessidades das plantas. Se bem que, nessas condições, a deficiência de cálcio seja pouco provável de ser observada no campo (Howard & Adams 1965), a utilização de materiais corretivos com teores variáveis de cálcio e magnésio produz um desequilíbrio entre os cátions no solo, prejudicando os processos de nutrição e crescimento das plantas.

Apesar de o suprimento de cálcio e magnésio estar vinculado à aplicação do calcário, não há muitas informações sobre a quantificação do equilíbrio entre esses cátions em solos sob cerrado. Assim, objetivou-se estudar o comportamento do sistema radicular e parte aérea em diferentes condições do balanço entre aqueles cátions, após a correção do alumínio tóxico.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dois solos típicos do cerrado: Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, fase cerrado, e um Latossolo Vermelho-Amarelo argilo-arenoso. Na Tabela 1, estão representadas as características químicas dos solos antes da aplicação dos tratamentos.

O experimento foi realizado no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, em casa de vegetação, com condições semi-controladas de temperatura (20 - 20°C) e umidade relativa (65 - 85%). Utilizaram-se vasos contendo 2 kg de solo, incorporando-se carbonatos de cálcio e magnésio como corretivos e fontes desses dois nutrientes, to-

TABELA 1. Características químicas iniciais da camada de 0-15 cm do Latossolo Vermelho Escuro (LVE) e do Latossolo Vermelho Amarelo (LVA).

Solo	pH(H ₂ O)	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	P	Sat. Al
		—meq/100 cc—			ppm	%	
LVE	4,30	2,15	0,19	0,15	0,051	1,0	84,20
LVA	4,90	0,50	0,11	0,08	0,071	0,5	65,70

talizando 4 mEq/100 cc de solo em todos os tratamentos para o LVE e 2,6 mEq/100 cc para os tratamentos do LVA. Para ambos os solos, as quantidades dos dois carbonatos foram calculadas para as seguintes proporções entre cálcio e magnésio: 100:0, 75:25, 50:50 e 0:100, correspondendo, respectivamente, aos Tratamentos 1, 2, 3 e 4.

Os solos foram incubados com a mistura de corretivos durante 45 dias, findos os quais, procedeu-se a uma amostragem de solo para análise e aplicação dos outros tratamentos, combinando-se cada relação Ca:Mg com quatro níveis de P₂O₅ (0, 75, 150 e 300 ppm) e três níveis de K₂O (0, 50 e 100 ppm).

Passados quinze dias, foram semeadas dez sementes de milho Cargill 111-X em cada vaso; após a emergência, procedeu-se a um desbaste, mantendo-se cinco plantas por vaso. Através da irrigação, controlada por peso e volume da água consumida em amostragens realizadas nos quatro tratamentos com diferentes relações Ca:Mg, manteve-se um teor de umidade no solo, suficiente para impedir o déficit hídrico durante o crescimento. Aplicaram-se 60 kg/ha de N, parceladamente, aos dez e aos 20 dias após a emergência, usando-se uréia como fonte do nutriente.

Quarenta dias após a emergência, as plantas foram colhidas separando-se a parte aérea e o sistema radicular. O material foi secado em estufa a 65°C, por 72 horas. Determinou-se o peso da matéria seca e procedeu-se à análise de P, Ca, Mg e K nos tecidos, usando-se a digestão por via úmida com ácido sulfúrico e água oxigenada e os métodos: colorimétrico (P), absorção atômica (Ca e Mg), e fotometria de chama (K).

Amostras de solo de cada vaso foram analisadas para determinação das características químicas finais (Vettori 1969).

Utilizou-se um delineamento estatístico fatorial 4 x 4 x 3, completo, inteiramente casualizado, com três repetições para cada solo. As análises de variância foram feitas para peso de matéria seca, teor de cálcio, magnésio, fósforo e potássio nos tecidos em relação às variáveis: solo, relação Ca:Mg, fósforo, potássio, e às interações. Aplicou-se o teste de Duncan para separação de médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As quantidades de cálcio e magnésio aplicadas foram calculadas para neutralizar o alumínio e su-

prir os solos daqueles dois nutrientes, de maneira que fosse possível obter as mesmas condições de saturação de alumínio para os dois solos. Observou-se, entretanto, uma diferença entre eles para essa característica, uma vez que no LVE, a porcentagem de saturação de alumínio foi maior do que no LVA, como mostram os resultados da Tabela 2. Isto, contudo, não constituiu problema, uma vez que a restrição ao crescimento e produção do milho inicia-se a uma saturação de alumínio acima de 25% (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1976).

Dentro de cada grupo de solo, observou-se um ligeiro aumento do pH e uma diminuição do alumínio (Tabela 2), com o aumento da proporção de carbonato de magnésio na mistura do corretivo. As diferenças, entretanto, não foram significativas, e, de acordo com Gallo & Catani (1954), podem ser atribuídas à maior solubilidade do carbonato de magnésio.

Os dois solos apresentaram reações semelhantes quanto ao balanço final de Ca:Mg, e, mesmo havendo diferença na produção de matéria seca entre eles (Tabela 3), os valores das relações Ca:Mg e saturação de cálcio mostram uma mesma tendência para o equilíbrio desses cátions no solo, conforme pode ser visto pelos dados da Tabela 4.

Tendo sido observado que pH, alumínio e saturação de alumínio não se constituíram em restrições ao crescimento de raízes e parte aérea, as diferenças em rendimento de matéria seca entre os tratamentos com corretivos foram atribuídas às variações no equilíbrio Ca:Mg ou à saturação de Ca.

As respostas em rendimento de matéria seca apresentaram o mesmo padrão de comportamento, em todos os níveis de fósforo e potássio, e por isso, os dados das tabelas de resultado representam as médias de todos os tratamentos com P e K, dentro de cada relação Ca:Mg.

A análise dos dados da Tabela 4, pela comparação dos rendimentos em matéria seca obtidos nos tratamentos 75:25 (Ca:Mg 3:1 nos dois solos) e 50:50 (Ca:Mg 1:1 nos dois solos), com os obtidos nos tratamentos 100:0 (Ca:Mg 15:1 no LVE e 9:1 no LVA) e 0:100 (relação Ca:Mg 0,05:1 nos dois solos), torna patente a importância do balanço Ca:Mg no crescimento de raízes e parte aérea.

Nos dois primeiros casos, o decréscimo na produção de matéria seca, observado quando se passa do equilíbrio 3:1 para 1:1, já mostra o efeito da redução da concentração do cálcio no balanço entre os cátions, e, nos dois últimos, a omissão de um

TABELA 3. Peso da matéria seca de raízes e parte aérea do milho no solo LVE e LVA. Médias de 144 vasos.

Solo	Peso de matéria seca (g/vaso)	
	Raízes*	Parte aérea**
LVE	9,517 a	13,037 a
LVA	8,721 b	10,180 b

*F = 11,95

*DMS = 0,139

**F = 757,93

**DMS = 0,063

Valores seguidos por letras diferentes, diferem estatisticamente entre si, ao nível de 1%.

TABELA 2. Características químicas da camada de 0-15 cm do Latossolo Vermelho Escuro (LVE) e do Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), após a incubação com material corretivo (Média de 36 repetições).

Solo	Tratamento (Ca:Mg)	pH	Al	Ca	Mg	Sat. Al
			_____	mEq/100 ml	_____	%
LVE	100:0	5,65	0,70	3,85	0,26	14,4
	75:25	5,70	0,68	2,95	1,03	14,4
	50:50	5,72	0,64	1,96	1,98	13,8
	0:100	5,75	0,61	0,22	3,98	12,5
LVA	100:0	5,73	0,14	2,30	0,25	5,1
	75:25	5,78	0,12	1,79	0,57	4,1
	50:50	5,84	0,10	1,28	1,20	3,7
	0:100	5,88	0,09	0,15	2,26	3,5

TABELA 4. Resultados de matéria seca de raízes e parte aérea do milho, no LVE e LVA, para as diferentes situações do balanço Ca:Mg. Médias de 36 repetições.

Solo	Ca:Mg		Saturação de Cálcio (%)	Matéria seca (g/vaso)	
	Adicionado	No solo		Raízes*	Parte aérea**
LVE	75:25	2,86	62,6	19,0266 a	12,9025 a
	50:50	0,99	43,2	14,9124 b	11,6192 b
	100:0	14,80	79,2	14,6475 b	10,9116 b
	0:100	0,05	4,5	4,0625 c	2,6349 c
LVA	75:25	3,14	70,1	17,2717 a	12,1725 a
	50:50	1,06	48,3	14,9325 b	10,9625 b
	100:0	9,20	83,3	13,5692 c	9,4017 c
	0:100	0,06	5,8	4,1475 d	2,3508 d

*F = 386,7

*DMS = 0,378

**F = 2,523,4

**DMS = 0,8378

Valores seguidos por letras diferentes, diferem estatisticamente entre si, ao nível de 1%.

ou outro nutriente no tratamento produz, no solo, relações Ca:Mg muito altas ou muito baixas, prejudicando o crescimento das plantas.

A comparação entre estes dois últimos tratamentos mostrou que uma relação Ca:Mg mais elevada, apesar do desequilíbrio causado, foi menos prejudicial do que uma baixa Ca:Mg. No tratamento 0:1, observou-se um reduzido crescimento das raízes e parte aérea; o sistema radicular apresentou-se engrossado e com poucas ramificações laterais, sintomas esses semelhantes aos provocados pela toxidez de alumínio em solos ácidos (Salinas & Sanches 1975). De acordo com Rios & Pearson (1964), certos fons podem afetar a morfologia do sistema radicular, mas nenhum processo de crescimento pode ocorrer na ausência do cálcio. Houve, portanto, uma deficiência generalizada desse nutriente originado pela extrema pobreza dos solos e ampliada pelo desequilíbrio Ca:Mg produzido pelo tratamento (Tabela 4).

Observou-se, no tratamento 100:0, onde o magnésio não foi adicionado, um rendimento de matéria seca praticamente igual ao do tratamento 50:50, onde cálcio e magnésio foram adicionados na mesma proporção. Os valores da relação Ca:Mg foram bastante amplos (15:1 no LVE e 9:1 no LVA), pressupondo uma deficiência de magnésio. Entretanto, até 40 dias (tempo de duração do experimento), não se observou nenhum sintoma de deficiência desse elemento nas plantas. Pode ter

ocorrido que as necessidades da planta tenham sido atendidas, até aquele período, pela reserva da semente e pelo pequeno suprimento do solo, já que a planta exige pequenas quantidades de cálcio e magnésio, conforme observações de Wallace (1966). Sabe-se, entretanto, que a deficiência de magnésio em solos de cerrado produz sintomas foliares típicos, conforme foi observado em soja (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1979). Pode ser que, em estádios posteriores, aquelas condições do equilíbrio Ca:Mg pudessem causar alguns sintomas de deficiência de nutriente. Os dados de análises de tecidos revelaram que, até a época da colheita, as plantas do tratamento 100:0 apresentavam um teor de 0,30% de magnésio (Tabela 5), suficientes para a manutenção das funções

TABELA 5. Teores de cálcio e magnésio nos tecidos das plantas, aos 40 dias.*

Tratamento	Cálcio (%)		Magnésio (%)	
	LVE	LVA	LVE	LVA
100:0	1,39	1,47	0,32	0,29
75:25	1,03	1,04	0,59	0,69
50:50	0,71	0,74	0,96	0,98
0:100	0,04	0,01	1,51	0,87

*A faixa de suficiência dos nutrientes em plantas com idade de 30 a 45 dias é, de 0,9 - 1,6% para o cálcio e, 0,3 - 0,8% para o magnésio (Jones Junior & Eck, 1973).

Outras correlações podem ser vistas na Tabela 6.

CONCLUSÕES

Os níveis médios de Cu no solo foram baixos em cinco fazendas estudadas. Das seis fazendas, duas apresentaram níveis médios adequados de Cu nas forrageiras, e quatro mostraram níveis médios deficientes para bovinos em pastejo. Entretanto, os animais apresentaram, em todas as fazendas, teores médios normais de Cu no fígado, devido à suplementação mineral que recebiam diariamente.

Os teores médios de Cu no solo, na estação seca foram maiores do que na estação chuvosa. Nas forrageiras, os níveis de Cu foram maiores na estação chuvosa, quando as plantas apresentavam-se ainda verdes e novas. Na estação seca a concentração de Cu nas forrageiras decresceu, indicando uma redução da concentração de Cu nas forrageiras, com o aumento da idade das plantas. Embora os animais estivessem recebendo suplementos minerais comerciais, em todas as fazendas, o nível médio de Cu nos fígados foi mais baixo durante a época chuvosa, justamente quando as forrageiras apresentavam níveis mais altos deste elemento, o que sugere maior exigência deste mineral no período chuvoso, quando os animais apresentam maior desenvolvimento produtivo. O nível médio de Cu no fígado foi mais alto durante a época seca, quando as forrageiras apresentavam níveis mais baixos deste elemento, o que sugere maior exigência deste mineral no período chuvoso.

Os teores médios de Mo no solo foram considerados altos. Os níveis médios de Mo nas forrageiras foram normais em cinco fazendas, sendo considerado tóxico o nível médio da fazenda 3. Entretanto, os teores médios de Mo nos fígados dos animais apresentaram-se normais, mesmo na fazenda 3.

REFERÊNCIAS

CHAPMAN, Junior, H.L. & KIDDER, R.W. Copper and cobalt for beef cattle. Fla. Agr. Exp. Sta. Bull., 674, 1966.

COMMITTEE ON MINERAL NUTRITION. Tracing and treating mineral disorders in dairy cattle. Wageningen, Centre for Agriculture Publishing and Documentation, 1973.

FERNANDES, N.S. & SANTIAGO, A.M.H. Níveis de cobre em pastagens do Estado de Mato Grosso. O Biológico, 35: 358, 1972.

FICK, K.R.; MILLER, S.M.; FUNK, J.D.; MCDOWELL, L.R. & HOUSER, R.H. Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. University of Florida, Gainesville, 1976, 1v.

GAVILLON, O. & QUADROS, A.T.F. O cobre, o molibdênio e o sulfato inorgânico em pastagens nativas do Rio Grande do Sul. Anuário Téc. Inst. de Pesq. "Francisco Osório", Porto Alegre, 3: 423, 1966.

GIORDANO, P.M.; KOONTZ, H.V. & RUBINS, E.J. C^{14} distribution in photosynthesis of tomato as influenced by substrate copper and molybdenum level and nitrogen sources. Plant. Soil. 24: 437, 1966.

HOROWITZ, A. & DANTAS, H.S. The geochemistry of minor elements in Pernambuco soils. III. Copper in the zone litoral mata. Pesq. agropec. bras., Sér. Agron. Rio de Janeiro, 8: 169, 1973.

MACKAY, D.C.; CHIPMAN, E.W. & GUPTA, U.C. Copper and molybdenum of crops grown on acid sphagnum peak soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 30: 755, 1966.

MENDES, M.O. Mineral status of beef cattle in northern part of Mato Grosso, Brazil, as indicated by age, season, and sampling technique. Gainesville, University of Florida, 1977. 236 p. Tese Doutorado.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, Washington, EUA. Nutrient requirements of beef cattle, 5.ed. Washington, National Academic of Science, 1976. (Nutrient Requirement of Domestic Animals, 4)

SOUSA, J.C. Interrelationships among mineral levels in soil forage, and animal tissues on ranches in northern Mato Grosso, Brazil. Gainesville, University of Florida, 1978. 277 p. Tese Mestrado.

_____; CONRAD, J.H.; MCDOWELL, L.R. & BLUE, W.G. Interrelações entre minerais no solo, forrageiras e tecido animal, em fazendas de gado de corte no norte de Mato Grosso. 1. Cálcio e fósforo. Pesq. agropec. bras., Brasília, 14(4): 387, 1979.

THORNTON, I.; KERSHAW, G.F. & DAVIES, M.D. An investigation into copper deficiency in cattle in the Southern Pennines. J. Agric. Sci., Camb. 78: 165, 1972a.

_____. An investigation into copper deficiency in cattle in the Southern Pennines. I. Identification of suspect areas using geochemical reconnaissance followed by blood copper surveys. J. Agric. Sci., Camb. 78: 157, 1972b.

UNDERWOOD, E.J. Trace elements in human and animal nutrition. 4.ed. Academic Press, New York, 1977.