

RESPOSTAS À APLICAÇÃO DE DIFERENTES MISTURAS DE CALCÁRIO E GESSO EM SOLOS. II. CRESCIMENTO DE RAÍZES, ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E PRODUTIVIDADE DA SOJA¹

Orlando Carlos Martins²

Roberto Ferreira de Novais³

Victor Hugo Alvarez V.³

Nairam Félix de Barros³

Antonio Carlos Ribeiro³

1. INTRODUÇÃO

Concentrações tóxicas de Al no solo, abaixo da camada corrigida pela calagem, podem inibir o crescimento radicular de plantas (5, 30, 31) e também limitar seriamente a produtividade quando ocorrem períodos de veranico durante o seu crescimento e desenvolvimento.

A restrição ao crescimento radicular em solos ácidos está associada à presença de Al em quantidades elevadas na solução do solo, sendo a atividade do alumínio o fator que melhor se correlaciona com o prejuízo causado ao crescimento das raízes (24).

O cálcio absorvido da camada superficial do solo corrigido ou presente na parte aérea das plantas não é translocado para as extremidades

¹ Parte da tese do primeiro autor para obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa.

Aceito para publicação em 05.06.1998.

² Bairro Bosque Acamari, Casa 125, 36570-000 Viçosa, MG.

³ Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. 36571-000 Viçosa, MG. Bolsista do CNPq.

das raízes em crescimento (20), sendo essencial a presença de uma concentração mínima desse nutriente no ambiente radicular, para que o crescimento das raízes seja contínuo (14, 28, 29, 32).

Vários trabalhos têm mostrado o benefício ocasionado pela correção da acidez do subsolo com calcário ao crescimento radicular e à produção de várias culturas (1, 2, 5, 9, 12, 13, 14, 26, 35), salientando-se, principalmente, o aumento na capacidade de exploração de água e de nutrientes do subsolo.

A incorporação de cálcio a profundidades maiores que aquela normalmente utilizada na aração é prática onerosa e de difícil execução. A aplicação de gesso na superfície do solo tem sido proposta como uma alternativa para solucionar esse problema, pois a lixiviação do cálcio provoca aumento de sua concentração e decréscimo na saturação de alumínio do subsolo, facilitando o crescimento das raízes nessas camadas (5, 10, 12, 25, 32, 35).

Outro aspecto relativo à dinâmica do gesso no solo foi constatado por OLSEN e WATANABE (23), que, trabalhando com sorgo em seis diferentes solos, observaram aumento na absorção de Fe, Mn e Zn com a aplicação de gesso no solo, sem que tivesse ocorrido decréscimo significativo no pH. Uma possível explicação, sugerida pelos autores, seria a formação do par iônico entre estes cátions e o sulfato, diminuindo a atividade desses elementos em solução, favorecendo, assim, o deslocamento do equilíbrio no solo, liberando mais íons (Fe, Mn e Zn) para a solução e permitindo maior absorção pelas plantas. Deficiência de manganês em soja foi corrigida com a aplicação do equivalente a 2,0 t/ha de gesso (22).

O efeito benéfico da aplicação de gesso como fonte de enxofre tem sido constatado em várias culturas, principalmente quando cultivadas em solos da região dos cerrados, com baixo teor de matéria orgânica ou em áreas nas quais, freqüentemente, usam-se adubos concentrados, livres de enxofre (37). McCLUNG (19), trabalhando com vários solos do Estado de São Paulo, obteve boas respostas à aplicação de enxofre em milho, concluindo que 20 mg dm⁻³ de S como CaSO₄ foram suficientes para proporcionar a produção máxima na maioria dos solos. A aplicação de gesso na cultura da soja, em pequenas quantidades, com o objetivo de fornecer enxofre para as plantas (100 kg/ha de gesso), tem mostrado bons resultados (17, 18, 21).

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso sobre a produtividade de grãos, sobre o crescimento radicular em profundidade no perfil do solo e sobre a disponibilidade de nutrientes e de Al para a cultura da soja.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos que constituem o presente estudo foram conduzidos em uma região de solos ácidos, originalmente sob vegetação de cerrados, classificados como Latossolo-Roxo álico, localizados no município de Ponta Porã (MS).

Selecionaram-se quatro áreas cultivadas com soja há mais ou menos dez anos, pertencentes à Fazenda Itamarati (Quadro 1).

QUADRO 1 - Resultados de análises químicas e físicas de amostras dos solos das áreas experimentais, coletadas nas parcelas testemunhas, após o cultivo de soja do ano de 1985

Análise	Profundidade Amostra (cm)	Local			
		Antena	Tajhire	Balde	Guabiroba
pH em H ₂ O (1:2,5)	0-15	5,1	4,8	5,4	5,1
	15-30	4,9	4,7	5,1	4,9
	30-45	4,7	4,6	4,7	4,5
	45-60	4,7	4,5	4,5	4,7
Al ³⁺ (cmol _c .dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-15	0,7	2,1	0,2	1,1
	15-30	1,0	2,0	0,5	1,4
	30-45	1,6	2,1	1,2	1,6
	45-60	1,5	1,9	1,2	1,6
H + Al (cmol _c .dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-15	7,7	8,7	6,0	8,8
	15-30	7,4	9,0	6,6	8,5
	30-45	7,4	7,4	7,0	7,9
	45-60	6,6	7,4	6,0	7,0
Ca ²⁺ (mol _c .dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-15	2,43	1,09	3,54	2,91
	15-30	1,65	1,09	2,20	1,90
	30-45	0,87	0,54	0,98	0,55
	45-60	0,98	0,48	0,65	0,83
Mg ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³) ⁽¹⁾	0-15	0,91	0,60	1,31	0,78
	15-30	0,70	0,60	0,94	0,57
	30-45	0,36	0,24	0,45	0,19
	45-60	0,33	0,24	0,30	0,44
K ⁺ (cmol _c .dm ⁻³) ⁽³⁾	0-15	0,30	0,31	0,37	0,31
	15-30	0,18	0,30	0,17	0,19
	30-45	0,12	0,16	0,13	0,13
	45-60	0,13	0,11	0,08	0,09
Saturação por Bases (%)	0-15	32,1	18,7	46,5	31,2
	15-30	25,5	18,1	33,4	23,8
	30-45	15,4	11,3	18,2	10,0
	45-60	17,9	10,1	14,6	16,3
P (mg dm ³) ⁽³⁾	0-15	8,2	10,8	6,6	18,3
	15-30	3,9	8,0	3,8	9,8
	30-45	1,8	2,8	1,8	4,2
	45-60	2,3	1,8	1,0	2,6
S (mg.dm ³) ⁽⁴⁾	0-15	2,5	1,8	1,9	1,7
	15-30	4,3	2,2	2,0	2,5
	30-45	3,1	2,8	1,7	2,2

Continua...

QUADRO 1 - Continuação

		1,6	1,9	1,6	1,7
	0-15	2,18	2,34	2,14	2,69
Carbono Orgânico (%) ⁽⁵⁾	15-30	1,87	2,07	2,07	2,22
	30-45	1,56	1,60	1,60	2,10
	45-60	1,68	1,40	1,25	1,75
	0-20	8	7	4	5
Areia Grossa (%)	0-20	8	7	4	5
Areia Fina (%)	0-20	16	13	16	12
Silte (%)	0-20	19	19	24	25
Argila (%) ⁽⁶⁾	0-20	57	61	56	58
Equiv. de Umidade (%) ⁽⁷⁾	0-20	29,2	29,2	27,8	29,6
Capac. de Campo (%) ⁽⁸⁾	0-20	26,4	28,8	28,6	30,3

(1) Extrator: KCl 1 mol L⁻¹ (7); (2) Extrator: Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 (7); (3) Extrator: Mehlich-1 (7); (4) Extrator: 500 mgL⁻¹ na forma de Ca(H₂PO₄)₂.H₂O em HOAc 2 mol L⁻¹ (4); (5) Método de Walkley-Black (7); (6) Método da pipeta (8); (8) Método da coluna (11).

Os experimentos, instalados nos locais denominados Balde e Guabiroba, foram conduzidos sob sistema de irrigação suplementar com pivô central e, nos locais Antena e Tajhire, sem irrigação.

Foram utilizados, como material corretivo, calcário da região, com 85% de PRNT, com 44% de CaO e 8% de MgO, e gesso agrícola, com 16% de S e 28% de CaO. Os tratamentos foram constituídos por misturas percentuais de calcário (100, 90, 80, 67 e 50%) e de gesso (0, 10, 20, 33 e 50%, respectivamente), em doses de 3,0 e 6,0 t/ha, mais um tratamento com 1,0t/ha de gesso e uma testemunha. Para elevar a saturação por bases do solo para 60% (Quadro 1), são necessárias 3,95 t/ha do calcário. Portanto, as doses de 3 e de 6 t/ha testadas, constituídas, na maioria dos casos, de misturas de calcário mais gesso, cobrem aquela dose que comercialmente seria recomendada. Foi utilizada a dose de 1 t/ha de gesso, aplicada isoladamente, para ser comparada com a mesma dose de gesso juntamente com o calcário na dose de 3 t/ha (33% de gesso). Os corretivos foram aplicados uniformemente, um de cada vez, e incorporados com grade aradora. Os tratamentos aplicados em novembro de 1985, em quatro repetições, foram dispostos no campo, segundo o delineamento em blocos casualizados. Os cultivos de soja e de trigo que se sucederam de 1985 a 1988 foram conduzidos nas mesmas parcelas experimentais.

Os dados referentes à produção de grãos de soja foram provenientes dos quatro locais citados para o cultivo de 1985. Para o cultivo de 1986 foram eliminados os locais irrigados, permanecendo os locais Antena e Tajhire. No cultivo de 1987, foi eliminado o local Tajhire, permanecendo

apenas o local Antena, no qual foram também realizadas amostragens de folhas e de raízes das plantas de soja.

Para o cultivo da soja em 1985, o preparo do solo constituiu-se de uma gradagem profunda (± 20 cm), uma média e outra superficial, com grades do tipo aradora, destorroadora e niveladora, respectivamente. Os quatro experimentos foram semeados em 31/12/85, com o cultivar Doko, usando-se uma adubação no sulco de plantio com 80 kg/ha de P_2O_5 e 60 kg/ha de K_2O nas formas de superfosfato triplo e cloreto de potássio. A adubação PK adotada foi a mesma utilizada comercialmente nos talhões onde os experimentos se encontravam, critério também adotado nos anos seguintes. As parcelas receberam sete fileiras de soja com 7,0 m de comprimento, espaçadas de 0,45 m. Por ocasião da colheita, foram eliminadas as quatro fileiras laterais e 1,0 m das extremidades de cada fileira, ficando a área útil da parcela com 6,75 m² para avaliação da produção de grãos.

Para o cultivo da soja em 1986, os locais Antena e Tajhire foram semeados com o cultivar Doko, em 03/01/87 e 09/01/87, respectivamente. Não foi aplicada adubação, e as outras práticas utilizadas foram iguais às do cultivo de 1985.

No ano agrícola de 1987, a soja foi cultivada apenas no local denominado Antena. O plantio foi efetuado em 23/12/87, com o cultivar UFV/ITM-1. A adubação foi aplicada no sulco de plantio, utilizando-se 90 kg/ha de P_2O_5 , na forma de superfosfato triplo, e 45 kg/ha de K_2O , na forma de cloreto de potássio. A cultura foi implantada e conduzida de maneira semelhante à utilizada nos anos anteriores, e, por ocasião do florescimento pleno, foi coletado o primeiro trifólio, completamente desenvolvido a partir do ápice, de trinta plantas por parcela, segundo indicação feita por JONES Jr. e STEYN (15), para serem efetuadas as análises foliares. Na fase final de enchimento de grãos, foi amostrado o solo e o sistema radicular até a profundidade de 60 cm. Nessa amostragem, foram coletadas 12 subamostras com trado do tipo caneco com diâmetro de 7 cm, a cada 15 cm de profundidade. Após a uniformização dos 7 dm³ de solo coletados em cada amostra, determinou-se o comprimento de raízes no volume de solo restante.

As amostras foliares, após secas em estufa de ventilação forçada (temperatura de 70-75°C), por 72 horas, foram moídas, homogeneizadas e mineralizadas por digestão nítrico-perclórica. Nos extratos foram determinados os teores de Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu por espectrofotometria de absorção atômica, K por fotometria de chama, S por turbidimetria (6); e Al, pelo método do aluminon (33).

As raízes foram separadas do solo por meio de agitação em um recipiente com água, de tal modo a desestruturar o solo, que se sedimentava ao fundo, deixando as raízes em suspensão. Após a passagem do sobrenadante por peneira, as raízes foram coletadas, separadas dos demais detritos, e lavadas, determinando-se em seguida o seu comprimento pelo método da intersecção das linhas (36).

Foram efetuadas análises de variância dos dados de análise de solo e de raízes, para cada profundidade. A produção de grãos de soja foi analisada, separadamente, para cada local e ano de cultivo.

Os graus de liberdade relativos aos tratamentos foram desdobrados para o cálculo de contrastes e, em modelos matemáticos, para todos os fatores analisados, tendo como variável independente a percentagem de gesso nas misturas corretivas adicionadas ao solo, nas doses de 3,0 e 6,0 t/ha. Os componentes de cada modelo foram testados até o nível de significância de 10% pelo teste F, com base no quadrado médio do erro experimental.

Foram obtidos os coeficientes de correlação linear simples entre a produção de grãos de soja do cultivo de 1987 e os dados de análise química do solo para as diferentes profundidades (16), procedendo-se, assim, também, com os dados de comprimento de raízes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. *Crescimento de raízes*

O crescimento do sistema radicular da soja foi maior na superfície do solo, diminuindo com a profundidade, apresentando, porém, valores expressivos até a profundidade de 45 a 60 cm (Quadro 2), mostrando que as camadas inferiores do solo são relativamente bem exploradas pelo sistema radicular da cultura.

Embora se observem variações entre os tratamentos, não ocorreram diferenças significativas entre os contrastes. Talvez, em parte, isto se deva aos altos valores dos coeficientes de variação obtidos nessa avaliação.

Apenas uma equação de regressão para a profundidade de 45 a 60 cm apresentou ajustamento significativo, ocorrendo crescimento de raízes com a percentagem de gesso na mistura corretiva na dose de 6,0 t/ha ($Y = 715,5 + 14,327^{**} X$; $R^2=0,861$).

De maneira geral, o crescimento do sistema radicular da soja foi pouco alterado pelos tratamentos, corroborando os resultados de SILVA *et alii* (34), que observaram ser o sistema radicular da cultura da soja pouco

afetado pela presença de alta saturação de Al na subsuperfície do solo.

QUADRO 2 - Crescimento de raízes de plantas de soja no cultivo de 1987, nas diferentes profundidades, para os tratamentos aplicados

Tratamento ⁽¹⁾	Profundidade (cm)			
	0-15	15-30	30-45	45-60
	----- m/dm ³ -----			
C 3,0-G 0,0	7,504	6,647	2,276	1,129
C 2,7-G 0,3	5,716	3,941	2,335	1,278
C 2,4-G 0,6	6,236	4,915	2,162	1,153
C 2,0-G 1,0	6,238	4,895	1,847	0,705
C 1,5-G 1,5	5,056	4,107	3,387	1,302
C 6,0-G 0,0	4,500	4,360	1,916	0,719
C 5,4-G 0,6	4,451	4,701	1,526	0,725
C 4,8-G 1,2	4,536	3,223	1,799	1,180
C 4,0-G 2,0	3,475	5,361	2,535	1,176
C 3,0-G 3,0	5,027	5,435	2,268	1,395
C 0,0-G 1,0	6,911	4,908	1,920	0,731
C 0,0-G 0,0	5,500	4,240	1,812	0,746

(1) C: Calcário; G: Gesso. Os números depois de cada letra indicam as doses, em tonelada por hectare, de cada componente.

3.2. Teores foliares de nutrientes e de alumínio

Os teores de nutrientes na folha das plantas não sofreram grandes alterações com os tratamentos aplicados.

Observou-se, pela comparação entre o tratamento que recebeu a maior dose de gesso (C 3,0-G 3,0) e o sem gesso (C 3,0-G 0,0), redução significativa apenas nos teores de Fe e de Al com a aplicação do gesso. Quando o tratamento C 6,0-G 0,0 foi comparado com a testemunha (C 0,0 G 0,0), notou-se redução significativa nos teores de Mg, Mn e Zn, com a aplicação do calcário, e aumento no teor de Ca (Quadro 3). O aumento na relação Ca:Mg na planta ocorreu em virtude da alta relação Ca:Mg do calcário aplicado. Reduções nos teores de Mn e de Zn, na planta, são freqüentemente observadas quando se eleva o pH do solo (22).

QUADRO 3 - Teores de nutrientes e de alumínio na folha de plantas de soja, no cultivo de 1987 (local-Antena), para os tratamentos aplicados

Tratamento ⁽¹⁾	Ca	Mg	K	S	Fe	Mn	Zn	Cu	Al
	----- g/kg -----				----- mg/kg -----				
C 3,0-G 0,0	12,2	5,2	21,9	3,0	237,9	101,1	55,1	11,5	105,9
C 2,7-G 0,3	11,8	5,3	21,1	2,9	197,8	103,7	57,3	9,8	97,9
C 2,4-G 0,6	11,8	5,0	20,0	2,8	185,4	98,6	56,0	10,2	81,0
C 2,0-G 1,0	12,0	5,3	20,8	2,7	173,3	105,0	55,3	13,2	69,0
C 1,5-G 1,5	12,5	5,4	20,9	3,1	183,4	115,4	60,0	12,5	76,3
C 6,0-G 0,0	13,7	5,4	21,3	3,1	211,3	81,7	54,4	11,8	42,3
C 5,4-G 0,6	12,3	5,2	21,3	3,2	196,9	92,1	48,5	11,0	45,8
C 4,8-G 1,2	11,8	4,9	20,8	2,8	174,7	76,6	49,7	11,1	52,4
C 4,0-G 2,0	11,8	4,8	20,2	2,9	185,1	89,5	48,8	11,0	76,5
C 3,0-G 3,0	13,2	5,8	21,6	3,0	143,3	96,0	58,2	11,4	43,4
C 0,0-G 1,0	11,6	6,1	21,5	2,9	164,2	136,1	59,4	10,5	136,1
C 0,0-G 0,0	11,6	6,3	22,5	3,1	203,4	136,1	66,2	10,7	97,1

(1) C: Calcário; G: Gesso. Os números depois de cada letra indicam as doses, em tonelada por hectare, de cada componente.

Quanto às alterações ocorridas nos teores dos nutrientes na planta com a variação na percentagem de gesso na mistura corretiva, observou-se redução linear nos teores de Fe com o aumento da percentagem de gesso na mistura corretiva, na dose de 6,0 t/ha (Quadro 4). Entretanto, o modelo que melhor se ajustou às variações ocorridas nos teores de Ca, Mg, Zn e S foi o quadrático, apresentando ponto de mínimo para percentagens intermediárias de gesso na mistura corretiva (Quadro 4).

Acredita-se que as pequenas alterações ocorridas nos teores de nutrientes na planta, em relação ao que tem sido verificado em outros trabalhos com uso de gesso (22, 23, 27), sejam devidas ao período de tempo relativamente longo, decorrido entre a aplicação dos tratamentos e o cultivo da soja analisada. Esse tempo, provavelmente, favoreceu a ocorrência de reações no solo, reduzindo as altas concentrações de íons que, normalmente, são encontradas na solução do solo após a aplicação do gesso (3).

QUADRO 4 - Equações de regressão ajustadas aos teores de Ca, Mg, K, S, Fe, Mn, Zn, Cu e Al na folha de plantas de soja, no cultivo de 1987 (local-Antena), como variáveis dependentes das percentagens de gesso nas misturas corretivas aplicadas, nas doses 3,0 e 6,0 t/ha

Nutriente	Equação (dose 3,0 t/ha)	R ²	Equação (dose 6,0 t/ha)	R ²
Ca (%)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,20$	-	$\hat{Y} = 1,367 - 0,01511X + 0,000286^{**} X^2$	0,992
Mg (%)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,53$	-	$\hat{Y} = 0,547 - 0,005667X + 0,000125^* X^2$	0,880
K (%)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,09$	-	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,10$	-
S (%)	$\hat{Y} = 0,30 - 0,00191X + 0,0000415^* X^2$	0,796	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,30$	-
Fe (mg/kg)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 195,57$	-	$\hat{Y} = 209,57 - 1,2086^* X$	0,852
Mn (mg/kg)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 104,75$	-	$\hat{Y} = \bar{Y} = 87,16$	-
Zn (mg/kg)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 56,74$	-	$\hat{Y} = 54,09 - 0,5543X + 0,01267^{**} X^2$	0,929
Cu (mg/kg)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 11,98$	-	$\hat{Y} = \bar{Y} = 11,26$	-
Al (mg/kg)	$\hat{Y} = \bar{Y} = 86,02$	-	$\hat{Y} = \bar{Y} = 52,08$	-

o, *, **: Significativos a 10, 5 e 1%, respectivamente.

3.3. Produção de grãos

No cultivo de 1985, a cultura da soja foi implantada nas áreas experimentais logo após a aplicação dos tratamentos. Pelos dados de produção de grãos desse ano (Quadro 5), observaram-se aumentos significativos na produção, com a aplicação de 6,0 t/ha de calcário (C 6,0-G 0,0), em relação ao tratamento-testemunha (C 0,0-G 0,0), nos locais Tajhire e Guabiroba, nos quais os solos apresentaram os maiores teores de Al trocável (Quadro 1). Nos demais locais, embora não-significativos, ocorreram também aumentos na produção para esse tratamento. Quanto à aplicação de gesso na dose de 1,0 t/ha (C 0,0-G 1,0), os aumentos de produção foram significativos apenas para o local Balde. Nos locais Antena e Tajhire também ocorreram aumentos na produção, que, embora não-

ocasionou as maiores alterações químicas no perfil do solo (16), não proporcionou diferença significativa na produção de grãos em relação ao tratamento C 3,0-G 0,0.

Obteve-se ajuste de equação de regressão para a produção de grãos em razão da percentagem de gesso na mistura corretiva (6,0 t/ha), apenas no local Tajhire, em que o melhor modelo foi o quadrático, apresentando ponto de máxima produção para a percentagem de 46,7% de gesso na mistura corretiva (Quadro 6).

Em 1986, a cultura foi conduzida apenas nos locais não irrigados (Antena e Tajhire). Nesse cultivo não houve diferença significativa para os contrastes que testavam o efeito do gesso, em nenhum dos locais cultivados. Entretanto, observou-se aumento significativo na produção de grãos com a aplicação de calcário, na dose de 6,0 t/ha (C 6,0-G 0,0), em relação ao tratamento-testemunha (C 0,0-G 0,0), nos dois locais cultivados. No local Antena, verificou-se redução linear na produção de grãos com o aumento da percentagem de gesso na mistura corretiva, na dose de 6,0 t/ha. Conclui-se, então, que ocorreu efeito positivo na produção de grãos nestes locais com a aplicação do calcário, não havendo efeito para a aplicação do gesso, havendo até mesmo efeito negativo, no local Antena, quando o gesso compôs a mistura corretiva, na dose de 6,0 t/ha (Quadro 6).

Para o cultivo de 1987, foi eliminado o local Tajhire, permanecendo apenas o local Antena. Observou-se, nesse ano, que não houve efeito do gesso na produção de grãos. Ocorreu aumento significativo para a aplicação de calcário, como pode ser notado quando se compararam os tratamentos C 6,0-G 0,0 e C 0,0-G 0,0. Nesse cultivo, a variação de produção, em virtude da variação da percentagem de gesso na mistura corretiva, não foi significativa, ficando evidentes, no entanto, os aumentos de produção ocasionados pela aplicação das diferentes misturas corretivas nas doses de 3,0 e 6,0 t/ha em relação aos tratamentos C 0,0-G 1,0 e C 0,0-G 0,0 (Quadro 5).

Determinaram-se os coeficientes de correlação linear simples entre produção de grãos e características do solo e da planta tais como teores trocáveis de Ca, Mg, K e Al, de S disponível e de reserva, valores de pH, saturação por bases e por Al e crescimento de raízes nas quatro profundidades estudadas, no cultivo de 1987 (Quadro 7).

A produção de grãos apresentou correlação significativa com as determinações relacionadas com a acidez do solo, para as profundidades de 0 a 15 cm e de 15 a 30 cm, mostrando menor número de correlações significativas com essas determinações nas profundidades de 30 a 45 cm e

significativas com essas determinações nas profundidades de 30 a 45 cm e de 45 a 60 cm. Constatou-se que a produção de grãos foi mais afetada pelas alterações químicas ocorridas nas camadas superficiais do solo que nas camadas mais profundas (Quadro 7). A produção de grãos não se correlacionou com o crescimento de raízes, S disponível e de reserva. Os baixos teores de S disponível do solo (16) foram suficientes para permitir as produções obtidas nesse cultivo.

QUADRO 5 - Produção de grãos de soja, nos diferentes locais e anos de cultivo, para os tratamentos aplicados

Tratamento ⁽¹⁾	Local						
	Antena	Tajhire	Balde	Guabiroba	Antena	Tajhire	Antena
	(1985)	(1985)	(1985)	(1985)	(1986)	(1986)	(1987)
----- kg/ha -----							
C 3,0-G 0,0	1.481	2.426	2.472	2.749	1.357	2.060	2.120
C 2,7-G 0,3	1.465	2.396	2.318	2.688	1.625	1.880	2.214
C 2,4-G 0,6	1.418	2.546	2.525	2.823	1.443	1.945	1.770
C 2,0-G 1,0	1.418	2.358	2.523	2.602	1.512	1.955	2.266
C 1,5-G 1,5	1.500	2.543	2.452	2.640	1.429	1.868	1.910
C 6,0-G 0,0	1.463	2.384	2.426	2.778	1.690	2.080	2.146
C 5,4-G 0,6	1.516	2.643	2.424	2.878	1.538	2.016	2.181
C 4,8-G 1,2	1.505	2.626	2.537	2.756	1.505	2.022	2.320
C 4,0-G 2,0	1.497	2.606	2.440	2.732	1.489	1.985	2.178
C 3,0-G 3,0	1.530	2.344	2.481	2.644	1.367	2.072	2.223
C 0,0-G 1,0	1.346	2.216	2.478	1.891	1.568	1.486	1.484
C 0,0-G 0,0	1.247	2.081	2.249	1.877	1.513	1.490	1.476

(1) C: Calcário; G: Gesso. Os números depois de cada letra indicam as doses, em tonelada/hectare, de cada componente.

QUADRO 6 - Equações de regressão ajustadas para as produções de grãos de soja (kg/ha), em cada local e ano de cultivo, como variáveis dependentes das percentagens de gesso nas misturas corretivas aplicadas, nas doses 3,0 e 6,0 t/ha

Local	Ano	Dose 3,0 t/ha (Equação)	Dose 6,0 t/ha (Equação)	R ²
Antena	1985	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1.456,5$	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1.502,3$	-
Tajhire	1985	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2.453,6$	$\hat{Y} = 2.411,8 + 21,35^{\circ}X - 0,45708^{**}X^2$	0,929
Balde	1985	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2.457,9$	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2.461,5$	-
Guabiroba	1985	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2.700,3$	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2.757,4$	-
Antena	1986	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1.473,2$	$\hat{Y} = 1.644,0 - 5.5755^{**}X$	0,884
Tajhire	1986	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1.941,6$	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2.034,9$	-
Antena	1987	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2.056,0$	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2.209,5$	-

o e ** Significativos a 10 e 1%, respectivamente.

QUADRO 7 - Coeficientes de correlação linear simples entre produção de grãos de soja e características do solo e da planta: teores trocáveis de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, S disponível e de reserva, valores de pH, saturação por bases e saturação por Al³⁺ no solo, e crescimento de raízes de plantas de soja, no final do cultivo de 1987 (local-Antena), em quatro profundidades

Característica	Profundidade (cm)			
	0-15	15-30	30-45	45-60
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,830***	0,815***	0,538*	0,586*
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,762**	0,648*	0,364 ^{ns}	0,219 ^{ns}
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	-0,588*	-0,865***	-0,818**	-0,612*
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	-0,860***	-0,829***	-0,619*	-0,260 ^{ns}
S Disponível (mg dm ⁻³)	0,082 ^{ns}	0,364 ^{ns}	0,318 ^{ns}	0,284 ^{ns}
S de Reserva (mg dm ⁻³)	-0,004 ^{ns}	0,254 ^{ns}	0,352 ^{ns}	0,300 ^{ns}
pH (H ₂ O)	0,801***	0,838***	-0,170 ^{ns}	-0,333 ^{ns}
Saturação por Bases (%)	0,857***	0,856***	0,495 ^{ns}	0,594*
Saturação por Al ³⁺ (%)	-0,845***	-0,858***	-0,601*	-0,558*
Comp. de Raízes (m/dm ³)	-0,390 ^{ns}	0,004 ^{ns}	-0,005 ^{ns}	0,326 ^{ns}

ns, *, ** e ***: Não-significativos e significativos a 5, 1 e 0,1% respectivamente.

Observou-se correlação negativa significativa entre a produção de grãos e os teores de K disponível do solo nas quatro profundidades analisadas (Quadro 7). Isso se deve, provavelmente, à retirada de K do perfil do solo em quantidades equivalentes à produtividade em cada tratamento, uma vez que a amostragem foi feita no final do cultivo.

4. CONCLUSÕES

1. O crescimento do sistema radicular da soja foi pouco afetado pela presença de alta saturação de alumínio em profundidade no perfil do solo.

2. Os teores dos elementos na folha das plantas não sofreram grandes alterações com os tratamentos aplicados. O gesso provocou reduções nos teores de Fe e de Al nesse tecido.

3. A tendência de aumento da produção de grãos observada com a aplicação de gesso, no primeiro ano de cultivo, não mais ocorreu nos anos subsequentes. No entanto, a produção de grãos foi beneficiada pela aplicação de calcário.

4. A produção de grãos foi mais afetada por alterações químicas na camada superficial do solo que nas camadas mais profundas.

5. RESUMO

Este trabalho foi conduzido em condições de campo, em uma região de solos ácidos da Fazenda Itamarati, em Ponta-Porã (MS), para avaliar o comportamento da soja à aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso. Os tratamentos foram constituídos por misturas percentuais de calcário (100, 90, 80, 67 e 50%) e de gesso (0, 10, 20, 33 e 50%, respectivamente), nas doses de 3,0 e 6,0 t/ha, mais um tratamento com 1,0 t/ha de gesso e uma testemunha. Em quatro locais, foi cultivada soja por três anos consecutivos, após a implantação dos experimentos em 1985. Nos anos seguintes, a soja foi cultivada em dois locais (1986), e apenas em um local, em 1987, quando foram realizadas as análises de planta e avaliados o crescimento de raízes e a produtividade de grãos. O crescimento do sistema radicular da soja não foi alterado pelos tratamentos, mostrando não ser afetado pela presença de alta saturação de Al em subsuperfície. O gesso provocou reduções nos teores de Fe e de Al nas folhas da soja. Embora a aplicação de gesso tenha apresentado tendência de resposta no primeiro ano de cultivo, esta não ocorreu nos anos seguintes. Por outro lado, a produção de grãos foi beneficiada com a aplicação de calcário. Pela correlação apresentada entre a produção de grãos e as características químicas do solo, constatou-se que ela foi mais afetada pelas alterações químicas ocorridas nas camadas superficiais do solo, como saturação de bases, que nas camadas mais profundas. Os baixos teores de S disponível originalmente no solo foram suficientes para permitir as produções obtidas.

6. SUMMARY

(RESPONSES TO THE APPLICATION OF DIFFERENT LIME-GYPSUM MIXTURES IN SOILS. II. ROOT GROWTH, NUTRIENT UPTAKE AND SOYBEAN YIELD)

This work was carried out under field conditions in a region of acid soils at the Itamarati Farm, at Ponta Porã, Mato Grosso do Sul State (Brazil), to evaluate the effect of rates and different lime-gypsum mixtures on the soybean yield. The treatments tested were made up by percentual mixtures of lime (100, 90, 80, 67 and 50%) and gypsum (0, 10, 20, 33 and 50%, respectively), a treatment with 1.0t/ha of gypsum and a check-plot. Soybean was cultivated for three consecutive years, on four different sites, starting in 1985. In the following year, (1986) it was cultivated on two sites and on only one site in the next year, when leaf analyses and root growth were performed. Grain yield in all sites and years were obtained. Plant growth was not affected by the treatments; it was not affected by the high Al saturation in the subsoil. Iron and aluminum concentrations in the plants decreased with gypsum application. The tendency to increase grain yield observed in the first year as response to gypsum addition did not occur in the next years. On the other hand, lime caused significant increase on grain yield. Grain yield was more affected by superficial chemical soil characteristic changes due to the treatments than by chemical changes in the lower layers in the soil profile. The low levels of available sulfur found originally in the soils did not limit the grain yields obtained.

7. LITERATURA CITADA

1. ADAMS, F. & LUND, Z. F. Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration in acid subsoils. *Soil Sci.*, 101:193-198, 1966.
2. ADAMS, F. & MOORE, B.L. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of Coastal Plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:99-102, 1983.
3. ALVA, K.A., SUMNER, M.E. & NOBLE, A.D. Alleviation of aluminum toxicity by phosphogypsum. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:385-403, 1988.
4. ALVAREZ V., V.H. *Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois latossolos de Minas Gerais*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1974. 125p. (Tese de Mestrado).
5. CHAVES, J.C.D., PAVAN, M.A. & MIYAZAWA, M. Redução da acidez subsuperficial em coluna de solo. *Pesq. Agrop. Bras.*, 23:469-476, 1988.
6. CHESNIN, L. & YIEN, C.H. Turbidimetric determination of available sulfates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 15:149-151, 1950.
7. DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. *Análise química do solo*. Viçosa, Imprensa

- Universitária (UFV), 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 19).
8. EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, 1979. s.n.p.
 9. FARINA, M.P.W. & CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. I. A comparison of several mechanical procedures. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:169-175, 1988.
 10. FARINA, M.P.W. & CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:175-180, 1988b.
 11. FERNANDES, B. *Retenção e movimento de água no solo*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1967. 48p. (Tese de Mestrado).
 12. HAMMEL, J.E., SUMNER, M.E. & SHAHANDEH, H. Effect of physical and chemical profile modification on soybean and corn production. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:1508-1511, 1985.
 13. HOURIGAN, W.R., FRANKLIN, R.E., McLEAN, O. & BHUMBLA, D.R. Growth and Ca uptake by plants as affected by rate and depth of liming. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 25:491-494, 1961.
 14. HOWARD, D.D. & ADAMS, F. Calcium requirement for penetration of subsoils by primary cotton roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29:558-562, 1965.
 15. JONES Jr., J.B. & STEYN, W.J.A. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. In: Walsh, L.M. & Beaton, J.D. (eds.). *Soil testing and plant analysis*. Madison, Soil Sci. Soc. Am., Inc., 1973. p.249-270.
 16. MARTINS, O.C.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; RIBEIRO, A.C. & BARROS, N.F. Respostas à aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso em solos. I. Alterações químicas no perfil do solo. *Rev. Ceres*, (prelo)
 17. MASCARENHAS, H.A.A., MIRANDA, M.A.C. & TISSELLI FILHO, O. *Contribuição do Instituto Agrônomo na evolução da cultura da soja do Estado de São Paulo*. Campinas, Instituto Agrônomo, 1974. 22p. (Circular, 32).
 18. MASCARENHAS, H.A.A., BULISAN, E.A. & DELLINAZZI Jr., R. *O enxofre na adubação*. Campinas, CATI, 1976. 11p.
 19. McCLUNG, A.L., FREITAS, M.M. & LOTT, W.L. Analysis of several Brazilian soils in relation to plant responses to sulfur. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 23:221-224, 1959.
 20. MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. Ber-Switzerland, Int. Potash Inst., 1982. 655p.
 21. MIYASAKA, S., FREIRE, E.S. & MASCARENHAS, H.A.A. Adubação da soja. III. Efeito de NPK, do enxofre e de micronutrientes em solo do arenito Botucatu, com vegetação de cerrado. *Bragantia*, 23:65-71, 1964.
 22. NOVAIS, R.F., NEVES, J.C.L., BARROS, N.F. de. & SEDIYAMA, T. Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solos de cerrado. *R. bras. Ci. Solo*, 13:199-204, 1989.
 23. OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. Interaction of added gypsum in alkaline soils with uptake of iron, molybdenum, manganese and zinc by sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:125-130, 1979.
 24. PAVAN, M.A., BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO₃, MgCO₃ and CaSO₄.2H₂O. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1201-1207, 1982.
 25. PAVAN, M.A., BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:33-38, 1984.
 26. PEARSON, R.W., CHILDS, J. & LUND, Z.F. Uniformity of limestone mixing in acid subsoil as a factor in cotton root penetration. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37:727-732,

1973.

27. RICHARD, J.M. & RICHARD, L.M. Effect of sulfur additions on soil and the nutrition of wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 18:653-673, 1987.
28. RIOS, M.A. & PEARSON, R.W. The effects of some chemical environmental factors on cotton root behavior. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:232-235, 1964.
29. RITCHEY, K.D., SILVA, J.E. & COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. *Soil Sci.*, 133:378-382, 1982.
30. RITCHEY, K.D., SILVA, J.E. & SOUZA, D.M.G. Lixiviação de cálcio e crescimento de raízes em solos de cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Salvador, 1981. *Programa e Resumos*, Salvador, SBCS, 1981. p. 96.
31. RITCHEY, K.D., SILVA, J.E., ESPINOZA, W. & LOBATO, E. Downward movement of calcium and the improvement of subsoil rooting in Oxisols of Brazil. In: Fundação IAPAR (ed.). *The soil/root system in relation to Brazilian agriculture*. Londrina, IAPAR, 1982. p.137-151.
32. RITCHEY, K.D., SOUZA, D.M.G., LOBATO, E. & CORREA, C. Calcium leaching to increase rooting depth in Brazilian savannah Oxisol. *Agron. J.*, 70:40-44, 1980.
33. SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. *Análise química de plantas*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1974. 56p.
34. SILVA, J.B.C.; NOVAIS, R.F. & SEDIYAMA, C.S. Comportamento de genótipos de soja em solo com alta saturação de alumínio. *Pesq. Agrop. Bras.*, 19:287-298, 1984.
35. SUMNER, M.E., SHAHANDEH, H., BOUTON, J. & HAMMEL, J.E. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1254-1278, 1986.
36. TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecology*, 63:995-1001, 1975.
37. VITTI, G.C., FERREIRA, M.E. & MALAVOLTA, E. Resposta de culturas anuais e perenes. In: *Anais do I Seminário sobre o uso do fosfogesso na Agricultura*. Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.17-43.