

MANEJO DA ACIDEZ DOS SOLOS DE CERRADO E DE VÁRZEA DO BRASIL



Nand Kumar Fageria

Luís Fernando Stone



Embrapa

Arroz e Feijão

**MANEJO DA ACIDEZ DOS SOLOS DE CERRADO
E DE VÁRZEA DO BRASIL**

Nand Kumar Fageria e Luís Fernando Stone

Embrapa Arroz e Feijão
Santo Antônio de Goiás, GO
1999

Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 92.

Comitê de Publicações

Carlos A. Rava (Presidente)

Alberto Baêta dos Santos

Homero Aidar

Luiz Roberto Rocha da Silva (Secretário)

Supervisão Editorial

Marina Biava

Digitação/Diagramação

Fabiano Severino

Luiz Roberto Rocha da Silva

Programação Visual

Sebastião José de Araújo

Normalização Bibliográfica/Catálogo na Fonte

Ana Lúcia Delalibera de Faria

Tiragem: 1.000 exemplares.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. **Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 42p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 92).

ISSN 1516-7518

1. Cerrado - Acidez do solo. 2. Várzea - Acidez do solo. I. STONE, L.F., colab. II. Embrapa Arroz e Feijão (Santo Antônio de Goiás, GO). III. Título. IV. Série.

CDD 631.42

© Embrapa, 1999.

APRESENTAÇÃO

A acidez do solo é um dos fatores mais importantes que limitam a produtividade das culturas em várias partes do mundo, inclusive no Brasil. Nos solos ácidos existem problemas de deficiência e/ou toxidez nutricional, baixa capacidade de retenção de água e baixa atividade dos microrganismos benéficos. Os solos de cerrado e várzea do Brasil são exemplo com problemas desta natureza, sendo a sua produtividade baixa em estado natural. Com a correção de acidez destes solos, entretanto, é possível transformá-los, capacitando-os para sustentarem níveis de produtividades mais elevados. Para tanto, devem ser conhecidos os dados de pesquisa em relação aos valores adequados de índices de acidez, tais como: o pH; a saturação por base e a saturação por alumínio para as principais culturas anuais como arroz, feijão, milho, soja e trigo; a tolerância relativa destas culturas à acidez do solo; e a quantidade de calcário necessária para aumentar a produtividade a um nível em que o produtor obtenha o máximo de renda, mantendo a sustentabilidade do meio ambiente.

A calagem ainda é uma das práticas mais baratas e efetivas na correção da acidez do solo. No Brasil existem vastas reservas de calcário distribuídas em todo o território nacional.

Neste documento são apresentados dados de pesquisa referentes aos níveis adequados de pH, saturação por base, saturação por alumínio e a resposta de algumas culturas à aplicação de calcário e o uso de gesso, em solos de cerrado e várzea do Brasil.

Para que o assunto seja entendido da forma mais prática possível, optou-se por relatar as informações de modo sucinto e claro, incluindo-se tabelas e figuras coloridas, quando se julgou necessário para exemplificar situações específicas. Espera-se, desta forma, que a leitura deste documento, dirigido a pesquisadores, extensionistas, professores e estudantes de agronomia, além de propiciar um maior conhecimento técnico-científico nessa área, surta efeito no aumento das produtividades e na redução dos custos de produção das culturas no solo de cerrado e várzea do Brasil.

Pedro Antonio Arraes Pereira
Chefe da Embrapa Arroz e Feijão

SUMÁRIO

RESUMO	7
INTRODUÇÃO	8
DEFICIÊNCIA E/OU TOXICIDADE NUTRICIONAL EM SOLOS ÁCIDOS	14
CORREÇÃO DA ACIDEZ	17
Calagem	17
Resposta das Culturas à Aplicação de Calcário	20
Recomendações de Calagem	27
Uso de Gesso Agrícola	34
Uso de Espécies ou Cultivares Tolerantes	37
Uso de Matéria Orgânica	37
CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

MANEJO DA ACIDEZ DOS SOLOS DE CERRADO E DE VÁRZEA DO BRASIL

Nand Kumar Fageria¹ e Luís Fernando Stone²

RESUMO

Os solos de cerrado e de várzea do Brasil com maior potencial para expansão da fronteira agrícola são ácidos, o que limita a produção. Para a incorporação destes solos ao processo produtivo é indispensável o uso adequado de corretivos, como calagem e gesso, a adoção de outras práticas de manejo, como uso de espécies ou cultivares tolerantes à acidez do solo, a reciclagem dos restos culturais e o uso de adubação verde e orgânica. A quantidade adequada de corretivos, além de sua qualidade, irá depender da cultura, do teor de argila, do pH e do teor de cálcio, magnésio e alumínio no solo. O objetivo principal desta publicação é discutir conceitos básicos da acidez do solo, quantificar índices de acidez do solo, como pH, saturação por bases, saturação por alumínio, e estabelecer doses adequadas de calcário para as principais culturas anuais e estratégias de manejo para a produção agrícola.

¹ Pesquisador, Ph.D., Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO.

² Pesquisador, Dr., Embrapa Arroz e Feijão.

INTRODUÇÃO

A acidez do solo é um dos principais fatores que limitam a produção agrícola mundial. A distribuição dos solos ácidos em várias partes do mundo é apresentada na Tabela 1, onde pode-se observar que a maior área de solos ácidos está localizada na América do Sul, seguida pela África. Na região tropical da América do Sul, os solos ácidos ocupam 85% da área total e, aproximadamente, 850 milhões de hectares são subutilizados para a produção agrícola, segundo Cochrane (1991). A distribuição dos solos ácidos no Brasil é apresentada na Tabela 2, com a maior área situando-se nas Regiões Norte e Centro-Oeste. Na Tabela 3 são apresentadas as características químicas dos solos de cerrado e de várzea do Brasil. É oportuno ressaltar que ambos os solos, de cerrado e de várzea, são ácidos.

TABELA 1 Distribuição dos solos ácidos em várias partes do mundo.

Classificação da Acidez	América do Sul (10 ⁶ ha)	América do Norte (10 ⁶ ha)	África (10 ⁶ ha)	Ásia (10 ⁶ ha)	Europa (10 ⁶ ha)
Acidez leve (pH 5,5 – 6,5)	244,6	207,3	430,6	170,4	3,4
Acidez moderada (pH 4,5 – 5,5)	443,3	300,9	327,8	191,6	53,2
Acidez forte (pH 3,5 – 4,5)	364,5	90,4	119,3	318,7	131,0
Acidez muito forte (pH < 3,5)	127,9	0	3,1	6,6	10,8
Total	1.180,3	598,6	880,8	687,3	198,4

Fonte: Eswaran et al. (1997).

TABELA 2 Distribuição dos solos ácidos no Brasil.

Região	Área Mapeada (10 ⁶ ha)	Solos Ácidos (10 ⁶ ha)	Porcentagem de Solos Ácidos
Norte e Centro-Oeste	600,8	446,8	74
Nordeste	96,5	39,1	41
Sudeste	44,5	28,0	63
Sul	60,0	33,9	57

Fonte: Rosolem (1990).

TABELA 3 Características químicas dos solos de cerrado e várzea do Brasil.

Característica	Solo de Cerrado*	Solo de Várzea**
pH (H ₂ O)	5,2	5,3
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	0,64	4,9
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	0,58	3,1
Al (cmol _c kg ⁻¹)	0,64	1,3
P (mg kg ⁻¹)	1,2	16
K (mg kg ⁻¹)	47,2	92
Cu (mg kg ⁻¹)	1,3	2,2
Zn (mg kg ⁻¹)	1,0	2,4
Fe (mg kg ⁻¹)	116	3,3
Mn (mg kg ⁻¹)	14	59
M.O. (g kg ⁻¹)	15	31
Saturação por base (%)	17	50

* Os valores referem-se às médias de 200 amostras de solo coletadas em seis Estados na região do cerrado.

** Os valores referem-se às médias de 55 amostras de solo coletadas em oito Estados em solos de várzea.

Os solos podem ser naturalmente ácidos pela própria constituição do material de origem, como os de cerrado, que têm baixo teor de cátions básicos, ou podem tornar-se ácidos nas regiões em que a precipitação pluvial é maior que a evapotranspiração, causando a lixiviação de bases no perfil. Com isto, as cargas positivas são substituídas por Al^{3+} e H^+ , para manutenção da eletroneutralidade. Assim, um solo muito ácido é dominado por íons Al^{3+} e H^+ . A acidificação do solo com a presença de alumínio é expressa pela seguinte equação:



O Al(OH)^{++} não está ionizado e os íons H^+ , assim liberados, proporcionam um valor de pH muito baixo na solução do solo. Verifica-se, na Figura 1, que o alumínio aumenta a concentração de íons H^+ na solução do solo. Além disto, o hidrogênio adsorvido, que está em equilíbrio com a solução do solo, constitui-se numa outra fonte importante de íons H^+ , o que baixa o pH do solo. O uso contínuo de fertilizantes, como o sulfato de amônio, pode acidificar o solo pelas seguintes reações:

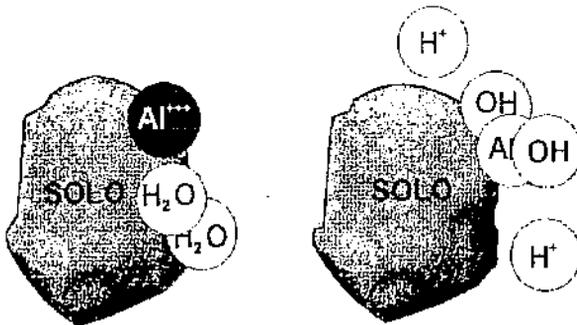
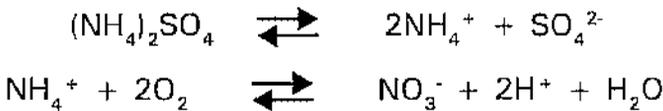


FIG. 1 Processo de acidificação do solo através da reação de Al^{3+} com a água no solo (modificado após Caudle, 1991).

A liberação dos íons hidrogênio é responsável pela acidificação do solo. Deste modo, os solos podem ter a sua acidez aumentada por cultivos intensivos que extraem grande quantidade de cátions, como cálcio, magnésio e potássio.

Alguns índices relacionados à acidez dos solos são: a acidez ativa ou pH (em água, CaCl_2 0,01 M ou KCl 0,1 M); acidez trocável, como Al^{3+} ; a acidez potencial, como $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$, e as bases trocáveis, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ . A partir destas determinações, podem ser calculados vários parâmetros que estão relacionados com a acidez do solo e sua correção, tais como: soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions a pH 7 ($\text{CTC}_{\text{potencial}}$), capacidade de troca de cátions efetiva ($\text{CTC}_{\text{efetiva}}$), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (M). As fórmulas para calcular tais parâmetros são as seguintes:

$$\text{SB} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$$

Em regiões úmidas distantes do mar, como a do cerrado, os teores de sódio são baixos e, às vezes, este elemento não é considerado na soma. A capacidade de troca de cátions ($\text{CTC}_{\text{potencial}}$) é definida como a capacidade máxima de retenção de cátions que o solo apresenta quando neutro, ou a pH 7.

$$\text{CTC}_{\text{potencial}} = \text{SB} + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$$

No Brasil, tem sido muito utilizado o conceito de $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$, definida como capacidade máxima de retenção de cátions que o solo apresenta em seu pH atual. Neste caso, não é considerada a quantidade de íons hidrogênio que o solo apresenta.

$$\text{CTC}_{\text{efetiva}} = \text{SB} + \text{Al}^{3+}$$

A fração de CTC constituída pelas bases trocáveis pode ser expressa em porcentagem, pela saturação por bases (V).

$$V = (\text{SB} / \text{CTC}_{\text{potencial}}) \times 100$$

A saturação por bases indica o quanto a CTC está tomada pelos cátions básicos, e o seu valor está significativamente relacionado ao pH (Figura 2).

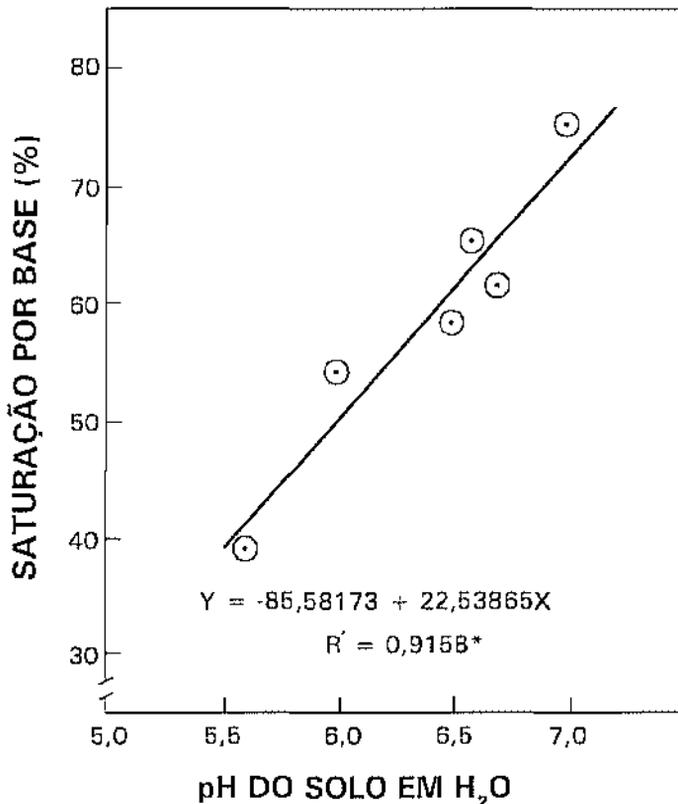


FIG. 2 Relação entre o pH e a saturação por bases em solo de cerrado.

A saturação por Al (M) é outro índice de acidez muito utilizado na expressão da toxicidade de alumínio para as plantas.

$$M = (Al^{3+} / CTC_{efetiva}) \times 100$$

O pH do solo é usado como índice de classificação de acidez do solo. Um solo com pH 5 é 10 vezes mais ácido que

um solo com pH 6, e o mesmo solo é 100 vezes mais ácido que um solo com pH 7. Em geral, o pH é medido em uma suspensão do solo em água, ou em soluções salinas (CaCl_2 0,01M ou KCl 0,1M). O pH medido em soluções salinas é, geralmente, mais baixo, devido ao deslocamento de Al^{3+} e H^+ do sítio de troca para a solução do solo. A prática de determinação do pH em água é mais comum, mas fornece valores variáveis em diferentes épocas do ano ou, ainda, sujeitos ao manuseio das amostras. Entretanto, de acordo com Conyers & Davey (1988), existe uma correlação entre os valores de pH determinados em água e em solução de CaCl_2 0,01M ou KCl 0,1M, sob larga faixa de pH. Esta relação é expressa pela seguinte equação:

$$\text{pH}_{\text{Ca}} = 1,05 \text{pH}_{\text{água}} - 0,9$$

Portanto, apesar de existir uma boa razão teórica para a determinação do pH em soluções salinas, a determinação em água não traz um erro sério que modifique a interpretação dos resultados da análise para fins de correção da acidez do solo (McLean, 1982) e é mais econômica do que em solução de CaCl_2 0,01M ou KCl 0,1M.

Teoricamente, a acidez do solo é medida como os teores de Al^{3+} e hidrogênio trocáveis do solo, mas, na prática, a acidez do solo é um complexo de vários fatores, em especial da deficiência e da toxicidade dos nutrientes e/ou da baixa atividade dos microrganismos benéficos. A produção das culturas pode ser afetada negativamente por estes fatores e suas interações. Além disto, os solos ácidos têm, em geral, baixa capacidade de troca de cátions, baixa saturação por bases e baixa capacidade de retenção de água, o que provoca a deficiência hídrica das plantas.

Considerando o problema de acidez dos solos de cerrado e de várzea e a importância destes solos na produção agrícola do País, o objetivo desta publicação é discutir as práticas apropriadas de correção da acidez para aumentar a produção das culturas.

DEFICIÊNCIA E/OU TOXICIDADE NUTRICIONAL EM SOLOS ÁCIDOS

Os solos ácidos apresentam deficiência ou toxicidade de alguns nutrientes que limitam a produtividade agrícola. As deficiências de fósforo, cálcio, magnésio, zinco, molibdênio e a toxicidade de alumínio são muito comuns nestes solos. Às vezes, ocorre também toxicidade de manganês, em algumas leguminosas anuais. A toxicidade de Fe^{2+} é comum em arroz inundado em solos de várzea. Na Tabela 4 são apresentadas as respostas de algumas culturas às deficiências nutricionais em solo ácido de cerrado. A análise dos dados desta tabela leva à conclusão que o fósforo é o nutriente mais limitante à produção dessas culturas. A deficiência de cálcio e magnésio também diminui a produção de feijão, milho, soja e trigo substancialmente. Da mesma maneira, em solo ácido de várzea, as deficiências de nitrogênio, fósforo e potássio são comuns para a produção das culturas de arroz, feijão, milho, soja e trigo (Tabela 5). A relação entre a saturação por alumínio e a produção relativa de grãos do feijoeiro, em solo de várzea; está representada na Figura 3. O aumento da saturação por alumínio no solo diminuiu a produção de grãos de feijão. A toxicidade de alumínio ocorre geralmente em pH abaixo de 5,5, e depende da espécie de planta. Os níveis críticos de alumínio para algumas culturas anuais são relacionados na Tabela 6. Observe-se que culturas como mandioca, arroz, caupi e amendoim são mais tolerantes, enquanto as culturas de feijoeiro, algodão e soja são mais sensíveis.

TABELA 4 Produção relativa de matéria seca da parte aérea de algumas culturas anuais, sob diferentes tratamentos de fertilidade, em solo de cerrado.

Tratamento de Fertilidade	Produção de Matéria Seca da Parte Aérea (%)				
	Arroz de Terras Altas	Feijão	Milho	Soja	Trigo
Adubação normal	100	100	100	100	100
- N	86	96	70	88	88
- P	7	28	45	44	55
- K	85	96	63	96	58
- Ca	98	30	50	52	42
- Mg	83	36	85	80	82
- S	95	95	78	84	94
- Zn	67	75	67	52	91
- Fe	92	94	85	80	94
- Cu	73	92	96	68	91
- B	77	37	78	80	100
- Mo	57	99	81	88	91
- Min	87	96	93	72	76

Fonte: Fageria & Baligar (1997).

TABELA 5 Produção relativa de matéria seca da parte aérea de algumas culturas anuais, sob diferentes tratamentos de fertilidade, em solo de várzea.

Tratamento de Fertilidade	Produção de Matéria Seca da Parte Aérea (%)				
	Arroz Irrigado	Feijão	Milho	Soja	Trigo
Adubação normal	100	100	100	100	100
- N	26	56	78	97	52
- P	44	36	45	63	54
- K	69	67	100	97	53

Fonte: Fageria et al. (1997a).

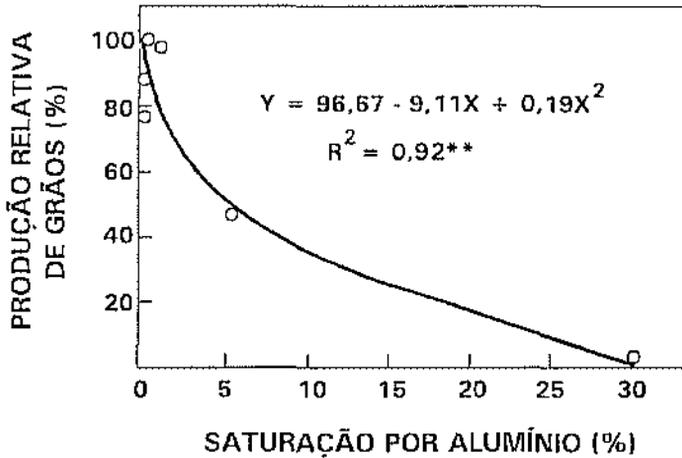


FIG. 3 Relação entre a saturação por alumínio e a produção relativa de grãos da cultura do feijoeiro em solo de várzea.

TABELA 6 Níveis críticos de saturação por alumínio para várias culturas anuais a 90-95% da produção máxima.

Cultura	Classe do Solo	Nível Crítico de Saturação por Al
Mandioca	Oxissolo/Ultissolo	80
Arroz de terras altas	Oxissolo/Ultissolo	70
Caupi	Oxissolo/Ultissolo	55
Amendoim	Oxissolo/Ultissolo	65
Soja	Oxissolo/Ultissolo	15
Milho	Oxissolo	19
Mungo verde	Oxissolo	5
Sorgo	Oxissolo	20
Feijoeiro	Oxissolo	10
Algodão	-	< 10

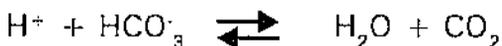
Fonte: Fageria et al. (1997a).

CORREÇÃO DA ACIDEZ

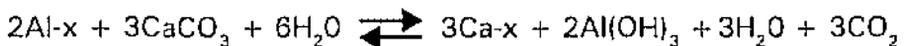
A correção da acidez do solo é importante não apenas para a otimização da produção das culturas, como também pelos vários efeitos benéficos que propicia, tais como: aumento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{+} no solo, redução da concentração tóxica de Al^{3+} e H^{+} , aumento da disponibilidade de alguns nutrientes, como fósforo e molibdênio, e aumento na fixação biológica de N_2 , no caso das leguminosas. O calcário e o gesso são utilizados na correção da acidez do solo. Além disto, o uso de espécies de plantas tolerantes à acidez do solo e o uso de matéria orgânica são práticas complementares para a produção agrícola em solos ácidos.

Calagem

A calagem é a prática mais comum e mais efetiva na correção da acidez do solo. A calagem muda o ambiente químico em torno do sistema radicular. Com a dissolução do calcário, o alumínio e o H^{+} são trocados por cálcio, havendo um aumento do cálcio permutável. Produz-se, portanto, um aumento na porcentagem de saturação por bases, e, ao mesmo tempo, eleva-se o pH da solução do solo. Na aplicação de calcário, como CaCO_3 , as reações do solo são as seguintes:



Observa-se, nestas reações, que os receptores de prótons são a hidroxila (OH^-) e o íon bicarbonato (HCO_3^-). Os íons OH^- e HCO_3^- produzidos neutralizam a acidez e aumentam o pH e o teor de Ca^{2+} do solo. Com isto, fica claro que os corretivos de acidez devem ter componentes básicos para gerar íons OH^- . A neutralização da toxicidade de alumínio com a aplicação de calcário pode ser demonstrada da forma seguinte:



A forma $2\text{Al}(\text{OH})_3$ é insolúvel em água e, desta maneira, é eliminada a toxicidade de alumínio. Na Figura 4 observa-se como a calagem neutraliza a acidez do solo.

Na Tabela 7 são apresentados dados relacionados a mudanças no pH, teores de cálcio e magnésio e saturação por bases, em função da aplicação de calcário em solo de cerrado. Em experimento conduzido em casa de vegetação foram avaliadas as mudanças nas propriedades químicas em solo de várzea em função do pH (Figura 5). Com o aumento do pH do solo, houve aumento significativo nos teores de cálcio, fósforo e $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ e redução dos teores de zinco, cobre, ferro e alumínio. Isto significa que a calagem neutraliza o alumínio do solo e fornece cálcio e magnésio, como nutrientes. Além disso, esta prática pode aumentar a disponibilidade de fósforo no solo e a CTC, o que permite maior retenção de nutrientes. O aumento do pH pode reduzir a disponibilidade de micronutrientes, como zinco, ferro e cobre. Entretanto, com a adição de micronutrientes nas doses recomendadas pela pesquisa, não tem havido problema de disponibilidade, na faixa de pH compreendida entre 5,7 e 6,3, ou de saturação por bases entre 40% e 60% (Sousa & Lobato, 1996).

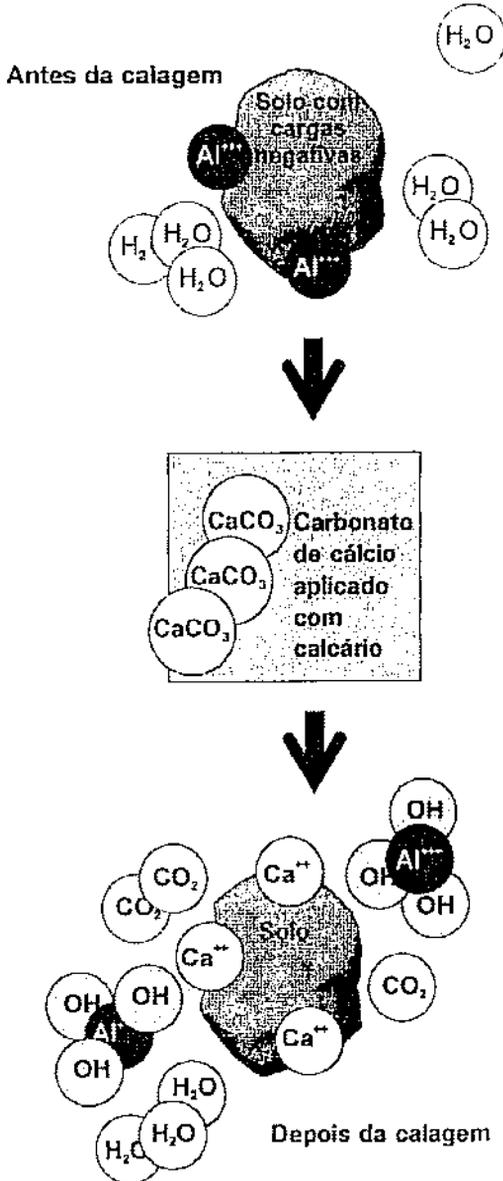


FIG. 4 Processo de redução da acidez do solo com a aplicação de calcário (modificado após Caudle, 1991).

TABELA 7 Influência da calagem no pH, nos teores de cálcio e magnésio e na saturação por bases, a 0-20 cm de profundidade, em solo de cerrado, após a colheita de arroz de terras altas.

Calcário aplicado (t ha ⁻¹)	pH (H ₂ O)	Cálcio (cmol _c kg ⁻¹)	Magnésio (cmol _c kg ⁻¹)	Saturação por base (%)
0	5,5	1,5	0,9	36
4	6,1	3,6	1,2	64
8	6,5	3,6	1,3	66
12	6,7	4,3	1,3	68
16	6,8	4,4	1,3	68
20	7,0	4,9	1,4	75
Teste F	**	**	**	**
CV %	1	16	10	11
DSM 5%	0,16	0,16	0,34	18,62
Modelo de regressão ¹	Q**	Q*	Q*	CE**

*, **Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

¹ Q = Quadrático; CE = Cúbico exponencial.

Fonte: Fageria (1998).

Resposta das Culturas à Aplicação de Calcário

A resposta das culturas à aplicação de calcário é o melhor parâmetro para se fazer recomendação. No Brasil existem muitas informações de respostas das culturas à calagem em solos de cerrado, mas para solos de várzea ainda são poucas. Na Figura 6 estão representadas graficamente as respostas das culturas de soja, feijoeiro e milho à aplicação de calcário em solo de cerrado, observando-se que a produção máxima, baseada na equação de regressão, foi obtida com a aplicação de 14 t, 11 t e 9 t ha⁻¹ de calcário, respectivamente.

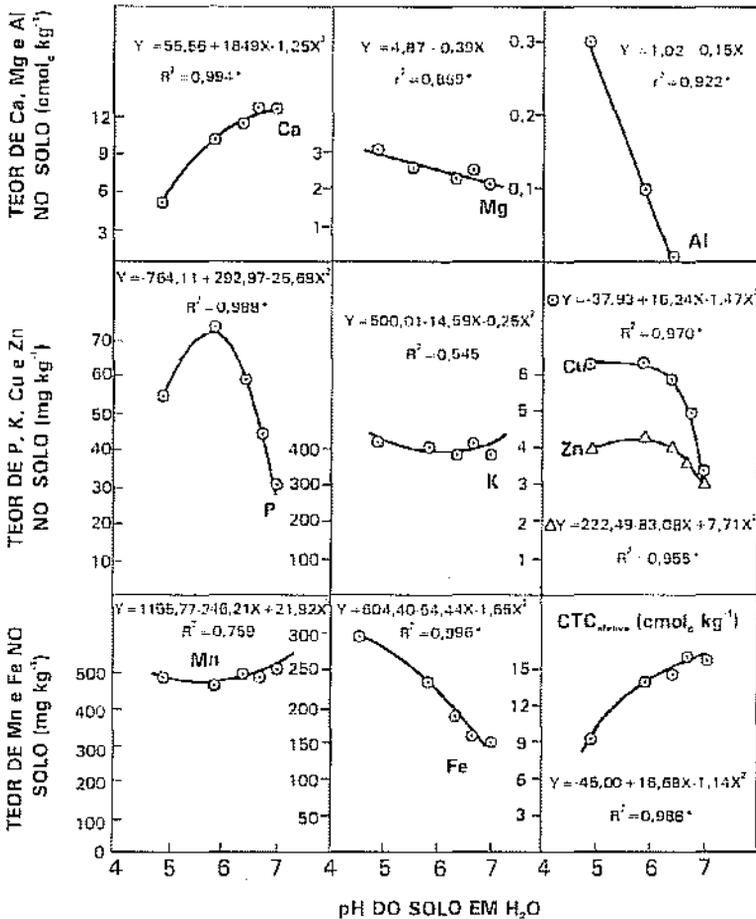


FIG. 5 Relação entre o pH e as propriedades químicas do solo de várzea.

Raij & Quaggio (1997), ao calcularem as doses econômicas de calcário para várias culturas anuais plantadas em solo de cerrado, recomendaram 9 t ha⁻¹ para milho, 5,5 t ha⁻¹ para soja, 6 t ha⁻¹ para algodão, 6,5 t ha⁻¹ para feijão e 4 t ha⁻¹ para a cultura de cana-de-açúcar. A resposta do feijoeiro à aplicação de calcário, em solo de várzea, em condições de casa de vegetação, é apresentada na Figura 7.

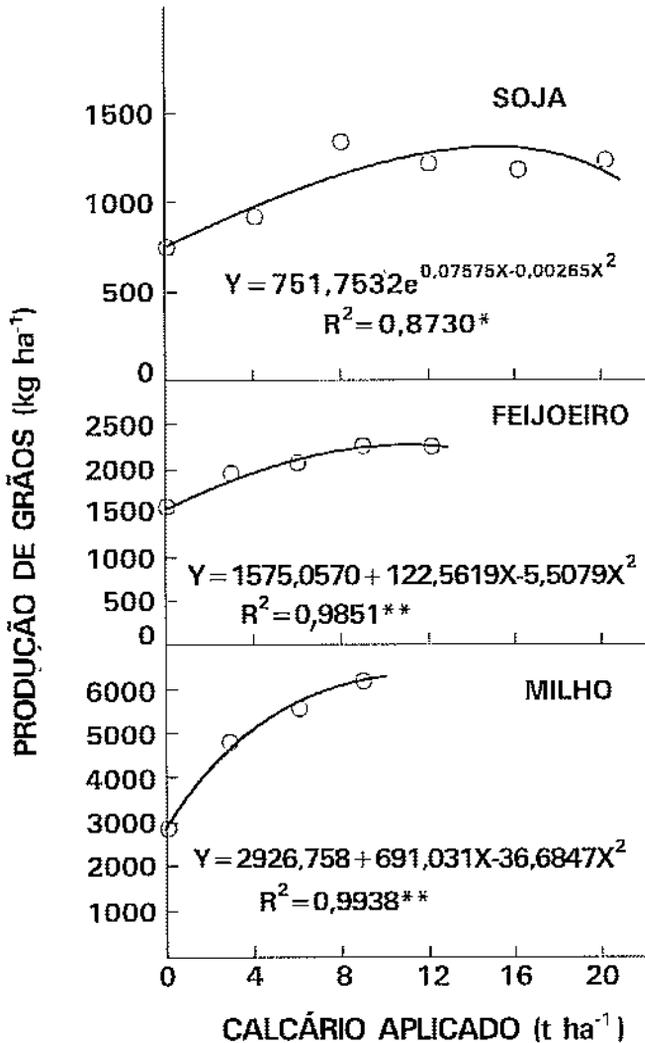


FIG. 6 Relação entre o calcário aplicado e a produção das culturas de soja, feijoeiro e milho, em solo de cerrado. Adaptada de Fageria (1998) e Raji (1991).



FIG. 7 Resposta do feijoeiro, em solo de várzea, à aplicação de 0, 25 g, 45 g, 100 g, 150 g e 200 g de calcário por vaso com 6 kg de solo.

A maioria dos solos de várzea do Brasil possui alto teor de alumínio, o que causa toxicidade às leguminosas (Fageria et al., 1994, 1997b). Observa-se, na Figura 8, a resposta da produção relativa de matéria seca da parte aérea das culturas de arroz de terras altas, trigo e feijoeiro ao calcário, medida em relação ao pH, em solo de cerrado. A produção relativa da cultura de arroz de terras altas diminuiu com o aumento do pH do solo, enquanto a de trigo e feijoeiro aumentou quadraticamente. A produção relativa máxima estimada de trigo e feijoeiro foi obtida com pH 6. Na Tabela 8 é indicado o nível adequado de pH para a produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo, em solos de cerrado e várzea. O desenvolvimento das plantas de arroz, feijoeiro e trigo, sob diferentes níveis de pH do solo de cerrado, pode ser observado nas Figuras 9, 10 e 11. Verifica-se que, com o aumento do pH do solo, o crescimento da planta de arroz diminui (Figura 9), isto porque o arroz de terras altas é bastante tolerante à acidez do solo.

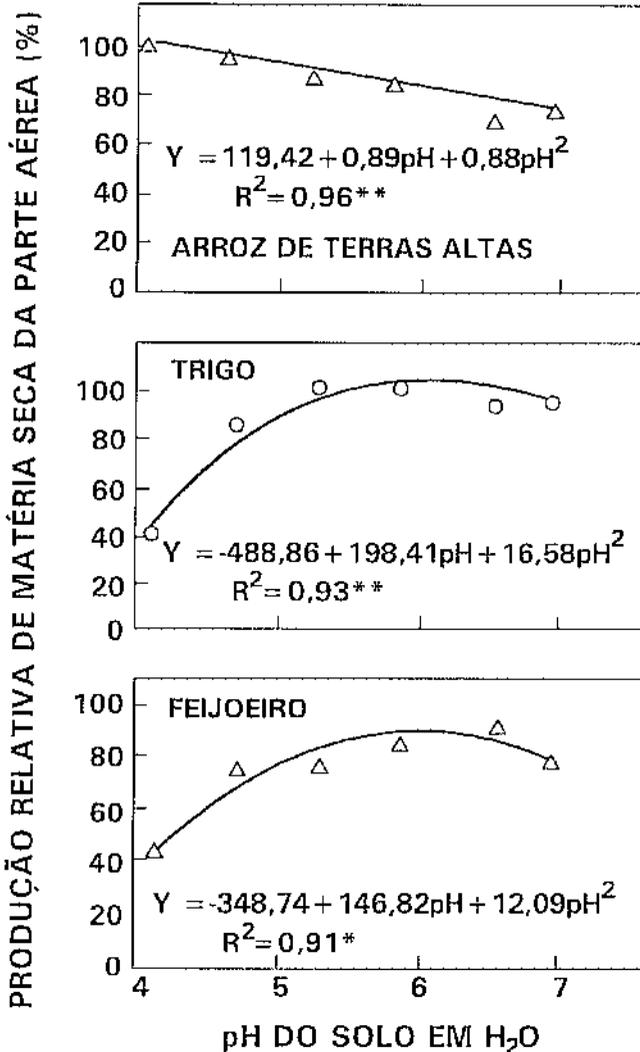


FIG. 8 Relação entre o nível de pH do solo e a produção de matéria seca da parte aérea das culturas de arroz de terras altas, trigo e feijoeiro, em solo de cerrado.

TABELA 8 pH adequado para a produção máxima de arroz, feijão, milho, soja e trigo, em solo de cerrado e várzea.

Cultura	pH Adequado	
	Solo de Cerrado (Oxissol) *	Solo de Várzea (Inceptissolo) **
Arroz de terras altas	5,5	-
Arroz irrigado	-	5,0
Feijoeiro	6,5	5,9
Milho	6,5	5,4
Soja	6,7	5,6
Trigo	-	6,3

* Experimentos de campo, cujos valores foram calculados com base em equações de regressão.

** Experimentos de casa de vegetação, cujos valores foram calculados com base em equações de regressão.

Fonte: Fageria (1998).



FIG. 9 Desenvolvimento das plantas de arroz de terras altas em pH 4,6; 5,7; 6,2; 6,6 e 6,8, em solo de cerrado.



FIG. 10 Desenvolvimento das plantas de feijoeiro em pH 4,1; 4,6; 5,8; 6,7; 7,0 e 7,3, em solo de cerrado.



FIG. 11 Desenvolvimento das plantas de trigo em pH 4,1; 4,7; 5,3; 5,9; 6,6 e 7,0, em solo de cerrado.

A diminuição do crescimento do arroz está relacionada com a ocorrência de deficiência de micronutrientes com alto pH. Fageria (1998) verificou que a acumulação de macronutrientes na parte aérea e nos grãos de arroz aumentou quadraticamente com o aumento do pH do solo, enquanto a acumulação de ferro, manganês e zinco diminuiu (Figuras 12 e 13). Os sintomas de deficiência de ferro nas plantas de arroz foram observados a partir de pH 5,7. Sumner (1997) determinou o pH adequado para a cultura de soja com dados experimentais de 500 ensaios em várias partes do mundo, inclusive do Brasil (Figura 14). O pH adequado foi estabelecido em torno de 6.

Em solos ácidos, as plantas podem exibir sistema radicular reduzido devido à toxicidade de alumínio e à deficiência de cálcio e de fósforo. Na Figura 15 observa-se o desenvolvimento do sistema radicular do feijoeiro sob diferentes níveis de pH do solo de cerrado. O sistema radicular aumentou até o pH de 5,9 e depois diminuiu. Da mesma maneira, o sistema radicular da soja e do arroz de terras altas aumentou com a aplicação de calcário (Figura 16) e fósforo (Figura 17), em solo de cerrado. Isto significa que a calagem e o fósforo possibilitam maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas, facilitando ainda mais a absorção e utilização dos nutrientes e da água pelas culturas.

Recomendações de Calagem

O calcário é um dos recursos minerais brasileiros mais abundantes. As reservas já conhecidas são enormes e tendem a ampliar-se, à medida que a pesquisa de prospecção avance em todo o território. Ao analisar a distribuição das reservas de calcário por Estado (Tabela 9), verifica-se que as reservas de Mato Grosso do Sul (29%), Minas Gerais (19,1%), Paraná (7,8%), São Paulo (5,2%) e Mato Grosso (3,2%), localizadas estrategicamente para a agricultura de ponta no momento, representam cerca de 65% do total conhecido no Brasil.

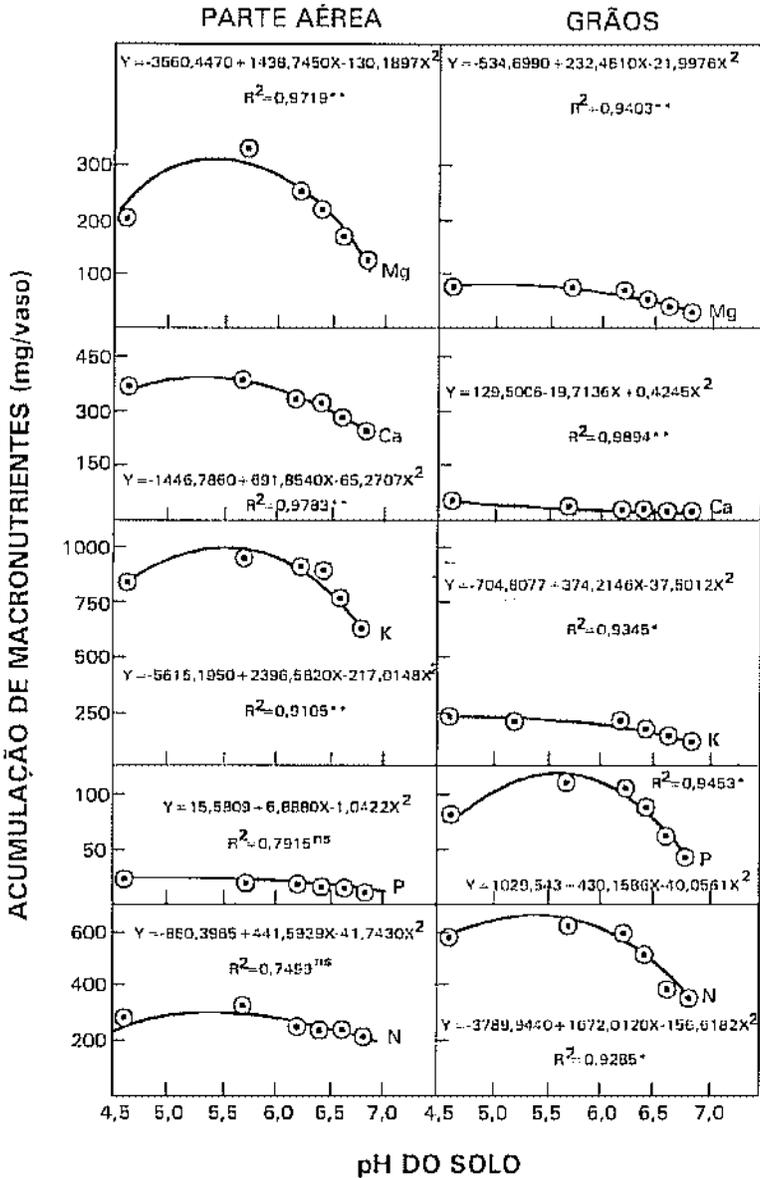


FIG. 12 Relação entre o pH e a acumulação de macronutrientes na parte aérea e grãos de arroz de terras altas, em solo de cerrado.

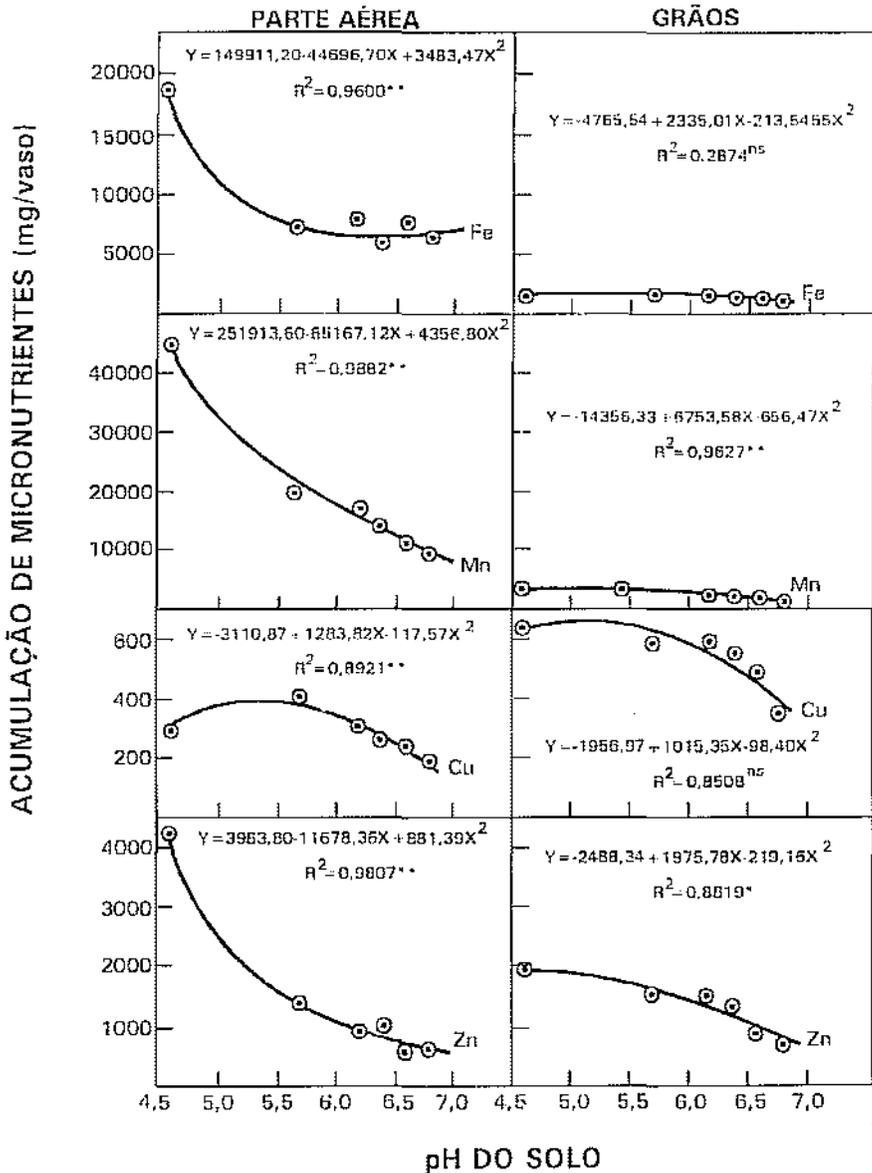


FIG. 13 Relação entre o pH e a acumulação de micronutrientes na parte aérea e grãos de arroz de terras altas, em solo de cerrado.

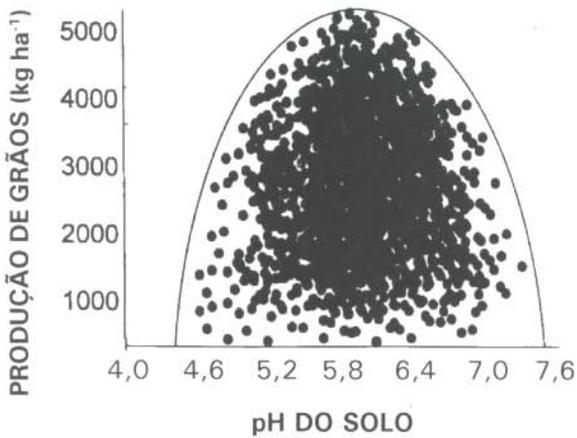


FIG. 14 Relação entre o pH e a produção de grãos de soja, considerando-se dados de 500 ensaios conduzidos em várias partes do mundo, inclusive Brasil.

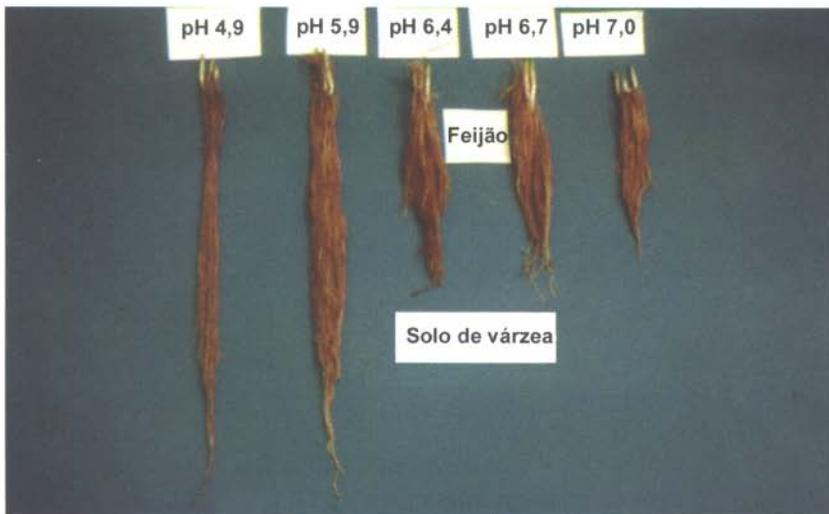


FIG. 15 Desenvolvimento do sistema radicular do feijoeiro, em solo de várzea, em pH 4,9; 5,9; 6,4; 6,7 e 7,0.



FIG. 16 Desenvolvimento do sistema radicular de soja, em solo de cerrado, com a aplicação de 0, 4 t e 12 t ha^{-1} de calcário.

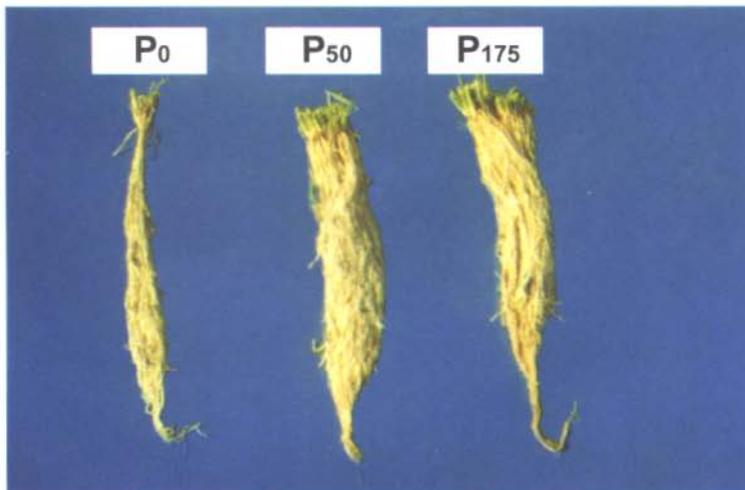


FIG. 17 Desenvolvimento do sistema radicular do arroz de terras altas, em solo de cerrado, com a aplicação de 0, 50 mg e 175 mg de P kg^{-1} de solo.

TABELA 9 Distribuição das reservas de calcário no Brasil.

Estado	Quantidade (milhões de toneladas)			Total
	Medida	Indicada	Inferida	
Alagoas	55	55
Amazonas	74	228	44	346
Bahia	11.571	779	830	3.360
Ceará	1.536	1.361	1.674	4.571
Distrito Federal	168	33	59	260
Espírito Santo	448	140	145	733
Goiás	802	472	586	1.860
Maranhão	309	14	...	323
Mato Grosso	1.456	736	501	2.693
Mato Grosso do Sul	11.540	8.540	6.374	26.454
Minas Gerais	7.520	4.033	2.992	14.545
Pará	885	212	206	1.303
Paraná	538	211	75	824
Paraná	3.056	1.205	1.647	5.908
Pernambuco	286	169	140	595
Piauí	69	76	571	716
Rio de Janeiro	2.120	1.034	479	3.633
Rio Grande do Norte	2.454	1.792	1.033	5.279
Rio Grande do Sul	693	311	177	1.181
Rondônia	220	45	...	265
Santa Catarina	317	157	4	478
São Paulo	2.456	1.390	350	4.196
Sergipe	530	158	332	1.020
Brasil	39.272	23.106	18.230	80.608

Fonte: Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (1995).

Além disto, a reserva de calcário está distribuída em todo o território brasileiro, o que possibilita a sua aplicação nas culturas, economicamente.

No Brasil, as recomendações de calagem são feitas com base nos teores de alumínio, cálcio e magnésio e nos métodos de saturação por base. Quando o teor de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ é inferior a $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e o teor de argila é maior que 20%, a fórmula empregada é a seguinte:

$$\text{Necessidade de calcário (t ha}^{-1}\text{)} = 2 \times \text{Al} + [2 - (\text{Ca} + \text{Mg})]$$

Para solos com teor de argila maior que 20% e teor de $\text{Ca} + \text{Mg}$ maior que 2, utiliza-se a seguinte equação:

$$\text{Necessidade de calcário (t ha}^{-1}\text{)} = 2 \times \text{Al}$$

Quando se tratar de solo com teor de argila menor que 20%, a necessidade de calcário (N.C.) será indicada pelo maior valor encontrado entre uma destas duas fórmulas:

$$\text{N.C. (t ha}^{-1}\text{)} = 2 \times \text{Al} \text{ ou } \text{N.C (t ha}^{-1}\text{)} = 2 - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

É oportuno ressaltar que os solos arenosos têm, em geral, uso agrícola limitado, por apresentarem baixa capacidade de troca de cátions, baixa capacidade de retenção de água e maior suscetibilidade à erosão. Deve-se considerar que a dose de calcário calculada por este método é insuficiente para elevar a saturação por base ou pH do solo aos níveis adequados para a maioria das culturas, tanto em solo de cerrado como no de várzea. Portanto, um outro método para calcular a necessidade de calcário é o que utiliza a saturação por bases do solo. Do ponto de vista da propriedade química do solo, a saturação por base é um importante índice da acidez do solo, como foi discutido anteriormente. A necessidade de calcário é calculada pela fórmula apresentada a seguir.

$$\text{N.C. (t ha}^{-1}\text{)} = [\text{CTC}_{\text{potencial}} (V_2 - V_1) / 100] \times f$$

onde: $CTC_{\text{potencial}}$ = capacidade de troca de cátions (Ca + Mg + K + Na + H + Al) $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; V_2 = saturação por base adequada para a cultura a ser implantada; V_1 = saturação por base atual do solo; f = 100/ PRNT do calcário.

Na Tabela 10 são indicados os níveis adequados de saturação por base para algumas culturas em solo de cerrado e várzea. Não são muitos os dados de pesquisa disponíveis sobre os solos de várzea em condições de campo. Assim, vale citar o trabalho de Fageria (1998), conduzido em casa de vegetação na Embrapa Arroz e Feijão, pelo qual foi determinada a relação entre saturação por base e produção relativa de matéria seca da parte aérea de várias culturas, em solo de várzea (Figura 18). Baseada na equação de regressão, a produção máxima de trigo foi obtida com a saturação por base de 79%, a de milho com 62%, a de arroz irrigado com 50%, a de soja com 65% e a de feijoeiro com 71%.

Uso de Gesso Agrícola

O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - sulfato de cálcio), um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, é um corretivo para a acidez do solo. O gesso não neutraliza os íons H^+ , mas precipita o alumínio e fornece cálcio e enxofre como nutrientes. A lixiviação de cálcio na camada subsuperficial (abaixo de 20 cm) ocorre como sulfato, precipitando alumínio do sub-solo, possibilitando melhor desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Segundo Sousa et al. (1995), 86% da área agricultável do cerrado apresenta, em sua subsuperfície, teor de cálcio inferior a $0,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo. Nesta situação, o sistema radicular das culturas não se desenvolve na camada subsuperficial e diminui a absorção de água e nutrientes. Se ocorrer veranico na fase crítica da planta, ao redor da floração, o efeito na produção é marcante.

TABELA 10 Valores adequados da saturação por bases para algumas culturas.

Cultura	Tipo de Solo	Tipo de Experimento	Saturação por Bases (%)	Referência Bibliográfica
Arroz de terras altas	Cerrado (Oxissolo)	Campo	36	Fageria (1998)
Arroz de terras altas	Cerrado (Oxissolo)	Campo	30	Sousa et al. (1996)
Arroz de terras altas	Cerrado (Oxissolo)	Campo	50	Lopes et al. (1991)
Feijão	Cerrado (Oxissolo)	Campo	50	Fageria (1998)
Feijão	Cerrado (Oxissolo)	Campo	50	Sousa et al. (1996)
Feijão	Cerrado (Oxissolo)	Campo	56	Rajj & Quaggio (1997)
Feijão	Cerrado (Oxissolo)	Campo	70	Lopes et al. (1991)
Feijão	Cerrado (Oxissolo)	Casa de vegetação	67	Fageria et al. (1996)
Feijão	Várzea (Inceptissolo)	Casa de vegetação	71	Fageria et al. (1996)
Milho	Cerrado (Oxissolo)	Campo	52	Fageria (1998)
Milho	Cerrado (Oxissolo)	Campo	50	Sousa et al. (1996)
Milho	Cerrado (Ultissolo)	Campo	60	Rajj & Quaggio (1997)
Milho	Várzea (Inceptissolo)	Casa de vegetação	62	Fageria (1998)
Milho	Cerrado (Oxissolo)	Campo	70	Lopes et al. (1991)
Soja	Cerrado (Oxissolo)	Campo	61	Fageria (1998)
Soja	Cerrado (Oxissolo)	Campo	50	Sousa et al. (1996)
Soja	Cerrado (Oxissolo)	Campo	60	Rajj & Quaggio (1997)
Soja	Várzea (Inceptissolo)	Casa de vegetação	65	Fageria (1998)
Trigo	Cerrado (Oxissolo)	Campo	50	Sousa et al. (1996)
Trigo	Cerrado (Oxissolo)	Campo	60	Lopes et al. (1991)
Trigo	Várzea (Inceptissolo)	Casa de vegetação	79	Fageria (1998)
Sorgo	Cerrado (Oxissolo)	Campo	67	Rajj & Quaggio (1997)
Sorgo	Cerrado (Oxissolo)	Campo	70	Lopes et al. (1991)
Algodão	Cerrado (Oxissolo)	Campo	54	Rajj & Quaggio (1997)
Algodão	Cerrado (Oxissolo)	Campo	70	Lopes et al. (1991)
Cana-de-açúcar	Cerrado (Oxissolo)	Campo	60	Rajj & Quaggio (1997)

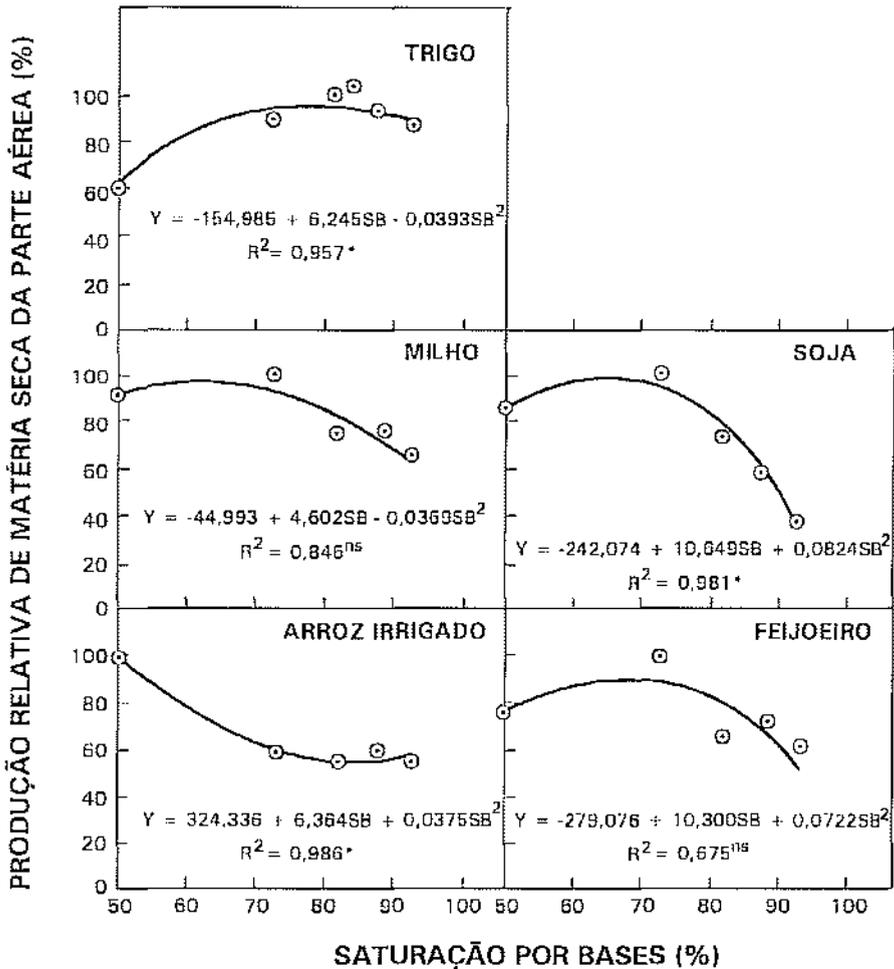


FIG. 18 Relação entre a saturação por bases e a produção relativa de matéria seca da parte aérea de trigo, milho, arroz irrigado, soja e feijoeiro, em solo de várzea.

Para recomendação de gesso, Sousa et al. (1995) desenvolveram a seguinte fórmula:

$$\text{Necessidade de gesso (kg ha}^{-1}\text{)} = 50 \times \text{teor de argila (\%)}^2$$

O gesso agrícola deve possuir 15% de enxofre, e para a avaliação do teor de argila deve-se considerar a camada subsuperficial, ou seja as profundidades de 20-40 cm ou 40-60 cm. Se existirem dados da textura do solo, as recomendações de gesso podem ser feitas de acordo com os critérios relacionados a seguir.

- P* Solo arenoso (< 15% de argila): 700 kg de gesso ha⁻¹;
- P* Solo com textura média (15% a 35% argila): 1.200 kg de gesso ha⁻¹;
- P* Solo de textura argilosa (35% a 60 % de argila): 2.200 kg de gesso ha⁻¹; e
- P* Solo muito argiloso (> 60% argila): 3.200 kg de gesso ha⁻¹.

Uso de Espécies ou Cultivares Tolerantes

Uma estratégia importante no manejo de solos ácidos é o uso de espécies e/ou cultivares tolerantes à acidez do solo. Culturas como arroz, amendoim, batata, caupi, mandioca, milho e guandu são relativamente tolerantes à acidez do solo, enquanto o feijoeiro, a soja, o sorgo e o trigo são considerados suscetíveis à acidez. Contudo, entre estas existem algumas cultivares tolerantes à acidez do solo (Fageria, 1989; Carver & Ownby, 1995).

Uso de Matéria Orgânica

O uso de matéria orgânica, na forma de restos culturais, esterco animal e adubação verde pode diminuir a acidez do solo. Alguns trabalhos de pesquisa realizados recentemente têm evidenciado o efeito benéfico da matéria orgânica na correção da acidez do solo (Miyazawa et al., 1993; Pocknee & Sumner, 1997). Um destes efeitos é o aumento do pH do solo através de vários mecanismos, tais como: (1) adsorção de H⁺ e Al³⁺

na superfície da matéria orgânica; (2) ocorrência de condições reduzidas no solo devido ao aumento das atividades microbiológicas durante a decomposição da matéria orgânica; (3) associação de ânions orgânicos com o H^+ no solo; e (4) aumento do teor de cátions básicos.

CONCLUSÕES

A acidez do solo é um fator limitante à produção agrícola nos solos de cerrado e de várzea. Teoricamente, a acidez é caracterizada pelos teores de H^+ e Al^{3+} no solo; na prática, contudo, a acidez do solo é um complexo de vários fatores, incluindo as deficiências e/ou toxicidades nutricionais, redução da atividade microbiana benéfica para as plantas e erosão do solo. Além disto, aumenta a incidência de doenças, principalmente fúngicas, que prejudicam o crescimento das plantas.

Entre as diversas práticas de manejo dos solos ácidos, o uso de calcário é a mais comum e a mais efetiva. Na prática da calagem, vários fatores devem ser levados em conta, como a necessidade de calagem pela cultura, o pH, a textura e o teor de matéria orgânica do solo. Além destes, também devem ser considerados a granulometria do calcário, o tempo e a frequência da calagem e, finalmente, o custo do material usado para calagem.

Níveis adequados de pH, saturação por base, saturação por alumínio e doses adequadas de calcário para solos de cerrado e várzea já foram estabelecidos, e estes índices podem ser utilizados para identificação do grau de acidez e, conseqüentemente, para a sua correção. Outra prática eficiente é o uso de espécies ou de cultivares tolerantes à acidez. Neste sentido são necessários mais trabalhos de pesquisa para incorporar a tolerância em cultivares produtivas e/ou adaptáveis às condições ácidas do solo.

São muitas as informações publicadas sobre a prática da calagem para os solos de cerrado, mas para os solos de várzea estas ainda são escassas. Outro aspecto que deve ser considerado é o manejo da acidez no sistema de plantio direto, em rotação de culturas. Tanto para solos de cerrado como para os de várzea, não existem dados suficientes neste sentido, o que indica a necessidade urgente de trabalhos de pesquisa sobre o manejo da fertilidade do solo, sob diferentes saturações por bases, em sistema de plantio direto ou cultivo mínimo. Informações sobre a interação da matéria orgânica do solo com a acidez também são escassas. Ademais, é importante que mais pesquisas sejam desenvolvidas sobre o uso de gesso agrícola, sob diversos aspectos da química, física e biologia do solo, em sistema de rotação de culturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO AGRÍCOLA (São Paulo, SP). **Proposta para um plano nacional de calcário agrícola-PLANACAL**. São Paulo, 1995. 24p..
- CARVER, B.F.; OWNBY, J.D. Acid soil tolerance in wheat. **Advances in Agronomy**, New York, v.54, p.117-173, 1995.
- CAUDLE, N. **Managing soil acidity**. Raleigh: TropSoils, 1991. 28p. (TropSoils. Groundworks, 1).
- COCHRANE, T.T. Understanding and managing acid soils of tropical South America. In: **RICE PRODUCTION ON ACID SOILS OF THE TROPICS**, 1991, Kandy, Srilanka. **Proceedings**. Kandy: Institute of Fundamental Studies, 1991. p.113-122.

- CONYERS, M.K.; DAVEY, B.G. Observations on some routine methods for soil pH determination. **Soil Science**, Baltimore, v.145, n.1, p.29-36, 1988.
- ESWARAN, H.; REICH, P.; BEINROTH, F. Global distribution of soils with acidity. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte, MG. **Proceedings**. Campinas: SBCS, 1997. p.159-164.
- FAGERIA, N.K. **Estudos de calagem e adubação do arroz e do feijoeiro na região dos cerrados**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1998. 66p. (EMBRAPA. Programa 04 – Grãos. Subprojeto 04.O.94.072-01). Relatório Final.
- FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA-DPU, 1989. 425p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 18).
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Response of common bean, upland rice, corn, wheat, and soybean to soil fertility of an Oxisol. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.20, n.10, p.1279-1289, 1997.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2.ed. New York: Marcel Dekker, 1997a. 624p.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; ZIMMERMANN, F.J.P. Caracterização química e granulometria de solos de várzea de alguns Estados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.2, p.267-274, 1994.
- FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P. de; DUTRA, L.G. **Deficiências nutricionais na cultura do feijoeiro e suas correções**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1996. 40p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 65).

- FAGERIA, N.K.; SANTOS, A.B.; LINS, I.D.G.; CAMARGO, S.L. Characterization of fertility and particle size of varzea soils of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul States of Brazil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.28, n.1/2, p.37-47, 1997b.
- LOPES, A.S.; SILVA, M.C.; GUILHERME, L.R.G. **Acidez do solo e calagem**. São Paulo: ANDA, 1991. 15p. (ANDA. Boletim Técnico, 1).
- McLEAN, E.O. Soil pH and lime requirement. In: PAGE, A.L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. v.2, p.199-224. (ASA. Agronomy, 9).
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.3, p.411-416, 1993.
- POCKNEE, S.; SUMNER, M.E. Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential. **Soil Science Society of America, Journal**, Madison, v.61, n.1, p.86-92, 1997.
- RAIJ, B. van. Fertility of acid soils. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 2., 1990, Beckley, WV. **Proceedings**. Dordrecht: Kluwer, 1991. p.159-167.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A. Methods used for diagnosis and correction of soil acidity in Brazilian: overview. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte, MG. **Proceedings**. Campinas: SBCS, 1997. p.205-214.
- ROSOLEM, C.A. **Brazil: acid soils and agriculture**. 4p. (Documento apresentado antes do International Steering Committee of the Symposium Plant-Soil Interactions at Low pH, Beckley, USA, 24-29 June 1990).

- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. **Uso de gesso agrícola nos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1995. 20p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 32).
- SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N. de; LOBATO, E. **Avaliação dos métodos de determinação da necessidade de calcário em solos de cerrado**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 14p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 27).
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Correção do solo e adubação da cultura da soja**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 30p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 33).
- SUMNER, M.E. Procedures used for diagnosis and correction of soil acidity: a critical review. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte, MG. **Proceedings**. Campinas: SBCS, 1997. p.195-204.