

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NURIÇÃO DE PLANTAS

RESPOSTA DO FEJJOEIRO À APLICAÇÃO DE CALCÁRIO EM SOLOS DE VÁRZEA DO SUL DE MINAS GERAIS⁽¹⁾

V. FAQUIN⁽²⁾, C. A. B. ANDRADE⁽³⁾, A. E. FURTINI NETO⁽⁴⁾,
A. T. ANDRADE⁽⁵⁾ & N. CURI⁽²⁾

RESUMO

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), no período de agosto de 1995 a junho de 1996. Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de calcário em algumas propriedades químicas e na nutrição e produção do feijoeiro cultivado em amostras de quatro solos de várzea e comparar as doses estabelecidas como adequadas com as indicadas pelos métodos da saturação por bases e do Al e Ca + Mg. Utilizou-se um fatorial 6 x 4 em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, constando de seis níveis de saturação por bases (V%): saturação natural, 40, 60, 80, 100 e 120% e quatro solos: Aluvial, Glei Pouco Húmico, Glei Húmico e Orgânico. Após dois cultivos sucessivos, os resultados mostraram que, nos solos de várzea estudados em casa de vegetação, os níveis de saturação por bases e de pH em água para atingir 90% da produção máxima do feijoeiro variaram de 44 a 52% e de 5,1 a 5,3, respectivamente, valores abaixo dos indicados para a cultura em solos das partes mais elevadas. As doses de calcário necessárias para elevar o V e o pH aos valores estabelecidos aproximaram-se das indicadas pelo método da saturação por bases para V₂ igual a 70%; o método do Al e Ca + Mg subestimou essas doses. A calagem foi importante para fornecer Ca e Mg e para neutralizar a toxidez de Al e Mn.

Termos de indexação: calagem, saturação por bases, pH do solo, nutrição mineral, matéria orgânica, química do solo.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do segundo autor, apresentada à Universidade Federal de Lavras (UFLA). Trabalho apresentado na XXII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, entre 21 e 26 de julho de 1996, Manaus (AM). Financiado pelo CNPq e FAPEMIG. Recebido para publicação em setembro de 1997 e aprovado em julho de 1998.

⁽²⁾ Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq.

⁽³⁾ Professor do Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, CEP 87020-900 Maringá (PR).

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq.

⁽⁵⁾ Acadêmico de Agronomia, UFLA. Bolsista de I.C. do CNPq.

SUMMARY: *RESPONSE OF COMMON BEAN TO LIMESTONE APPLICATION IN LOWLAND SOILS OF SOUTHERN MINAS GERAIS STATE, BRAZIL*

The experiment was conducted under greenhouse conditions at the Soil Science Department of the Federal University of Lavras, Lavras, from August 1995 to June 1996. The objectives were to evaluate the application of limestone on several chemical properties and on the nutrition and production of common bean cultivated in samples of four lowland soils and to compare the doses established as appropriate according to base saturation and Al and Ca + Mg methods. A 6x4 factorial scheme in a completely randomized design with four replications was utilized, involving six levels of base saturation (V): natural condition, 40, 60, 80, 100 and 120% and four soils: Alluvial, Low Humic Gley, Humic Gley and Bog. After two successive cultivations, the data showed that, in the studied soils at greenhouse conditions, the levels of base saturation and pH in water for reaching 90% of maximum production of common bean ranged from 44 to 52% and from 5.1 to 5.3, respectively, values which are lower than those indicated for this crop in highland soils. The limestone doses needed to increase the V and pH values to levels established were close to those indicated by the base saturation method for V = 70%; the Al and Ca + Mg method underestimated these doses. Liming is important to furnish Ca and Mg and in the neutralization of Al and Mn toxicity.

Index terms: liming, base saturation, soil pH, mineral nutrition, organic matter, soil chemistry.

INTRODUÇÃO

No Brasil, estima-se que cerca de 30 milhões de hectares de várzeas poderiam ser incorporados ao processo produtivo. O estado de Minas Gerais dispõe de 1.500.000 ha de várzeas potencialmente irrigáveis (Santos & Silveira, 1996). De acordo com a EMBRAPA (1982a), os solos típicos de várzea em Minas Gerais podem ser enquadrados, principalmente, nas classes Aluvial, Gleí Pouco Húmico, Gleí Húmico e Orgânico, podendo variar desde minerais até orgânicos. De maneira geral, os solos de várzea são ácidos e pouco férteis, com problemas de toxidez de alumínio e, em certos casos, de manganês (Fageria et al., 1996).

Muitos produtores que cultivam suas várzeas não utilizam essas áreas com outras culturas em sucessão ao arroz na entressafra. Nesse caso, o feijoeiro mostra-se como grande opção para o cultivo desses solos no período da seca, principalmente em rotação com o arroz e outras culturas (Moraes & Dynia, 1992). Como todas as leguminosas, o feijoeiro exige pH mais elevado e, segundo Guedes & Junqueira Neto (1978), a faixa adequada está entre 5,5 e 6,5. A espécie é considerada, também, bastante sensível às concentrações tóxicas de Al e Mn (Rosolem, 1987; Fageria & Santos, 1997). Assim, a calagem torna-se uma prática indispensável para viabilizar o cultivo dessa leguminosa nesses solos.

Para os solos de várzeas, principalmente aqueles ricos em matéria orgânica, que apresentam características físicas e químicas próprias, bem diferentes dos minerais, a recomendação de calagem

tem sido baseada em dados obtidos nos solos minerais com resultados nem sempre satisfatórios. Tais recomendações podem sub ou superestimar a dose a ser aplicada, dependendo das características do solo, como observado para a sucessão soja-trigo, em solo Gleí Pouco Húmico (Miranda, 1993), em feijão-milho verde, em solo Orgânico (Quaggio et al., 1985), e em abobrinha, em solo Orgânico (Quaggio et al., 1987).

Os solos orgânicos, em virtude dos elevados teores de matéria orgânica e poder-tampão, exigem doses muito elevadas de calcário para correção da acidez, quando comparados com os solos minerais. Entretanto, de acordo com McLean e Brown (1984), esses solos não requerem a calagem nas doses estabelecidas para os minerais, visto que os efeitos tóxicos do Al, Mn e Fe são reduzidos pelo efeito complexante dos compostos orgânicos; dessa maneira, evitam-se, também, desequilíbrios nutricionais com o potássio e com os micronutrientes (Lucas & Davis, 1961).

Segundo Miranda (1993), há necessidade de maiores estudos sobre os métodos de recomendação e sobre o efeito da correção do pH do solo pela calagem no rendimento das culturas em solos de várzea.

Assim, este trabalho teve como objetivos estudar o efeito de doses de calcário em algumas propriedades químicas e na nutrição e produção do feijoeiro cultivado em amostras de quatro solos de várzea e comparar as doses adequadas estabelecidas com as indicadas pelos métodos da saturação por bases e do Al e Ca + Mg.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento, que constou de dois cultivos sucessivos com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Carioca-MG) em vasos de três dm³, foi desenvolvido na casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG), durante o período de agosto de 1995 a junho de 1996.

Utilizaram-se amostras da camada superficial (0-20 cm) de quatro solos de várzea, nunca cultivados, de Lavras (MG), pertencentes às classes Glei Pouco Húmico (GP), Orgânico (O, artificialmente drenado), Glei Húmico (GH) e Aluvial (A), todos de textura média. Após a secagem e peneiramento em malha de cinco mm, subamostras de cada solo foram separadas para análises químicas.

Tanto no primeiro quanto no segundo cultivo, utilizou-se um fatorial 6 x 4 em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, constando de seis níveis de saturação por bases do complexo de troca (V%): saturação natural (Vnat.); 40 (V40); 60 (V60); 80 (V80); 100 (V100) e 120% (V120), e quatro solos de várzea: GP, O, GH e A.

Para a determinação das doses de calcário equivalentes aos V% estabelecidos nos tratamentos, foi desenvolvido um experimento preliminar com sete doses de calcário para cada solo, obtendo-se, após 30 dias, as curvas de incubação e as respectivas equações, por meio das quais foram calculadas as doses para o experimento definitivo, cujos valores encontram-se no quadro 1. Utilizou-se um calcário dolomítico comercial calcinado e micropulverizado (partículas menores que 0,3 mm) com PRNT = 100%, CaO = 36% e MgO = 14%. Após a aplicação das doses de calcário referentes aos tratamentos, os solos dos vasos permaneceram em incubação com umidade equivalente a 70% do volume total de poros (VTP) por um período de 30 dias.

No primeiro cultivo, após a incubação com o calcário, todos os tratamentos receberam uma adubação básica de sementeira, que correspondeu, por dm³ de solo, a: 100 mg de N; 300 mg de P; 100 mg de K; 40 mg de S; 0,5 mg de B; 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn. Antes da sementeira, após a calagem e adubação básica, os solos dos vasos foram amostrados para novas análises químicas. Foram realizadas adubações de cobertura nitrogenadas e potássicas, diferenciadas de acordo com o crescimento das plantas. Os tratamentos que proporcionaram em cada solo um crescimento normal das plantas receberam 100 mg de N e 50 mg de K por dm³, parcelados em três coberturas, aos 10, 18 e 25 dias da emergência. Os tratamentos, cujas plantas apresentaram menor crescimento, receberam coberturas proporcionalmente menores, evitando-se, assim, aplicações excessivas dos nutrientes.

No segundo cultivo, a adubação básica de sementeira para todos os tratamentos correspondeu a 50 mg de N; 100 mg de P; 125 mg de K; 20 mg de S; 0,25 mg de B; 0,75 mg de Cu e 2,5 mg de Zn por dm³ de solo. Adubações nitrogenadas e potássicas em cobertura também foram aplicadas da mesma forma descrita anteriormente. No segundo cultivo, não houve aplicação de calcário.

As fontes dos nutrientes das adubações básica e de cobertura foram sais p.a.: NH₄NO₃, NH₄H₂PO₄, Ca(H₂PO₄)₂.H₂O, (NH₄)₂SO₄, KH₂PO₄, CaSO₄.2H₂O, KNO₃, H₃BO₃, CuCl₂ e ZnCl₂.

Foram semeadas oito sementes de feijoeiro por vaso, desbastando-se para duas plântulas uma semana após a emergência. A umidade dos solos foi mantida a 70% do VTP, por meio de pesagens periódicas dos vasos.

Nos dois cultivos, das duas plantas desenvolvidas por vaso no período experimental, uma foi colhida na época do florescimento (estádio R6) e outra no final do ciclo (estádio R9) (Fernández et al., 1986).

Quadro 1. Doses de calcário aplicadas nos solos Glei Pouco Húmico (GP), Orgânico (O), Glei Húmico (GH) e Aluvial (A), calculadas pelas equações das curvas de incubação, correspondentes às saturações por bases estabelecidas nos tratamentos

V (%)	t ha ⁻¹⁽¹⁾							
	HGP	HO	HGH	A				
V _{nat}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V ₄₀	1,68	1,80	4,79	5,64	3,94	3,20	1,08	0,15
V ₆₀	7,40	3,30	9,51	8,86	11,00	5,85	4,93	1,61
V ₈₀	13,11	4,80	14,22	12,08	18,06	8,51	8,73	3,07
V ₁₀₀	18,82	6,30	18,94	15,30	25,13	11,17	12,59	4,51
V ₁₂₀	24,53	7,80	23,66	18,52	32,19	13,83	16,46	5,99

⁽¹⁾ Na segunda coluna, para cada solo, doses de calcário calculadas pela equação: $NC = \frac{T(V_2 - V_1)}{PRNT}$

Nas folhas das plantas colhidas na época do florescimento, analisaram-se os teores de Ca, Mg, K e Mn, de acordo com Malavolta et al. (1989). A parte aérea das plantas colhidas no final do ciclo foi separada em hastes + ramos, folhas e grãos, seca em estufa a 65-70°C e pesada.

Entre o primeiro e o segundo cultivo, os solos dos vasos foram secos, revolvidos, e, depois de aplicada nova adubação básica foram amostrados para análise química, visando, principalmente, aos estudos de regressão entre as características químicas dos solos alteradas pela calagem e a produção de grãos pelo feijoeiro no segundo cultivo.

Realizaram-se análises de variância para os valores dos teores de Ca, Mg, K e Mn nas folhas das plantas colhidas no florescimento, bem como para os dados de produção de matéria seca de grãos (MSGR), no primeiro (1º), segundo (2º) e total (1º + 2º) dos cultivos, das plantas colhidas no final do ciclo. Equações de regressão foram ajustadas relacionando: a produção de matéria seca de grãos em todos os solos no 1º, 2º e total dos cultivos com as doses de calcário aplicadas; a produção relativa (PR%) de grãos no 1º e 2º cultivos com a saturação por bases observada (denominada Vreal) nas análises químicas de cada solo; o pH e o Vreal nos dois cultivos para cada solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alterações nas propriedades químicas dos solos

No quadro 2, encontram-se os resultados das propriedades químicas dos quatro solos originais e após a aplicação dos tratamentos de calagem e da adubação básica, antes do primeiro cultivo.

Originalmente, de acordo com a Comissão... (1989) e Raij et al. (1996), observa-se que os quatro solos estudados são de baixa fertilidade, caracterizados por uma acidez elevada, teor e, conseqüentemente, saturação por Al, variando de baixo (A) até muito alto (O), baixos teores de P e médios de K. À exceção do A, os solos contêm baixos teores de Ca e Mg, resultando em saturações por bases (V%) muito baixas. Os solos O e GH apresentam teores de matéria orgânica bastante altos; o GP e A, teores médios. O Mn apresenta teores muito elevados no A, altos no GP e médios no O e GH.

Como era esperado, o aumento das doses de calcário elevou, em todos os solos, o pH, os teores de Ca e Mg e a saturação por bases (V%) e reduziu os teores de Al, os valores de H + Al e a saturação por Al (m%). As alterações químicas provocadas pela calagem foram diferenciadas de acordo com o tipo de solo.

Quadro 2. Características químicas das amostras dos solos Glei Pouco Húmico, Orgânico, Glei Húmico e Aluvial originais e após a incubação com os tratamentos de calagem e aplicação da adubação básica, antes do primeiro cultivo

Característica	Original	Tratamento						Original	Tratamento						
		Vnat	V40	V60	V80	V100	V120		Vnat	V40	V60	V80	V100	V120	
Glei Pouco Húmico															
pH (H ₂ O) ⁽¹⁾	4,6	4,5	4,7	5,5	6,0	6,4	6,7	4,7	4,1	4,4	5,1	5,4	5,6	5,9	
P-resina (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	8	150	150	150	150	150	150	12	138	150	150	150	150	70	
K (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	64	156	145	142	137	150	145	45	137	142	145	142	144	144	
Ca (mmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	8	12	26	41	49	56	62	5	13	43	65	76	91	93	
Mg (mmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	2	6	4	21	21	20	18	2	3	20	42	55	60	63	
Al (mmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	10	6	2	1	0	0	0	20	18	5	1	1	0	0	
H + Al (mmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	63	70	50	26	19	17	15	153	166	110	70	45	36	29	
S-SO ₄ ⁼ (mg dm ⁻³) ⁽³⁾	13	47,2	57,7	62,7	54,5	64,5	66,3	5,8	54,5	62,7	48,6	62,7	69,9	57,7	
V (%)	16	24	40	72	79	82	85	5	11	38	61	75	81	85	
Mn (mg dm ⁻³) ⁽⁴⁾	6,9	6,1	5,6	3,8	4,2	3,9	3,6	3,0	3,0	3,1	3,1	3,0	2,9	2,3	
M. Orgânica (g dm ⁻³) ⁽¹⁾	30	-	-	-	-	-	-	106	-	-	-	-	-	-	
Glei Húmico															
pH (H ₂ O) ⁽¹⁾	4,0	4,0	4,5	5,3	5,8	6,0	6,2	4,8	4,6	4,9	5,4	5,9	6,2	6,5	
P-resina (mg dm ⁻³) ⁽²⁾	9	150	150	150	111	150	138	9	150	138	150	150	150	150	
K (mg dm ⁻³) ⁽¹⁾	48	174	294	180	168	166	178	30	112	106	108	100	111	103	
Ca (mmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	7	16	46	77	99	100	108	17	25	28	48	52	59	64	
Mg (mmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	2	2	20	42	52	53	55	10	10	12	15	19	20	19	
Al (mmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	11	19	3	1	1	1	1	4	3	1	1	1	0	0	
H + Al (mmol _c dm ⁻³) ⁽¹⁾	123	186	123	50	32	23	21	45	56	50	40	26	23	19	
S-SO ₄ ⁼ (mg dm ⁻³) ⁽³⁾	11,4	44,4	64,5	80,2	80,2	78,3	97,3	13,7	56,1	41,8	57,7	62,7	59,4	62,7	
V (%)	16	11	37	71	83	87	89	38	40	46	62	74	78	82	
Mn (mg dm ⁻³) ⁽⁴⁾	2,0	3,5	3,6	3,5	3,5	3,4	2,3	67,7	35,1	32,5	31,5	30,3	29,5	27,6	
M. Orgânica (g dm ⁻³) ⁽¹⁾	239	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-	-	-	-	

⁽¹⁾EMBRAPA (1979); ⁽²⁾Raij et al. (1987); ⁽³⁾Tedesco et al. (1985); ⁽⁴⁾DTPA.

Embora as doses de calcário tenham sido calculadas pelas equações das curvas de incubação para cada solo, observa-se que os valores atingidos nos tratamentos V100 e V120 foram sempre inferiores aos propostos. No V120, as saturações por bases variaram, em função do solo, de um valor mínimo de 82%, no A, a um valor máximo de 89%, no GH. Já nos valores de saturação mais baixos, correspondentes aos tratamentos V40, V60 e V80, observa-se que as variações entre esses valores propostos e aqueles obtidos (Quadro 2) foram bastante pequenas, aproximando-se muito daqueles estabelecidos nos tratamentos. Esse comportamento deve-se ao uso das equações de incubação, fora dos limites de doses e de V estudados no experimento preliminar, para a estimativa das doses de calcário dos tratamentos de V100 e V120%. O fato mostra que, para doses de calcário e V elevados (acima de 80%), a relação entre essas variáveis não permaneceu linear. As características químicas dos solos afetadas pelas doses crescentes de calcário (pH, teores de Ca, Mg, Al, H + Al e saturação por Al (m%)), tiveram um comportamento semelhante ao de V%: as variações foram mais pronunciadas nas doses mais baixas de calcário (menores valores de V%, tratamentos - V40, V60 e V80) do que nas maiores (V100 e V120) (Quadro 2). De acordo com a

Comissão... (1989) e Raij et al. (1996), a saturação por bases ideal (V_2) para o feijoeiro é de 70%, independentemente do tipo de solo.

Comparando as doses de calcário ($t\ ha^{-1}$) utilizadas neste experimento, baseadas na curva de incubação, com as indicadas pela fórmula usual do método de saturação por bases (Quadro 1), observa-se que, nessas últimas, para os tratamentos que propõem saturações por bases iguais ou superiores a 60%, as doses são acentuadamente menores. Provavelmente, é nisso que se baseia Rosolem (1987 e 1996), ao afirmar que, quando a saturação por bases inicial (V_1) for menor do que 40%, é preciso que se faça o cálculo, considerando a saturação por bases desejada (V_2) de 85%, pois o uso de 70% levaria, na prática, à obtenção de um valor menor que o desejado.

Produção de grãos

A figura 1 mostra para todos os solos estudados resposta significativa ($P < 0,01$) na produção de grãos do feijoeiro à aplicação de calcário no primeiro, segundo e total dos cultivos. De maneira geral, a resposta seguiu um modelo raiz quadrática, ou seja, houve grande incremento na produção de grãos nas menores doses de calcário.

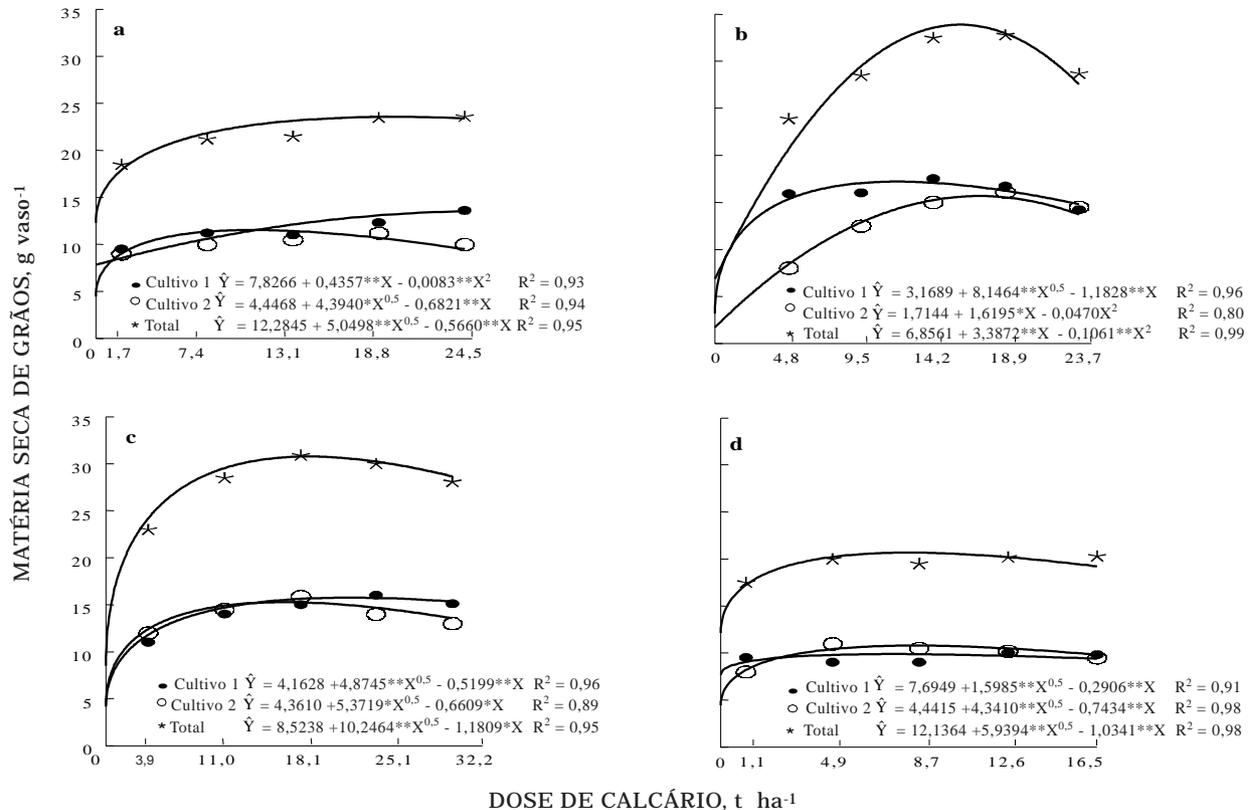


Figura 1. Produção de matéria seca de grãos (MSGR) no primeiro (1º), segundo (2º) e total (1º + 2º) dos cultivos do feijoeiro nos solos Glei Pouco Húmico (a), Orgânico (b), Glei Húmico (c) e Aluvial (d), em função das doses de calcário aplicadas (e * significativos a 1 e 5%, respectivamente)**

Para atingir a produção máxima de determinada cultura, são necessárias aplicações de doses de adubos e, ou, calcário que, em geral, não são economicamente viáveis. Frequentemente, consideram-se doses econômicas as que proporcionam 80 ou 90% do rendimento máximo (Faquin et al., 1995). Assim, estimaram-se essas doses para 90% da produção máxima a partir das equações de regressão apresentadas na figura 1, que relacionam a produção total de grãos nos dois cultivos em função das doses de calcário aplicadas, para todos os solos (Quadro 3). No índice de 90%, haveria uma redução de 70, 36, 61 e 74% nas doses de calcário para os solos GP, O, GH e A, respectivamente, ao passo que a produção de grãos sofreria decréscimo de apenas 10%. As maiores reduções verificadas para os solos GP, GH e A são devidas aos maiores incrementos na produção, com as menores doses de calcário aplicadas, o que levou ao ajuste raiz quadrática para as variáveis (Figura 1).

As doses de calcário para 90% da produção máxima variaram, consideravelmente, entre os solos (Quadro 3). Esperava-se que o solo GH, por apresentar o maior teor de matéria orgânica, fosse exigir a maior dose de calcário entre os solos. Sabe-se que a matéria orgânica confere aos solos elevado poder-tampão, sendo necessárias altas doses de corretivos para provocar pequenos aumentos de pH. Todavia, certamente, outros fatores físicos e químicos inerentes aos próprios solos influenciaram o crescimento e a produção da cultura, conferindo-lhes potenciais diferentes de produtividade. O solo A, por apresentar naturalmente menores teores de matéria orgânica e acidez potencial (H + Al) e maiores teores de Ca e Mg e saturação por bases (Quadro 2), exigiu a menor dose de calcário para atingir 90% da produção máxima (Quadro 3), embora o solo O tenha mostrado maior potencial de produção.

Comparou-se a produção relativa (PR%) de grãos do 1º e 2º cultivo com a saturação por bases observada (Vreal) antes de cada cultivo, para cada

solo estudado (Figura 2). Utilizando o mesmo critério para a produção absoluta de grãos em função das doses de calcário, estimou-se o Vreal correspondente a 90% da produção relativa, por meio das equações de regressão da figura 2 (Quadro 4). Observa-se que a produção relativa de 100% do feijoeiro está situada entre 68 (O e A) e 74% (GP e GH) de saturação por bases (Vreal) no solo. No índice de 90%, o Vreal foi acentuadamente menor, representando redução significativa na dose de calcário e redução de apenas 10% na produção relativa de grãos.

Os valores do Vreal para 90% da PR variou pouco entre os solos, de um mínimo de 44%, no GH, a um máximo de 52%, no A, abaixo, portanto, do recomendado pela Comissão... (1989) e Raj et al. (1996), que é de 70%.

A figura 3 mostra a estreita relação entre o Vreal e o pH em água dos solos de várzea estudados, avaliados antes de cada cultivo. Substituindo os Vreais para 90 e 100% da PR (Quadro 4) nas equações que relacionam o Vreal com pH em água (Figura 3), estimaram-se, para cada solo, os valores de pH em água correspondentes a essas produções (Quadro 4). Considerando adequada uma produção relativa de 90%, observa-se que o pH em água variou entre os solos de um mínimo de 5,1 a um máximo de 5,3.

Assim, de acordo com a classificação da Comissão... (1989), o feijoeiro atingiu uma PR de 90% em valores de pH médio e para o Vreal, segundo a literatura citada e Raj et al. (1996), em valores médios/baixos (Quadro 4).

Quaggio et al. (1985) obtiveram resposta em produção de grãos do feijoeiro à calagem em solo Orgânico, até 12 t ha⁻¹, que foi suficiente para elevar o pH a 4,9 e a saturação por bases a, aproximadamente, 50%. Em solo Gleí Pouco Húmico, com dois cultivos sucessivos de arroz e um de feijão na entressafra, não foram observados aumentos significativos na produção com doses de calcário superiores a 5 t ha⁻¹, dose equivalente à metade

Quadro 3. Produção total estimada de grãos de feijoeiro (1º + 2º cultivo), correspondente a 90 e 100% da produção máxima e doses de calcário estimadas para atingir essas produções em quatro solos de várzea

Solo	MSGR (g vaso ⁻¹)		Dose calcário (t ha ⁻¹)	
	90	100	90	100
	%			
GP	21,2	23,5	5,9	19,9
O	30,5	33,9	10,3	16,0
GH	27,7	30,7	7,4	18,8
A	18,6	20,6	2,1	8,2

Quadro 4. Saturação por bases real (Vreal) e pH em água estimados, correspondentes a 90 e 100% da produção relativa do feijoeiro cultivado nos solos Gleí Pouco Húmico (GP), Orgânico (O), Gleí Húmico (GH) e Aluvial (A)

Solo	Vreal		pH	
	90	100	90	100
	%			
GP	51	74	5,3	6,2
O	48	68	5,1	5,6
GH	44	74	5,1	6,0
A	52	68	5,3	5,9

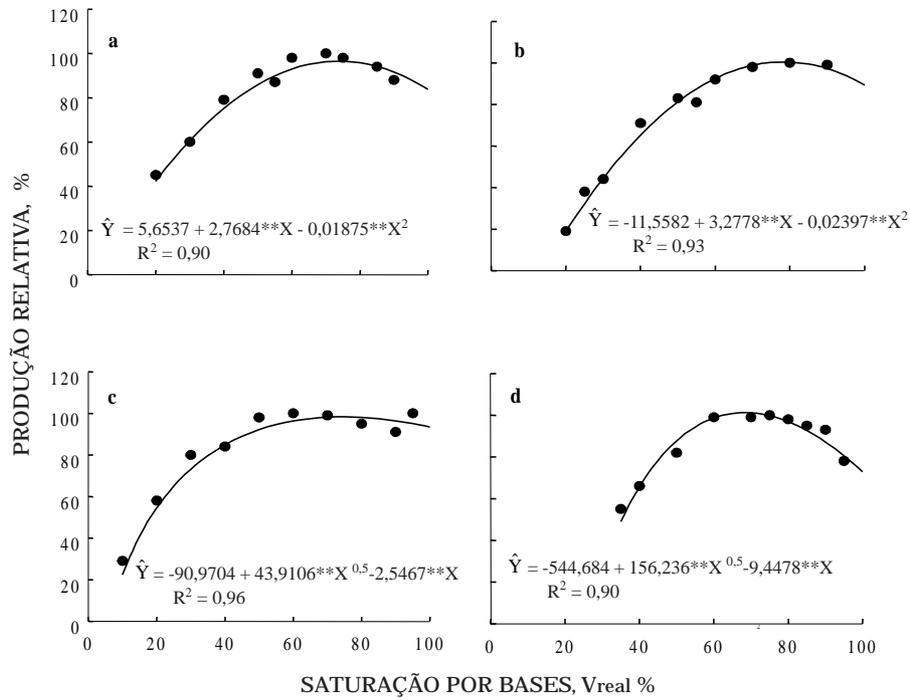


Figura 2. Produção relativa de grãos de dois cultivos do feijoeiro, em função da saturação por bases real (V_{real}), nos solos Gleí Pouco Húmico (a), Orgânico (b), Gleí Húmico (c) e Aluvial (d), avaliada antes de cada plantio (significativo a 1%).**

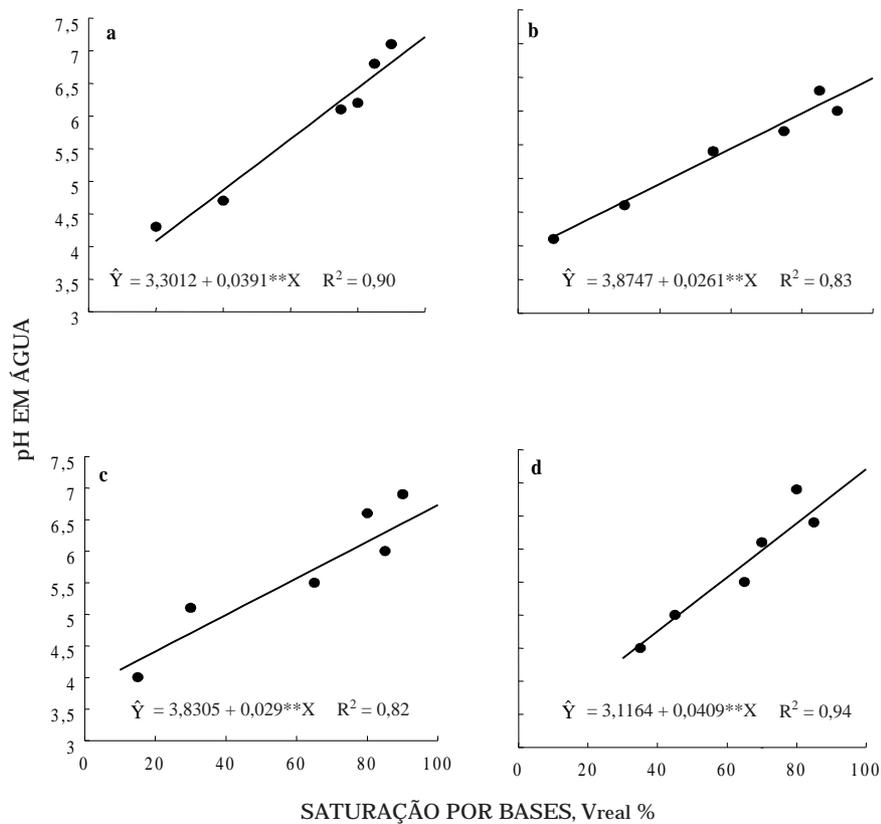


Figura 3. Relação entre o pH em água (1:2,5) e a saturação por bases em solos Gleí Pouco Húmico (a), Orgânico (b), Gleí Húmico (c) e Aluvial (d) (significativo a 1%).**

daquela recomendada pelo método SMP para elevar o pH a 5,5 (EMBRAPA, 1982b). Também em solo Gleí Pouco Húmico, Miranda (1993) observou que a dose de 4 t ha⁻¹ de calcário foi a mais indicada para a correção da acidez para a sucessão trigo-soja, sendo essa dose equivalente à recomendada pelo SMP para o pH em água para 5,5 ou saturação por bases de 50%.

Os resultados obtidos no presente trabalho e os anteriormente citados concordam com as recomendações de McLean e Brown (1984) de que a calagem para solos de várzea deve ser feita com a finalidade de elevar o pH em água do solo a 5,2, ou em torno de 1,0 a 1,5 unidade abaixo do adequado para solos minerais. Os autores justificam que em solos com elevados teores de matéria orgânica, os efeitos complexantes dos compostos orgânicos são suficientes para eliminar a toxidez de Al e Mn, em níveis de correção do solo mais baixos.

Como os solos orgânicos apresentam alto poder-tampão, as doses necessárias para elevar o pH e, ou, a saturação por bases aos níveis indicados para os solos minerais são muito elevadas. Neste caso, segundo Quaggio et al. (1987), a calagem deve ser feita para elevar a saturação por bases a 50-60%, evitando-se, também, desequilíbrios nutricionais do Ca e Mg com o K e possíveis deficiências dos micronutrientes Zn, Mn e B, caso não sejam feitas suas aplicações.

Calculando as doses de calcário recomendadas pelo método da saturação por bases para elevar V a 70%, de acordo com as análises químicas dos solos originais apresentadas no quadro 2, obtêm-se: GP = 4,05 t ha⁻¹, O = 10,4 t ha⁻¹, GH = 7,18 t ha⁻¹ e A = 2,34 t ha⁻¹, para calcário com PRNT igual a 100% e incorporação a 0-20 cm de profundidade. Da mesma forma, para o método do Al e Ca + Mg, as doses seriam: GP = 4,00 t ha⁻¹, O = 6,30 t ha⁻¹, GH = 4,30 t ha⁻¹ e A = 1,10 t ha⁻¹. As doses recomendadas pelo primeiro método são as que mais se aproximaram daquelas estimadas para 90% da produção máxima total dos dois cultivos, enquanto as do segundo método foram menores (Quadro 3). Assim, a recomendação pelo método da saturação por bases para elevar V a 70%, para esses solos, na realidade não eleva o V, bem como o pH, ao valor estabelecido, mas a um valor mais baixo, suficiente para promover as máximas produções econômicas (PR = 90%).

Esses resultados estão de acordo com o relato de Miranda (1993). Para esse autor as recomendações de calagem para solos de várzea drenados, baseadas em dados de solos normais, nem sempre apresentam resultados satisfatórios, uma vez que podem sub ou superestimar as reais necessidades desses solos, dependendo de suas características.

Teores foliares de Ca, Mg, K e Mn

O quadro 5 mostra os teores de Ca, Mg, K e Mn nas folhas das plantas de feijoeiro coletadas no

florescimento. De maneira geral, como já esperado, houve um aumento nos teores de Ca e Mg com a elevação das doses de calcário. Os menores teores observados para esses nutrientes no 2º cultivo são atribuídos ao efeito de diluição (Jarrel & Beverly, 1981), decorrente da maior produção de massa vegetal na época do florescimento. O efeito de diluição explica, também, a tendência de os menores teores de K ocorrerem nas doses intermediárias de calcário, visto que as plantas apresentaram, nessas doses, maior produção de massa seca no florescimento.

O aumento das doses de calcário foi acompanhado pela redução dos teores disponíveis de Mn nos solos (Quadro 2) e nos teores foliares do micronutriente, à exceção do solo O no 1º cultivo (Quadro 5). Os elevados teores foliares de Mn observados nas plantas cultivadas nos solos A, principalmente, e no GP, independentemente da calagem, foram devidos aos elevados teores disponíveis nesses solos (Raj et al., 1996). Ressalta-se que, no solo A, sintomas típicos de toxidez de Mn foram observados nas plantas dos tratamentos de ausência (dose 0) e na dose mais baixa de calcário aplicada. Segundo Faquin & Vale (1991), os níveis de toxidez de Mn nas folhas de feijoeiro, relacionados com uma redução de 10% no crescimento, variaram de 100 a 3.500 mg kg⁻¹. Para o O e o GH, os menores teores de Mn nos solos (Quadro 2) e nas plantas (Quadro 5) estão de acordo com o relato de MacLean & Brown (1984), de que, em solos com elevados teores de matéria orgânica, os efeitos dos íons Al, Fe e, no presente caso, Mn, são amenizados pelo efeito complexante dos compostos orgânicos.

Raj et al. (1996) citam como teores adequados em folhas do feijoeiro no florescimento, em g kg⁻¹: Ca = 10 a 25; Mg = 2 a 5; K = 20 a 24 e Mn = 15 a 100 mg kg⁻¹. Observa-se que, embora os solos originalmente apresentassem baixos teores de Ca e Mg - à exceção do A que apresentou teores médios (Quadro 2) - os teores foliares desses nutrientes na ausência da calagem (dose 0) apresentaram-se dentro da faixa supracitada, embora próximos do limite inferior. O pequeno crescimento e produção do feijoeiro na ausência de calagem, não se deveu apenas à deficiência de Ca e Mg, mas ao conjunto de fatores desfavoráveis induzidos pela acidez, dentre eles a toxidez de Al e Mn, principalmente. A pequena produção de matéria seca nesse tratamento resultou numa maior concentração do Ca e Mg nas folhas (Jarrel & Beverly, 1981), permitindo que seus teores se apresentassem dentro da faixa adequada. Os teores foliares de K das plantas cultivadas nos solos O, GH e A, nas doses mais elevadas de calcário no 2º cultivo, apresentaram valores abaixo da faixa crítica, embora nenhum sintoma visual de carência tenha sido observado nas plantas.

Assim, em termos nutricionais, pode-se afirmar que as maiores produções de grãos pelo feijoeiro obtidas nas doses intermediárias de calcário

Quadro 5. Teores foliares de cálcio, magnésio, potássio e manganês na época do florescimento, no 1º e 2º cultivo do feijoeiro em quatro solos de várzea, em função das doses de calcário aplicadas

Calcário	Ca		Mg		K		Mn	
	1º	2º	1º	2º	1º	2º	1º	2º
t ha ⁻¹	g kg ⁻¹							
Glei Pouco Húmico								
0	24,6	17,7	2,2	2,1	36,2	59,8	600,6	681,2
1,7	17,8	16,2	3,8	3,0	21,3	28,7	231,9	283,4
7,4	27,1	21,9	7,8	7,9	21,6	19,4	32,9	63,3
13,1	32,8	24,2	8,4	9,0	17,2	21,5	32,5	30,6
18,8	37,0	28,2	7,8	9,3	18,0	24,8	32,9	29,0
24,5	46,0	27,6	8,1	8,0	19,9	22,3	33,6	23,4
Orgânico								
0	12,7	14,0	1,4	2,1	21,8	65,6	133,3	232,0
4,8	29,9	23,4	8,6	6,5	22,6	40,3	146,1	113,3
9,5	39,9	18,8	11,3	6,5	23,8	19,0	153,1	69,4
14,2	25,8	20,7	10,0	8,2	25,5	19,3	163,4	58,3
18,9	28,0	19,1	11,2	8,3	29,6	15,7	141,7	43,8
23,7	28,0	17,5	11,1	9,2	29,9	13,5	116,1	29,9
Glei Húmico								
0	20,3	9,0	7,9	1,6	57,6	50,6	186,8	133,7
3,9	22,7	12,6	6,8	4,5	25,2	13,5	133,2	62,4
11,0	29,4	15,5	9,7	6,5	23,3	12,8	119,8	53,3
18,1	25,5	18,6	13,3	8,3	33,1	13,2	136,4	46,3
25,1	29,0	20,2	12,7	9,9	30,3	11,8	151,3	36,3
32,2	19,9	24,4	11,7	9,7	31,3	16,8	65,8	32,9
Aluvial								
0	25,3	22,0	2,9	3,7	31,0	27,9	754,3	1628,6
1,1	26,0	21,9	3,0	4,4	25,2	23,7	363,6	804,7
4,9	35,1	20,8	5,5	5,7	27,1	17,1	114,4	114,9
8,7	37,9	20,5	6,7	6,1	24,1	16,0	108,3	66,0
12,6	40,2	25,9	8,1	6,0	30,2	15,7	95,9	61,7
16,5	41,6	19,6	7,9	5,8	26,0	13,3	83,6	62,0
DMS (1%) solo x dose	5,71	4,22	2,43	1,86	12,18	7,99	38,73	138,88

(Figura 1 e Quadro 3) foram devidas ao fornecimento de Ca e Mg em quantidades adequadas, elevação do pH dos solos a valores suficientes para a redução da toxidez por Mn e por Al e equilíbrio nutricional adequado das plantas, concordando com Lucas & Davis (1961).

saturação por bases para V₂ igual a 70%; o método do Al e Ca + Mg subestimou essas doses.

3. A calagem nesses solos foi essencial para fornecer Ca e Mg para o feijoeiro e, com a elevação do pH, promover a neutralização da toxidez de Al e Mn.

CONCLUSÕES

1. Nos solos de várzea estudados em condições de casa de vegetação, os níveis de saturação por bases e de pH em água, estimados para atingir 90% da produção máxima do feijoeiro, variaram de 44 a 52% e de 5,1 a 5,3, respectivamente.

2. As doses de calcário necessárias para elevar o V e o pH aos valores estimados para atingir 90% da produção máxima do feijoeiro nesses solos aproximaram-se das indicadas pelo método da

LITERATURA CITADA

- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª Aproximação. Lavras, 1989. 159p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. Não paginado.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro, 1982a. 526p. (Boletim de Pesquisa, 1)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório Técnico Anual, 1980-1981. Planaltina, 1982b. 275p.
- FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P. & DUTRA, L.G. Limitações químicas dos solos de cerrado e de várzeas. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Deficiências nutricionais na cultura do feijoeiro e suas correções. Goiânia, EMBRAPA/CNPAP, 1996. p.8-11 (Documento, 65)
- FAGERIA, N.K. & SANTOS, A.B. Rice and common bean growth and nutrients uptake as influenced by aluminum on an acid varzea soil. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A. & CANTARELLA, H., eds. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., Belo Horizonte, 1996. Plant-Soil Interaction at Low pH: Sustainable Agriculture and Forestry Production. Proceeding. Campinas, Brazilian Soil Science Society, 1997. p.234.
- FAQUIN, V. & VALE, F.R. Toxidez de alumínio e de manganês. Inf. Agropec., 15:28-38, 1991.
- FAQUIN, V.; HOFFMANN, C.R.; EVANGELISTA, A.R. & GUEDES, G.A.A. O potássio e o enxofre no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um Latossolo da Região Noroeste do Paraná. R. Bras. Ci. Solo, 19:87-94, 1995.
- FERNÁNDEZ, S.C.; GEPS, P. & LOPEZ, M. Etapas de desarrollo de la planta de frijol comun (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali, CIAT, 1986. 34p.
- GUEDES, G.A.A. & JUNQUEIRA NETO, A. Calagem e adubação. Inf. Agropec., 4:21-23, 1978.
- JARREL, W.M. & BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. Adv. Agron., 34:197-224, 1981.
- LUCAS, R.E. & DAVIS, J.F. Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. Soil Sci., 92:177-182, 1961.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, POTAFOS, 1989. 201p.
- McLEAN, E.O. & BROWN, J.R. Crop response to lime in the midwestern United State. In: ADAMS, F., ed. Soil acidity and liming, 2. ed. Madison, ASA/CSSA/SSA, 1984. p.267-304.
- MIRANDA, L.N. Resposta da sucessão soja-trigo a doses e modo de aplicação de calcário em solo glei pouco húmico. R. Bras. Ci. Solo, 17:75-82, 1993.
- MORAES, J.F.V. & DYNIA, J.F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo glei pouco húmico sob inundação e após a drenagem. Pesq. Agropec. Bras., 27:223-235, 1992.
- QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A. & BATAGLIA, O.C. Calagem para a rotação feijão-milho verde em solo orgânico do vale do Rio Ribeira de Iguape (SP). R. Bras. Ci. Solo, 9:256-261, 1985.
- QUAGGIO, J.A.; SAKAI, M.; ISHIMURA, I.; SAES, L.A. & YANAI, K. Resposta da abobrinha italiana a doses de calcários com diferentes teores de magnésio em solo orgânico do Vale do Ribeira - SP. R. Bras. Ci. Solo, 11:167-173, 1987.
- RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FERREIRA, H.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996. 255p. (Boletim Técnico, 100)
- ROSOLEM, C.A. Nutrição e adubação do feijoeiro. Piracicaba, POTAFOS, 1987. 93p.
- ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.S. & ZIMMERMANN, M.J.O., eds. Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba, POTAFOS, 1996. p.353-416.
- SANTOS, A.B. & SILVEIRA, P.M. Cultivo em várzeas. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.S. & ZIMMERMANN, M.J.O., eds. Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba, POTAFOS, 1996. p.589-617.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.T. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. (Boletim Técnico, 5)