

NOTAS CIENTÍFICAS

DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM VERTISSOLO CALCÁRIO¹

ADÔNIS MOREIRA², JÚLIO CEZAR FRANÇINI³,
LARISSA ALEXANDRA CARDOSO MORAES⁴ e EURÍPEDES MALAVOLTA⁵

RESUMO - Neste experimento estudou-se a disponibilidade de nutrientes em um Vertissolo calcário. Utilizou-se a técnica de diagnóstico por subtração, e o arroz como planta-teste. O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso, com nove tratamentos (completo, -P, -S, -B, -Cu, -Fe, -Mn, -Zn e a testemunha sem adubação), com três repetições. A produção de matéria seca de plantas de arroz mostrou, em seqüência crescente, que os tratamentos que mais limitaram o crescimento foram: completo, -Cu, -Fe, -B, -Mn, -S, testemunha, -P e -Zn. O teor e a produção de matéria seca do arroz mostraram efeito de inibição entre Fe e Mn e entre P e Zn.

EVALUATION OF NUTRIENTS IN A CALCAREOUS VERTISOL

ABSTRACT - The capacity of calcareous Vertisol to supply nutrients for the growth of rice plants was studied. The method of subtraction diagnostic was adopted in this study. A completely randomized experimental design with nine treatments (complete, control, minus P, minus S, minus B, minus Cu, minus Fe, minus Mn and minus Zn) and three replicates were used. The amount of the dry matter of the rice was ranked in the following decreasing order of treatments: complete, minus Cu, minus Fe, minus B, minus Mn, minus S, control, minus P and minus Zn. The minus P and minus Zn treatments reduced the rice production. The analysis of the nutrients, together with the weight of the dry matter of rice, showed that there was a strong interaction between Fe and Mn and between P and Zn.

¹ Aceito para publicação em 28 de dezembro de 1999.

² Eng. Agrôn., Dr., Embrapa-Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental (CPAA), Caixa Postal 319, CEP 69011-970 Manaus, AM. Bolsista do CNPq. E-mail: adonis@cpaa.embrapa.br

³ Eng. Agrôn., Dr., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSO), Caixa Postal 231, CEP 86001-970 Londrina, PR. Bolsista do CNPq. E-mail: hungria@merconet.com.br

⁴ Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa-Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental (CPAA), Caixa Postal 319, CEP 69011-970 Manaus, AM. E-mail: larissa@cpaa.embrapa.br

⁵ Eng. Agrôn., Dr., CENA, USP, Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq. E-mail: mala@cena.usp.br

Os solos calcários cobrem uma significativa parcela das áreas agrícolas existentes no planeta (Chen & Barak, 1982), especialmente nas regiões áridas. Na maioria dos países tropicais, esses solos são de ocorrência restrita. Ocorrem, no entanto de forma generalizada na região de Irecê, BA (Duete, 1995).

Altos valores de pH e alta concentração de cálcio são características marcantes desses solos. Essas condições interferem amplamente nos processos de adsorção e de solubilização de íons, responsáveis pela concentração de nutrientes na solução do solo. Nesses solos, a precipitação de P e S em decorrência da reação com o Ca é considerada uma das principais vias para diminuição da disponibilidade desses nutrientes para as plantas (Sample et al., 1980). O Mg e o K não participam de reações de precipitação ou adsorção por efeito do Ca, porém, as altas relações entre Ca e Mg e Ca e K podem acarretar a deficiência de Mg e K por efeito de inibição (Malavolta et al., 1997). Grande parte dos micronutrientes também têm a sua disponibilidade reduzida nessas condições. Em altos valores de pH, o íon $B(OH)_4^-$, que possui alta afinidade pelas argilas, aumenta rapidamente, diminuindo a disponibilidade de B na solução do solo (Goldberg, 1997).

O Mn também tem a sua solubilidade reduzida em solos calcários, que normalmente apresentam alto valor de pH (Malavolta et al., 1997). Fahad (1987), ao estudar o traçador ^{54}Mn , observou que o fenômeno de adsorção entre o $CaCO_3$ e ^{54}Mn poderia explicar a baixa mobilidade do traçador, e que a adição de EDTA como agente quelatizante, permitiria uma grande recuperação de Mn^{2+} adicionado ao solo.

Num estudo com 20 solos calcários, Yasrebi et al. (1994) demonstraram que a quantidade trocável de Zn^{2+} nesses solos é bastante baixa, sendo encontrado quase que exclusivamente em formas insolúveis, constituídas de sesquióxidos de Fe e Mn e na forma de carbonatos. Segundo Lindsay (1991), com o aumento do pH, grande parte do Cu é adsorvido, ficando disponível somente uma parte solúvel. Outro fator, segundo Malavolta et al. (1997), é a existência do efeito antagônico entre o Ca e o Cu, em que o excesso de Ca inibe a absorção de Cu.

Neste trabalho, tratou-se de verificar a disponibilidade de nutrientes em um Vertissolo calcário, através do método do diagnóstico por subtração, no qual se utilizou o arroz, cultivar Dourado Precoce, como planta-teste.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com nove tratamentos: adubação completa, -P, -S, -B, -Cu, -Fe, -Mn, -Zn e a testemunha. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. O solo utilizado foi um Vertissolo calcário coletado no Município de Irecê, BA, apresentando as seguintes características: pH ($CaCl_2$) = 7,3; M.O. = 32 g kg^{-1} ; P (resina) = 8,0 mg dm^{-3} ; P (Olsen) = 2,0 mg dm^{-3} ; S- SO_4^{2-} = 9,0 mg dm^{-3} ; K = 3,0 mmol_c dm^{-3} ; Ca = 360,0 mmol_c dm^{-3} ; Mg = 16,0 mmol_c dm^{-3} ; Al = 0,0 mmol_c dm^{-3} ; H+Al = 10,0 mmol_c dm^{-3} ; SB = 379,0 mmol_c dm^{-3} ; T = 389,0 mmol_c dm^{-3} ; V = 97%; B (água quente) = 0,45 mg dm^{-3} ; Cu (Mehlich 1) = 0,40 mg dm^{-3} ; Fe (Mehlich 1) = 8,0 mg dm^{-3} ; Mn (Mehlich 1) = 133,0 mg dm^{-3} ; Zn (Mehlich 1) = 2,0 mg dm^{-3} ; argila = 64%. O tratamento completo incluiu as doses de: 200 mg kg^{-1} de N como NH_4NO_3 ; 200 mg kg^{-1} de P como $NH_4H_2PO_4$; 50 mg kg^{-1} de S como Na_2SO_4 ; 0,5 mg kg^{-1}

de B como H_3BO_3 ; $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu como $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe como Fe-EDTA; $3,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn como $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mo como H_2MoO_4 ; $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn como ZnCl_2 .

A adubação usada, considerou o fato de o solo ter sido pré-incubado com 50 mg kg^{-1} de K como KCl e 15 mg kg^{-1} de Mg como MgCO_3 . No plantio, foram adicionadas dez sementes de arroz por vaso, e 14 dias após a semeadura foram selecionadas quatro plantas uniformes. A umidade foi controlada por meio de pesagens diárias, de forma a manter o solo com 80% do valor total de poros (VTP) saturado com água. Dois meses após o plantio, foi feita uma adubação por cobertura, exceto no tratamento -S e na testemunha, com 50 mg kg^{-1} de S como $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. No tratamento -S, foi aplicada uma solução de 50 mg kg^{-1} de N como NH_4NO_3 , para compensar o N adicionado junto ao S nos demais tratamentos. Plantas colhidas 90 dias após o plantio tiveram sua matéria seca determinada após secagem em estufa a cerca 75°C . Foi calculado o peso da matéria seca relativa, considerando-se o tratamento completo como 100%. Analisaram-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn (Malavolta et al., 1997), nos tratamentos completo e testemunha. Nos demais tratamentos, apenas analisou-se o elemento faltante e, outros elementos que poderiam interferir na disponibilidade. Os resultados foram submetidos a análise de variância (teste F) e de comparação de médias (Tukey a 5%), conforme Pimentel-Gomes (1990).

Os tratamentos com omissão dos nutrientes tiveram uma significativa redução na produção de matéria seca (Tabela 1). A ordem decrescente dos elementos cuja omissão limitou mais a produção foi: $\text{Cu} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Mn} > \text{S} > \text{testemunha} > \text{P} > \text{Zn}$. Observa-se que na ausência de P ou Zn na adubação resultaram produções de matéria seca de 86,3 e 95,2%, respectivamente, inferiores à produção do tratamento completo. Reduções menos significativas tiveram os tratamentos -B, -Cu e -Fe. A menor produção no tratamento -Zn corrobora os resultados obtidos por Engala et al. (1986), com milho em solo calcário; na ausência de Zn na adubação, a produção foi significativamente afetada. A produção relativa

TABELA 1. Peso total e relativo de matéria seca da parte aérea do arroz, em virtude dos tratamentos de adubação. Dados médios de três repetições¹.

Tratamento	Matéria seca	
	(g/vaso)	%
Completo	2,18a	100
Testemunha	0,39d	18
-P	0,30de	14
-S	0,96c	44
-B	1,74b	80
-Cu	1,87b	86
-Fe	1,79b	82
-Mn	1,02c	47
-Zn	0,11e	5
D.M.S.	0,21	
C.V. (%)	6,32	

¹ Médias seguidas por letras distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

(Tabela 1) mostra que em condições de elevado pH e altas concentrações de Ca^{2+} e carbonatos as plantas tendem a apresentar baixa disponibilidade de nutrientes.

Nitrogênio

O teor de N na testemunha e no tratamento completo (Tabela 2) ficou abaixo dos teores adequados conforme Barbosa Filho (1987). É possível que a reserva de matéria orgânica deste solo contenha uma baixa quantidade de N orgânico potencialmente mineralizável. Dessa forma, esta fonte de N não foi suficiente para satisfazer as necessidades nutricionais da planta na testemunha. No tratamento completo, aplicação de N na forma de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ por cobertura nesse tipo de solo se mostrou não-recomendável. Em solos calcários, a principal forma de N disponível para as plantas é o NO_3^- , pois, as condições de pH no presente estudo foram altamente favoráveis às perdas de N na forma de NH_4^+ , por volatilização e lixiviação (Urquiaga et al., 1990).

Potássio, cálcio e magnésio

Não houve diferença quanto ao teor de K entre os tratamentos completo e testemunha (Tabela 2). A pré-incubação feita com o K reduziu o efeito depressivo na absorção de K^+ pelo excesso de Ca^{2+} . Os teores de Ca e Mg foram maiores na testemunha (Tabela 2), sendo que o Ca apresentou um teor bem acima do nível considerado adequado por Malavolta et al. (1974). A diferença observada entre este tratamento e o completo se deve, provavelmente, aos efeitos de concentração descritos por Mengel & Kirkby (1987). A testemunha produziu 81,5% menos que o tratamento completo (Tabela 1). O teor de Mg na planta indica que a pré-incubação do solo foi suficiente para equilibrar a relação Ca/Mg.

Enxofre

Cerca de dois meses após o plantio, observou-se que as plantas estavam com crescimento retardado e com sintomas cloróticos nas folhas mais jovens. Tal situação caracterizou-se por uma deficiência de S (Barbosa Filho, 1987), sendo, este, adicionado em todos os tratamentos, exceto o -S e testemunha. Em solos calcários, a atividade das bactérias autotróficas que oxidam o S

TABELA 2. Teor de nutrientes na matéria seca da parte aérea do arroz, em virtude dos tratamentos de adubação. Dados médios de três repetições¹.

Nutrientes	Tratamentos								
	Completo	Testemunha	-P	-S	-B	-Cu	-Fe	-Mn	-Zn
N (g kg^{-1})	15,2a	11,9b	-	-	-	-	-	-	-
P (g kg^{-1})	1,3b	0,4d	0,7c	-	-	-	-	-	4,6a
K (g kg^{-1})	16,7a	16,9a	-	-	-	-	-	-	-
Ca (g kg^{-1})	8,0b	10,0a	-	-	-	-	-	-	-
Mg (g kg^{-1})	2,9b	4,4a	-	-	-	-	-	-	-
S (g kg^{-1})	1,6b	0,8c	-	2,3a	-	-	-	-	-
B (mg kg^{-1})	11,4c	20,0a	-	-	15,6b	-	-	-	-
Cu (mg kg^{-1})	3,0b	3,0b	-	-	-	4,0a	-	-	-
Fe (mg kg^{-1})	130,0d	218,0b	-	-	-	-	155,0c	350,0a	-
Mn (mg kg^{-1})	35,0c	86,3a	-	-	-	-	51,3b	30,8c	-
Zn (mg kg^{-1})	16,3c	20,0b	14,9c	-	-	-	-	-	28,6a

¹ Médias seguidas por letras distintas, em cada linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

orgânico do solo a SO_4^- é bastante reduzida, necessitando-se adicionar substâncias prontamente metabolizáveis para que haja um estímulo à decomposição da matéria orgânica nativa por microorganismos quimioeterotróficos (Cifuentes & Lindemann, 1993). Tal fato pode explicar a deficiência generalizada de S ocorrida no solo em estudo. Em solos calcários, a formação do íon por CaSO_4 ou a adsorção de Ca^{2+} são mecanismos mostrados como responsáveis pela baixa disponibilidade de S no solo (Bolan et al., 1993). O teor de S foi maior no tratamento -S do que nos tratamentos completo e testemunha (Tabela 2). No primeiro caso, deve ter ocorrido um efeito de diluição, e no segundo, houve a limitação de algum nutriente que atua na síntese de proteína (Malavolta et al., 1997), como, por exemplo, o Zn, afetando a absorção e a translocação; o mesmo é observado com o N.

Boro e cobre

Ambos tiveram a sua disponibilidade reduzida em solos calcários, provavelmente, devido a processos de adsorção e interação com os carbonatos. Com relação ao B, a sua disponibilidade é afetada somente a valores de pH próximo a 9 (Goldberg, 1997). No caso do Cu, em solos calcários está muito pouco disponível, mas observa-se, na Tabela 2, que tanto para o B quanto para o Cu, o teor de ambos foi maior na testemunha e nos tratamentos faltantes, o que indica, novamente, o efeito de concentração (Mengel & Kirkby, 1987).

Ferro e manganês

Na ausência de Fe ou Mn, a produção de matéria seca foi significativamente afetada (Tabela 1); este resultado foi mais pronunciado na ausência de Mn, que apresentou uma redução de 53,4% na produção. A análise de Mn nos tecidos apresentou valores de concentração com a seguinte ordem -Mn < completo < -Fe < testemunha (Tabela 2). O teor de Mn encontrado no tratamento -Mn esteve próximo do limite de deficiência para a maioria das culturas (Mengel & Kirkby, 1987). No caso do Fe, o teor encontrado no tratamento completo foi de 130 mg kg^{-1} (Tabela 2), nível considerado alto (Mengel & Kirkby, 1987). Mesmo em concentrações adequadas de Fe no tecido, o tratamento -Fe proporcionou uma redução significativa na produção de matéria seca do arroz, quando comparado com o tratamento completo (Tabela 1). O comportamento do teor de Mn foi semelhante ao do Fe, quando comparado com os tratamentos completo, -Mn e testemunha (Tabela 2). O tratamento -Fe proporcionou maior teor de Mn, e no tratamento -Mn obteve-se um incremento de cerca de 200% no teor de Fe, maior, portanto, que o tratamento completo. Tal comportamento foi mais um indicativo do efeito de inibição entre o Fe e Mn. De acordo com Zaharieva et al. (1988), as interações entre Fe-Mn ocorrem em dois níveis: no de acumulação, o Fe restringe a absorção de Mn; e no nível metabólico, o Mn afeta a atividade do Fe, pela diminuição da concentração deste elemento, pois os dois competem pelo mesmo sítio de absorção.

Fósforo e zinco

Em ambos os tratamentos, nos quais se omitiram P ou Zn, observou-se uma grande redução no crescimento das plantas (Tabela 1). A ausência da aplicação de P na testemunha e no tratamento -P parece ter sido o fator que

mais limitou o desenvolvimento das plantas. Conforme a análise do solo, a disponibilidade de P pelo método de Olsen melhor explicou o baixo teor deste nutriente na planta do que o método da resina. A adubação fosfatada aplicada no tratamento completo não foi tão eficiente, ficando os valores de teor num nível relativamente baixo (Barbosa Filho, 1987). Isto ocorreu possivelmente em decorrência dos processos de adsorção e precipitação.

No tratamento -Zn, o teor de P apresentou valores considerados adequados para o desenvolvimento da planta (Tabela 2), mas foi o tratamento que teve a menor produção de matéria seca, muito embora o teor de Zn não tenha sido muito diferente do teor do tratamento completo (Tabela 2). O maior teor de P deve ter sido em decorrência de um efeito de concentração acarretado pelo pequeno desenvolvimento das plantas. No entanto, fica claro a ocorrência de interação negativa entre o P e o Zn, em comparação com o teor de P e Zn obtidos no tratamento -P, -Zn, testemunha e completo. Marschner & Schropp (1977) observaram que altas doses de P aplicadas em videira conduzidas em vasos contendo solo calcário induziram o aparecimento de sintomas de deficiência de Zn. Os mesmos autores descreveram um pequeno crescimento das plantas com sintoma de deficiência de Zn.

Conclui-se que, nesse tipo de solo e nas condições estudadas, além da presença do efeito de inibição entre Fe e Mn e entre P e Zn, os elementos encontram-se em níveis considerados limitantes para desenvolvimento do arroz; as limitações nutricionais indicam a necessidade de estudos mais aprofundados para determinar a quantidade de nutrientes adequados para o uso agrícola deste solo.

REFERÊNCIAS

- BARBOSAFILHO, M.P. **Nutrição e adubação do arroz: sequeiro e irrigado**. Piracicaba : Potafos, 1987. 129p.
- BOLAN, N.S.; SYERS, J.K.; SUMNER, M.E. Calcium-induced sulfate adsorption by soils. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.57, p.691-696, 1993.
- CHEN, Y.; BARAK, P. Iron nutrition of plants in calcareous soils. **Advance in Agronomy**, San Diego, v.35, n.1, p.217-240, 1982.
- CIFUENTES, F.R.; LINDEMANN, W.C. Organic matter simulation of elemental sulfur oxidation in a calcareous soil. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.57, p.727-731, 1993.
- DUETE, W.L.C. **Estudo da relação K/(Ca+Mg) e diagnose por subtração de P, S e micronutrientes em solos calcários da microrregião de Irecê, BA**. Piracicaba : USP, 1995. 134p. Tese de Doutorado.
- ENGALA, A.M.; ISMAIL, A.S.; OSSMAN, M.A. Critical levels of iron, manganese and zinc in Egyptian soils. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.9, n.1, p.267-280, 1986.

- FAHAD, A.A. Movement of manganese-54 in calcareous soils as affected by leaching solution, lime content, salinization, and sterilization. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.51, p.1487-1492, 1987.
- GOLDBERG, S. Reactions of boron with soils. In: DELL, B.; BROWN, P.H.; BELL, R.W. (Ed.). **Boron in soils and plants**. Dordrecht : Kluwer Academic, 1997. p.35-48.
- LINDSAY, W.L. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMEN, L.M.; WELCH, R.M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison : Soil Science Society of America, 1991. p.89-111.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.; BRASIL SOBRINHO, M.C.O. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo : Pioneira, 1974. 727p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba : Potafos, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H.; SCHROPP, A. Comparative studies on the sensitivity of six root stock varieties of grapevine to phosphate induced Zn deficiency. **Vitis**, Siebeldingen, v.16, n.1, p.79-88, 1977.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern : International Potash Institute, 1987. 687p.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba : Nobel, 1990. 468p.
- SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J.; RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizer in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison : Soil Science Society of America, 1980. p.263-310.
- URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Dinâmica de N no solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE NITROGÊNIO EM PLANTAS, 1., 1990, Itaguaí. **Anais**. Itaguaí : UFRRJ-Imprensa Universitária, 1990. p.181-251.
- YASREBI, J.; KARIMIAN, N.; MAFTOUN, M.; ABTAHI, A.; SAMENI, A.M. Distribution of zinc forms in highly calcareous soils as influenced by soil physical and chemical properties and application of zinc sulphate. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, p.2133-2146, 1994.
- ZAHARIEVA, T.; KASABOV, D.; ROMHELD, V. Responses of peanuts to iron-manganese interaction in calcareous soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.11, p.1015-1024, 1988.