

CALAGEM, ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MANEJO DA ÁGUA NO CONTROLE DA TOXICIDADE DE FERRO EM ARROZ IRRIGADO ^{1/}

Francisco Morel Freire ^{2/}
Roberto Ferreira de Novais ^{3/}
Plínio Cesar Soares ^{2/}
Liovano Marciano da Costa ^{3/}
Erpino Alves Faria ^{2/}

1. INTRODUÇÃO

A redução do ferro, com o conseqüente aumento de sua disponibilidade, é importante alteração química que ocorre quando o solo é inundado. A cultura do arroz pode beneficiar-se do aumento dessa disponibilidade, mas o excesso pode ser prejudicial (10).

Segundo PONNAMPERUMA (12), o melhoramento das plantas de arroz, para tolerância aos estresses de solo, pode ser um método mais simples e menos dispendioso que sua correção. Entretanto, para a toxicidade de ferro, especificamente, enquanto não forem desenvolvidos cultivares que, além de apresentarem tolerância a esse distúrbio, mostrem produtividade, qualidade de grão e características agrônômicas equivalentes, pelo menos, às recomendadas no momento, as práticas de manejo do solo capazes de reduzir a severidade do problema são de grande importância.

Trabalhos que citam a calagem como meio eficiente de controle da toxicidade de ferro são freqüentes (1, 2, 5, 6, 11, 14, 15, 16). O uso da matéria orgânica para amenizar essa toxicidade é, por sua vez, controverso. CLARK *et alii* (3) mostraram que a adição de palha de arroz, seguida de uma pré-submersão, durante 106 dias, antes do transplante das mudas de arroz, resultou em aumentos na concentração de Fe na solução do solo e na planta e reduziu a produção de matéria seca

^{1/} Recebido para publicação em 11-1-1985.

^{2/} Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais — EPAMIG, 36570 Viçosa, MG.

^{3/} Departamento de Solos da UFV, 36570 Viçosa, MG.

das plantas. MOTOMURA (8) verificou que a adição de matéria orgânica (ervilha e palha de arroz) foi muito eficiente em promover o aumento da concentração de Fe^{2+} no solo. Dentre as práticas citadas por PONNAMPERUMA (11) e PONNAMPERUMA *et alii* (13) para reduzir os efeitos drásticos da toxicidade de ferro encontra-se a supressão da matéria orgânica. Essa recomendação é, entretanto, contrária à proposta feita por RAMOS *et alii* (15), que sugerem a aplicação de 10 a 20 t/ha de matéria orgânica.

Sabe-se que em condições de submersão do solo ocorre a redução do Fe^{3+} para Fe^{2+} . A concentração da forma reduzida aumenta com o tempo, atingindo um máximo em poucas semanas, decrescendo em seguida. Assim, qualquer prática de manejo de água no solo que venha a reduzir a disponibilidade de Fe^{2+} é válida para amenizar a toxicidade de ferro. BANDEIRA JÚNIOR (1) sugere a submersão do solo 30 a 40 dias antes do plantio. Para HOWELER (6) e PONNAMPERUMA (11), a drenagem no meio do ciclo da cultura é prática eficiente para controle desse distúrbio. Outra prática indicada por HOWELER (6) é alternar períodos de inundação com períodos secos.

Este trabalho teve por objetivo testar várias práticas de manejo do solo para controlar a toxicidade de ferro em arroz irrigado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de um solo, procedentes de uma várzea do município de Muriaé-MG, quimicamente caracterizadas (Quadro 1), foram incubadas, durante um mês, com 300 ppm de Fe, aplicados como $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Nesse período, a umidade do solo foi mantida em torno da capacidade de campo. Em condições de casa de vegetação, porções de 1,8 kg desse material, em vasos, foram submetidas às seguintes práticas de manejo:

a. Calagem — O corretivo foi aplicado em quantidade equivalente a 4 t/ha, ou seja, duas vezes a quantidade de calcário recomendada para esse solo, segundo a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (4). Utilizou-se uma mistura de CaCO_3 e MgCO_3 comerciais, na relação estequiométrica de 4:1; b. Esterco de curral — 20 t/ha; c. Palha de arroz triturada — 10 t/ha; d. Pré-submersão 15 dias antes do transplante das mudas; e. Pré-submersão 30 dias antes do transplante das mudas; f. Submersão durante o transplante das mudas e, 15 dias depois deste, suspensão da lâmina d'água por sete dias, repetindo-se, em seguida, o manejo de água anterior; g. Submersão durante o transplante das mudas, com renovação da lâmina d'água de sete em sete dias; h e i. Submersão durante o transplante das mudas, mantendo-se a lâmina d'água sem renovação durante todo o período experimental. O tratamento i diferiu do h por ter recebido como fonte de P o termofosfato Yoorin. No tratamento h e nos demais, utilizou-se o superfosfato triplo. Anteriormente ao transplante das mudas, as amostras de solo que receberam calcário, esterco de curral e palha de arroz (tratamentos a, b e c) foram incubadas durante dois meses. Considerou-se, no cálculo, que 1 ha continha 2000 t de solo.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições.

A adubação, realizada um mês antes do transplante das mudas, constou da aplicação, em mg do elemento/kg de solo, de 50 de N, 25 de P e 50 de K, na forma de sulfato de amônio, superfosfato triplo ou termofosfato e cloreto de potássio, respectivamente. Durante a condução do experimento (vinte e nove dias após o transplante das mudas), todos os tratamentos receberam mais 50 mg de N/kg de solo, na forma de sulfato de amônio.

As mudas de arroz (cv. 'IR 841') foram formadas em leito de areia e irrigadas diariamente com solução nutritiva, apresentado a seguinte concentração, em ppm, de nutrientes: N,40; P,10; K,40; Ca,40; Fe,5; Mn,0,5; Mo,0,005; Zn,0,01; B,0,2; e Cu,0,01 (12). Dezesesseis dias depois da semeadura, foram transplantadas três mudas para cada vaso. Para propiciar condições redutoras, foi mantida uma lâmina

QUADRO 1 - Resultados das análises químicas da amostra do solo utilizada no experimento, antes e depois da incubação com 300 ppm de Fe

pH em H ₂ O (1:2,5)	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ $\frac{1}{2}$	Al ³⁺ $\frac{1}{2}$	K $\frac{2}{2}$	P $\frac{2}{2}$
	meq./100ml		ppm	
Antes da incubação				
4,6	1,20	0,10	50	3
Após a incubação				
3,4	1,40	0,70	52	3

1/ Extrator KCl 1N.

2/ Extrator de Mehlich 1.

d'água de cerca de 1 cm de espessura em todos os vasos. No final do cultivo, além da avaliação visual dos sintomas de toxicidade de ferro na parte aérea, foram tomados dados relativos ao número médio de perfilhos por planta. Cinquenta e três dias depois do transplante, procedeu-se à colheita da parte aérea. O material vegetal permaneceu em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65-70°C, até peso constante. A matéria seca de amostras compostas das quatro repetições foi analisada quimicamente, tendo sido determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe e Mn.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados relativos à produção de matéria seca da parte aérea, ao número médio de perfilhos por planta e à percentagem de folhas com sintomas (Quadro 2) demonstraram ser a calagem (tratamento a) a prática mais eficiente para o controle da toxicidade de ferro. Trabalhos que citam a calagem como meio eficiente de controle desse distúrbio são frequentes. É mencionado, até, que, dentre as práticas recomendadas para o controle do problema, somente a calagem tem apresentado, em condições de campo, bons resultados (5, 6, 11, 14, 15, 16). O efeito benéfico da calagem pode estar relacionado com o aumento do pH do solo, como também com o suprimento de Ca e Mg, como nutrientes. OTTOW *et alii* (9) e Tadano, citado por YOSHIDA (17), demonstraram que o distúrbio atribuído à toxicidade de ferro pode ter origem nutricional, em razão do suprimento insuficiente de K, P, Ca e Mg.

Verifica-se que as aplicações de esterco de curral (tratamento b) e palha de arroz (tratamento c), quando comparadas com o tratamento testemunha (h), contribuíram para atenuar o efeito prejudicial do excesso de ferro (Quadro 2). Entretanto, CLARK *et alii* (3) mostraram que a adição de palha de arroz, seguida de uma pré-submersão, durante 106 dias, antes do transplante das mudas de arroz, resultou em aumentos na concentração de Fe na solução do solo e na planta e reduziu a produção de matéria seca das plantas. MOTOMURA (8) verificou que a adição de matéria orgânica (ervilhaca e palha de arroz) foi muito eficiente para aumentar a concentração de Fe²⁺ no solo. Essas diferenças de resultados podem ser

QUADRO 2 - Produção de matéria seca da parte aérea, número médio de perfilhos por planta e percentagem de folhas com sintomas de toxicidade de ferro, em relação às práticas de manejo do solo testadas

Tratamento	Matéria seca da parte aérea	Número médio de perfilhos por planta	Folhas com sintomas
	g/vaso		%
a	11,97	9,3	0
b	9,38	8,8	72
c	6,31	6,7	76
d	1,61	1,9	75
e	0,50	1,1	92
f	6,42	8,1	74
g	3,95	4,6	75
h	3,78	4,3	75
i	5,54	5,3	74
D.M.S Tukey (5%)	1,52	1,43	-

atribuídas ao fato de que, no presente trabalho, as amostras de solo com esterco de curral e palha de arroz foram previamente incubadas, aproximadamente durante dois meses, em condições aeróbicas, permitindo, assim, mineralização mais acentuada desses materiais orgânicos. A maior eficiência do esterco de curral, em relação à palha de arroz, deve-se, provavelmente, à sua maior riqueza em nutrientes.

Dentre as práticas de manejo da água do solo (tratamentos d, e, f, g), destaca-se aquela em que houve submersão no transplante das mudas, e, 15 dias depois deste, suspensão da lâmina d'água durante sete dias, repetindo-se, em seguida, o manejo anterior (tratamento f) (Quadro 2). Isso mostra que a drenagem do terreno, como sugerido por HOWELER (6) e PONNAMPERUMA (11), propiciando condições de oxidação, constitui prática que pode ajudar a contornar o problema. A pré-submersão do solo 30-40 dias antes do transplante das mudas é, também, prática recomendada para amenizar a toxicidade de ferro (1). Após esse período de submersão, espera-se que a disponibilidade de Fe caia a níveis abaixo dos tóxicos. Entretanto, no caso específico deste trabalho (Quadro 2), a pré-submersão por 30 dias (tratamento e) não surtiu os efeitos desejados. Tudo indica que, em razão da alta solubilidade do Fe, como $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, adicionado ao solo, esse elemento ainda se encontrava em níveis tóxicos por ocasião do transplante das mudas.

O melhor crescimento das plantas do tratamento i, em que se usou termofosfato como fonte de P, em relação ao h (Quadro 2), leva à hipótese de que esse efeito possa ser devido ao Mg e Si contidos nesse fosfato. Quanto ao Si, atribui-se-lhe a função de aumentar o poder oxidante das raízes, diminuindo a absorção excessiva de Fe (7).

Os resultados das análises químicas das plantas indicaram que a prática da calagem (tratamento a), além de ter propiciado a maior produção de matéria seca

da parte aérea e o maior número médio de perfilhos e de plantas sem sintoma de toxicidade (Quadro 2), concorreu para reduzir os teores de Fe no tecido vegetal (Quadro 3). Por ocasião da colheita, foram observados sintomas de clorose nas plantas desse tratamento, sugerindo carência nutricional. Os resultados analíticos (Quadro 3) sugerem que os nutrientes N, P e K já estariam limitando o crescimento das plantas. Todas as plantas dos demais tratamentos exibiram sintomas de toxicidade de Fe, e os elevados teores desse elemento na matéria seca da parte aérea são compatíveis com esse fato (Quadro 3).

O Zn teve sua concentração alterada, como era esperado, principalmente pela calagem (tratamento a). A concentração dos demais elementos foi pouco alterada, apesar do efeito dos tratamentos sobre o crescimento das plantas, provavelmente por causa do efeito de diluição.

A menor eficiência da maioria dos tratamentos foi consequência, provavelmente, do nível relativamente alto de ferro no meio. A amostra de solo usada neste trabalho, além de ser originária de uma várzea onde haviam sido detectados problemas de toxicidade de ferro, recebeu, ainda, 300 ppm desse elemento. Essa situação drástica do experimento pode, entretanto, não ocorrer na maioria das áreas onde tem sido verificado o referido distúrbio.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Em condições de casa de vegetação, amostras de um solo, procedentes de uma várzea do município de Muriaé, MG, anteriormente incubadas com 300 ppm de Fe, foram submetidas a tratamentos que envolveram a aplicação de calcário (4 t/ha); esterco de curral (20 t/ha); palha de arroz (10 t/ha); pré-submersão 15 e 30 dias antes do transplante das mudas; submersão no transplante das mudas e 15 dias depois deste; suspensão da lâmina d'água por sete dias; submersão no transplante das mudas, com renovação da lâmina d'água de sete em sete dias. Foi também incluído um tratamento testemunha, com lâmina d'água formada no transplante das mudas e mantida durante todo o período experimental, sem renovação. Adicionalmente, foi testado um tratamento, semelhante ao testemunha, para manejo d'água, mas que recebeu termofosfato Yoorin como fonte de P. Nos demais tratamentos utilizou-se o superfosfato triplo como fonte de P.

Os resultados (sintomas visuais de toxicidade, crescimento e concentração de ferro e outros nutrientes na parte aérea) mostraram que a calagem foi a prática mais eficiente para o controle da toxicidade de ferro, ao passo que a pré-submersão durante 15 e 30 dias antes do transplante das mudas foi a menos eficiente. A adubação orgânica (esterco de curral e palha de arroz) e a drenagem durante o ciclo da cultura controlaram apenas parcialmente o problema da toxicidade de ferro. O melhor crescimento das plantas do tratamento adubado com termofosfato Yoorin, em relação ao testemunha, leva à hipótese de que esse efeito possa ser consequência do Mg e Si contidos nesse fosfato.

5. SUMMARY

(LIME, ORGANIC FERTILIZER, AND WATER MANAGEMENT IN THE CONTROL OF IRON TOXICITY IN IRRIGATED RICE)

Under greenhouse conditions, samples of a soil from a bottom land area in Muriaé County, State of Minas Gerais, previously incubated with 300 ppm of iron as $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, were submitted to treatments involving liming (4 t/ha); cattle manure (20 t/ha); rice straw (10 t/ha); flooding for 15 and 30 days before the transplanting of the seedlings; flooding at and 15 days after the transplanting time; absence of flooding for 7 days; and, flooding at the transplanting time with renewal of the water each 7 days. A treatment, characterized by the flooding maintained from the transplanting of the seedlings to the harvest of the

QUADRO 3 - Teores de nutrientes na parte aérea das plantas, em relação às práticas de manejo do solo testadas

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn
a	1,16	0,10	1,00	0,65	0,18	48	20	564	1896
b	2,46	0,17	2,25	0,53	0,18	72	24	2952	1452
c	2,92	0,17	2,66	0,51	0,18	108	26	3108	1824
d	3,59	0,17	2,95	0,48	0,18	86	28	4416	1416
e	3,56	0,17	2,73	0,50	0,17	86	20	11244	1452
f	2,96	0,14	2,01	0,36	0,17	74	20	2424	912
g	3,42	0,16	2,14	0,42	0,17	100	28	4848	1212
h	3,52	0,16	2,26	0,44	0,17	96	22	3960	1356
i	3,15	0,15	1,74	0,51	0,18	80	20	4020	1260

experiment, without water renewal, was also included as a control. An additional treatment, similar to the control plot, in terms of watering management, but receiving «Yoorin» thermophosphate as the source of P, was also tested. All other treatments received concentrated superphosphate as the source of P.

The results (visual toxicity symptoms, plant growth, and Fe and other nutrient concentration in the aerial part) showed that the liming was the most effective practice to control the iron toxicity. Otherwise, the flooding for 15 and 30 days before the transplanting time was the least effective. The organic amendment (cattle manure and rice straw) and the drainage during the growing period only partially controlled the problem of Fe toxicity. The better plant growth in the «Yoorin» thermophosphate treatment, compared to the control, seems to be related to the Mg and Si contents of this source of P.

6. LITERATURA CITADA

1. BANDEIRA JÚNIOR, C.G. *Toxidez de ferro, seus efeitos na produtividade do arroz irrigado e seu controle*. Belo Horizonte, EMATER-MG, s.d. 3 p.
2. BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K. & STONE, L.F. Manejo d'água e calagem em relação à produtividade e toxicidade de ferro em arroz. *Pesq. Agropec. Bras.*, 18:903-910, 1983.
3. CLARK, F.; NEARPASS, D.C. & SPECHT, A.W. Influence of organic additions and flooding on iron and manganese uptake by rice. *Agron. J.*, 49: 586-589, 1957.
4. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Lavras. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*; 3.^a aproximação. Belo Horizonte, EPAMIG, 1978. 80 p.
5. DE DATTA, S.K. *Principles and practices of rice production*. New York, J. Wiley, 1981. 618 p.
6. HOWELER, R.H. Iron-induced orange disease of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded oxisol. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37:898-903, 1973.
7. MALAVOLTA, E. & FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M.E.; YAMADA, T. & MALAVOLTA, E., (ed.) *Cultura do arroz de sequeiro*. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fósforo e Instituto Internacional da Potassa, 1983. 95-140 p.
8. MOTOMURA, S. Effect of organic matters on the formation of ferrous iron in soils. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 8:20-29, 1962.
9. OTTOW, J.C.G.; BENCKISER, G.; WATANABE, I. & SANTIAGO, S. Multiple nutritional soil stress as the prerequisite for iron toxicity of wetland rice (*Oryza sativa* L.). *Trop. Agric.*, 60:102-106, 1983.
10. PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.*, 24: 29-96, 1972.
11. PONNAMPERUMA, F.N. Limitaciones de microelementos en suelos acidos arroceros tropicales. In: BORNEMISZA, E. & ALVARADO, A. (ed.). *Manejo de suelos en la America Tropical*. Raleigh, North Carolina State University, 1975. 336-354 p.

12. PONNAMPERUMA, F.N. Screening rice for tolerance to mineral stresses. In: WRIGHT, M.J. & FERRARI, S.A., ed. *Plant adaptation to mineral stress in problem soils*. Ithaca, Cornell University, 1976. 341-353 p.
13. PONNAMPERUMA, F.N.; BRADFELD, R. & PEECH, M. Physiological disease of rice attributable to iron toxicity. *Nature*, 175:265. 1955.
14. PONNAMPERUMA, F.N. & SOLIVAS, J.L. Field amelioration of an acid sulfate soil for rice with manganese dioxide and lime. *Int. Rice Research Newsletter*, 5:20, 1980.
15. RAMOS, M.G.; ZANINI NETO, J.A.; MOREL, D.A.; NOLDIN, J.A.; MARQUES, L.F.; MIURA, L.; SCHIMITT, A.T.; FROSI, J.F. & ALTHOFF, D.A. *Manual de produção de arroz irrigado*. Florianópolis, EMPASC/ACARESC, 1981. 225 p.
16. SANCHEZ, P.A. *Properties and management of soils in the tropics*. New York, J. Wiley, 1976. 618 p.
17. YOSHIDA, S. *Fundamentals of rice crop science*. Los Banos, IRRI, 1981. 269 p.