

DISPONIBILIDADE DE FERRO EM SOLO SUBMERSO EM RELAÇÃO À CALAGEM E AO MANEJO DA ÁGUA^{1/}

Pedro Marques da Silveira^{2/}
Antonio Carlos Ribeiro^{3/}
Liovando Marciano da Costa^{3/}

1. INTRODUÇÃO

Em condições aeróbicas, o ferro pode estar presente no solo na forma de óxidos férricos com diferentes graus de hidratação, em formas cristalinas e amorfas. A hematita (Fe_2O_3) é a forma dominante dos óxidos de ferro cristalinos em solos tropicais bem drenados (2). Em condições anaeróbicas, a solubilidade do ferro pode ser controlada por compostos de Fe(II), tais como hidróxido ferroso ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), siderita (FeCO_3) e sulfeto ferroso (FeS_2), além da magnetita (Fe_3O_4), que é um composto ferroso-férrico (2). Assim, o potencial redox e o pH controlam a solubilidade de ferro no solo.

Em condições de falta de oxigênio no solo, os microrganismos anaeróbicos e facultativos utilizam compostos oxidados do meio, em vez do oxigênio, como receptores de elétrons na cadeia respiratória. Desse modo, compostos de nitratos, compostos mangânicos, compostos férricos e compostos de sulfatos são reduzidos, e a ordem de redução, que depende do potencial redox, é: O_2 , NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} e CO_2 (10).

A redução do ferro aumenta a sua disponibilidade no solo, a qual pode provocar toxicidade desse elemento para muitas plantas, principalmente para o arroz, planta adaptada a solos submersos. A submersão, principalmente de solos ácidos, ricos em matéria orgânica e com alto teor de ferro, cria concentrações de ferro que podem atingir até 600 ppm, com uma a três semanas de submersão. Em seguida, há um decréscimo até o nível de 50 a 100 ppm, o qual persiste por vários meses (10). A concentração de ferro na solução do solo submerso aumenta com o tempo,

^{1/} Aceito para publicação em 02-04-1987.

^{2/} EMBRAPA/CNPAF. Caixa Postal 179. 74.001 Goiânia, GO.

^{3/} Departamento de Solos da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

atinge um máximo, que pode ser por longo ou curto período de tempo, e decresce em seguida. A toxicidade de ferro, também conhecida como «bronzing», ou bronzeamento, tem constituído um fator limitante para o desenvolvimento normal das plantas de arroz irrigado por submersão em muitas regiões do Brasil (1). Informações sobre o nível tóxico crítico diferem largamente de um autor para outro. Em condições de solo, tem sido indicado 300 ppm como nível tóxico crítico, segundo o INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (8). Outros autores observaram o não-aparecimento de sintomas com 1680 ppm de Fe na solução do solo (5). BARBOSA FILHO *et alii* (1) e DE *et alii* (5) concluíram que a severidade da toxicidade de ferro está associada aos teores de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de arroz. TANAKA *et alii* (13) observaram que o nível tóxico crítico varia com a idade das plantas, com a variedade e, possivelmente, com o seu estado nutricional, e citam níveis tóxicos críticos de 100 a 600 ppm. A grande diversidade de conclusões sobre o nível tóxico crítico de ferro torna claro que o desenvolvimento do sintoma de toxicidade é complexo.

Têm sido citadas, na literatura, diversas práticas agrícolas para reduzir a disponibilidade de ferro no solo ou minimizar a sua toxicidade para as plantas, como, entre outras, a calagem, o uso de variedades resistentes, a aplicação de fertilizantes e o manejo da água de irrigação (6).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos das práticas de calagem e de manejo da água de submersão sobre a disponibilidade de ferro no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, MG, em condições de casa de vegetação. A amostra de solo utilizada foi coletada no leito maior da margem do rio Turvo Sujo, próximo ao Aeroporto de Viçosa, da camada superficial de 0 a 20 cm de profundidade, e apresentou as características físicas e químicas do Quadro 1.

QUADRO 1 - Características físicas e químicas da amostra de solo utilizada no estudo

Areia	Silte	Argila	MO	pH em	Al ⁺⁺⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	P
----- % -----				H ₂ O	---	meq/100g	---	---	ppm ---
11	32	57	3,4	5,0	1,10	2,25	0,60	69	1,9

O solo foi seco ao ar, peneirado em peneira de malha de 2 mm e colocado em vasos de 1,7 litro de capacidade. Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados, no esquema fatorial 4 x 3, com três repetições. Os tratamentos com calagem consistiram na aplicação, por vaso, de quantidades correspondentes a 0, 2.200, 4.400 e 6.600 kg de calcário por ha, equivalentes a 0, 1, 2 e 3 vezes a necessidade de calagem, conforme o critério proposto pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (4).

Aplicou-se o carbonato de cálcio p.a., e o tempo de incubação foi de 27 dias, período em que o solo foi mantido com umidade próxima à «capacidade de campo».

Após a incubação, o solo foi submerso numa lâmina de água de aproximadamente 7 cm de altura, a qual completava o volume do vaso. Os tratamentos correspondentes ao manejo da água de submersão consistiram em mantê-la, sem renovação, com renovação de 15% e de 30% do total de lâmina d'água no vaso. Nos tratamentos com renovação, a água necessária para tal fim, previamente determinada, foi colocada no vaso, na altura da superfície do solo submerso, através de um dispositivo que permitia sua aplicação por gotejamento. O dispositivo foi fixado em um dos lados do vaso. No lado oposto foi permitida a drenagem da água renovada, através de um dreno, na borda superior do vaso.

A renovação de água do vaso foi feita diariamente, repondo-se, antes da renovação, a água evaporada em todas as parcelas.

As amostras destinadas à determinação do ferro foram retiradas com intervalos de 11 dias, durante o período de 33 dias de submersão, totalizando quatro determinações do elemento. Para cada análise, nos diferentes tempos de submersão, as amostras foram retiradas do solo submerso, na camada superficial de 0 a 5 cm de profundidade, e colocadas diretamente em contato com o extrator. Utilizou-se o extrator de Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025\text{N}$), na relação solo: solução de 4:40, com cinco minutos de agitação, e a dosagem do ferro foi feita por espectrofotometria de absorção atômica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de ferro disponível no solo, avaliados por meio do extrator de Mehlich-1 (Quadro 2), mostraram efeitos estatisticamente significativos dos três fatores estudados, quais sejam: tempo de submersão do solo (T), porcentagem de renovação da água (A) e quantidade de calcário aplicada (C). Também as interações TxAxC, TxA e TxC foram estatisticamente significativas.

As variações dos teores de ferro disponível (Y), de acordo com T e C, fixando-se a variável A em 0, 15 e 30%, ajustaram-se às seguintes equações:

$$Y_0 = 1282,81 + 66,22T + 3,81T^2 - 0,043C + 0,0003T.C$$

$$(R^2 = 0,9292^{**})$$

$$Y_{15} = 21278,42 + 178,42T + 1,51T^2 - 0,041C + 0,0021T.C$$

$$(R^2 = 0,9213^{**})$$

$$Y_{30} = 21319,86 + 164,61T + 1,96T^2 - 0,050C - 0,0020T.C$$

$$(R^2 = 0,9150^{**})$$

Para o ajuste dessas equações, a variável A foi fixada em razão de seu número de graus de liberdade mais limitado. Uma visão mais clara do comportamento das variáveis estudadas é dada na Figura 1, construída para a condição em que não houve renovação de água (A=0).

As equações ajustadas mostram que, para determinada quantidade de calcário aplicado, a disponibilidade de ferro aumenta com o aumento do tempo de

QUADRO 2 - Teores de ferro "disponível" no solo, em ppm, de acordo com o tempo de submersão, porcentagem de renovação da água e quantidade de calcário aplicada no solo

Tempo de submersão (dias)	Renovação da água (%)	Calcário aplicado (Kg/ha)				Média
		0	2200	4400	6600	
0	0	1467	1433	1267	1283	1363
	15	1500	1650	1350	1233	1433
	30	1683	1450	1450	1233	1454
	Média	1550	1511	1355	1250	
11	0	1800	1800	1717	1375	1673
	15	2742	2017	2233	2358	2337
	30	2583	2033	2167	2100	2221
	Média	2375	1950	2039	1944	
22	0	4750	5708	5417	4667	5135
	15	7250	6208	6392	6333	6546
	30	6833	6208	6958	5916	6479
	Média	6278	6041	6255	5639	
33	0	7167	7778	7056	7167	7292
	15	8528	8306	8278	7778	8222
	30	8806	8084	7973	7917	8195
	Média	8167	8056	7769	7621	

submersão, independentemente da porcentagem de renovação da água. Esse resultado concorda com observações relatadas por vários pesquisadores (3, 9, 10, 12). PATRICK e DELAUCE (9), por exemplo, encontraram concentrações de ferro crescentes no solo durante o período de 56 dias de submersão. Pode-se ainda observar, pelas equações ajustadas e pela Figura 1, que o aumento da quantidade de calcário aplicada promoveu diminuição nos teores de ferro disponível no solo, independentemente do manejo da água de submersão. A calagem aumenta o pH do solo, e, em razão disso, a solubilidade do ferro diminui (1, 2, 6, 10).

A porcentagem de renovação da água também influenciou significativamente os teores de ferro disponível no solo. Essa influência se verificou principalmente em relação ao tempo de submersão, que teve efeito mais acentuado sobre os teores de ferro disponível à medida que a água foi mais renovada, conforme se depreende da comparação dos coeficientes lineares de T nas equações ajustadas. PONAMPERUMA (11) e HOWELER (7) sugeriram diferentes manejos de água de submersão como meio de diminuir a toxicidade de ferro em lavouras de arroz. Segundo TSUTSUI (14), a irrigação com renovação da água de submersão deve ser praticada em solos onde haja substâncias tóxicas e que sejam de má drenagem. Nessas condições, o suprimento de água deve ser contínuo e corrente. Entretanto, neste trabalho, a concentração de ferro disponível no solo foi menor no trata-

$$Y_0 = 1.282,81 + 66,22 T + 3,81 T^2 - 0,043 C + 0,0003T.C \quad (R^2 = 0,9298^{**})$$

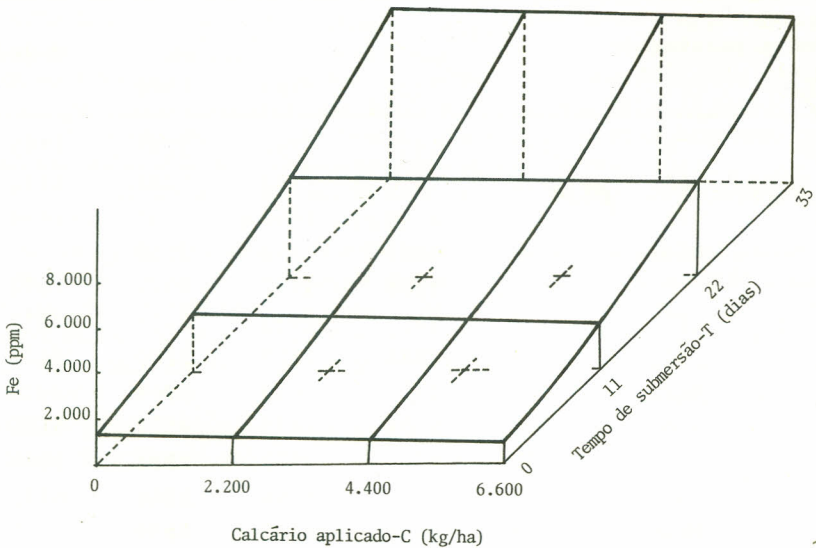


FIGURA 1 - Concentração de ferro "disponível", de acordo com o calcário aplicado (C) e tempo de submersão do solo (T), sem renovação da água de submersão.

mento sem renovação da água de submersão, em comparação com os outros dois tratamentos de manejo da água. A justificativa aventada para esse resultado foi que os tratamentos que não sofreram renovação da água apresentaram água de submersão muito turva, com presença de organismos fotossintetizantes na superfície do solo e da água. A hipótese seria que a liberação de oxigênio para o meio, por esses organismos fotossintetizantes, teria causado diminuição na redução de ferro. A quantidade de oxigênio produzida por esses organismos seria superior à quantidade de oxigênio dissolvida na água de renovação.

Os valores finais de ferro disponível no solo, no maior tempo de submersão, ultrapassaram 7.000 ppm nos diferentes tratamentos de calagem e manejo da água. Apesar do efeito significativo desses tratamentos, observado neste trabalho, o problema de toxicidade de ferro para uma planta de arroz que viesse a ser desenvolvida nesse solo poderia não ser eliminado. O valor de 7.000 ppm é bem superior aos níveis tóxicos críticos para a planta citados por DE *et alii* (5), INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (8) e TANAKA *et alii* (13). Segundo HOWLER (7), muitas práticas ajudam a reduzir a severidade do problema, mas não o eliminam totalmente. Considerações econômicas determinariam a viabilidade do plantio de arroz irrigado em solos com alto teor de ferro disponível.

Por outro lado, dada a magnitude dos valores de ferro disponível encontrados, é possível que o extrator usado, Mehlich-1, não se tenha comportado como bom extrator de ferro para o solo em questão, nas condições do presente estudo.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o presente trabalho, objetivou-se estudar os efeitos da aplicação de diferentes quantidades de calcário e do manejo da água de submersão sobre a disponibilidade de ferro no solo. O estudo foi conduzido em vasos, em casa de vegetação, e os tratamentos consistiram na aplicação de doses equivalentes a 0, 2.200, 4.400 e 6.600 kg/ha de calcário e 0, 15 e 30% de renovação diária da água de submersão. Usou-se o extrator de Mehlich-1, e as determinações de ferro foram feitas com intervalos de 11 dias, durante 33 dias de submersão do solo.

O ferro disponível aumentou com o tempo de submersão do solo.

A disponibilidade de ferro no solo decresceu com o aumento da quantidade de calcário aplicada e foi menor no tratamento sem renovação da água de submersão.

As altas concentrações de ferro observadas levantam dúvidas a respeito da eficiência dos tratamentos no controle da toxicidade desse elemento no solo.

5. SUMMARY

(IRON AVAILABILITY IN SUBMERGED SOIL AS AFFECTED BY LIMING AND WATER MANAGEMENT)

This experiment was conducted in pots under greenhouse conditions with the aim of determining the effects of lime (0, 2200, 4400 and 6600 kg/ha) and submersion water management (0, 15 e 30% of daily renovation of total water) on iron availability in soil. The Mehlich-1 extractor was used and the determination of iron was made four times during 33 days. The availability of iron increased with the time of submersion but decreased with the amount of lime. The 0% treatment showed a smaller quantity of iron available. The high concentrations of iron encountered raised doubt about the efficiency of the treatments in the control of toxicity of iron in soil.

6. LITERATURA CITADA

1. BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.R. & 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.
2. BOLT, G.H. & BRUGGENWERT, M.G.M. *Soil Chemistry*. 2.^a ed. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1978. p. 105-113.
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. *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 3.^a aproximação. Belo Horizonte, EPAMIG, 1978. p. 80.
5. DE, P.R. & MANDAL, L.N. Physiological diseases of rice. *Soil Sci.*, 84:367-376, 1957.

6. FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; SOARES, P.C. & DA COSTA, L.M. Toxicidade do ferro e seu controle em arroz irrigado. *Informe Agropecuário*, 10 (114):45-51, 1984.
7. HOWELER, R.H. Iron-induced organic disease of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37:898-903, 1973.
8. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Anual Report*. Los Baños, Filipinas, 1963. 302 p.
9. PATRICK, W.H. JR. & DELAUNE, R.D. Characterization of the oxidized and reduced zones in flooded soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:573-576, 1972.
10. PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.*, 24: 29-96, 1972.
11. PONNAMPERUMA, F.N.; BRADFIELD, R. & PEECH, M. Physiological diseases of rice attributable to iron toxicity. *Nature*, 175:265, 1955.
12. TAKKAR, P.N. Effect of organic matter on soil iron and manganese. *Soil Sci.*, 108:108-112, 1969.
13. TANAKA, A.; LOE, R. & NAVASERO, S.A. Some mechanisms involved in the development of iron toxicity symptoms in the plant. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 12:158-164, 1966.
14. TSUTSUI, H. Manejo de água para produção de arroz. *Lavoura Arrozeira*, 25 (269):36-41, 1972.