

# ALTERAÇÕES DE pH, Eh E DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES PARA ARROZ IRRIGADO EM UM SOLO DE VÁRZEA TRATADO COM CALCÁRIO E PALHA DE ARROZ EM CASA DE VEGETAÇÃO<sup>(1)</sup>

J. F. DYNIA<sup>(2)</sup> & M. P. BARBOSA FILHO<sup>(3)</sup>

## RESUMO

Amostra de um solo Glei Pouco Húmico foi utilizada num experimento de casa de vegetação no Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão - EMBRAPA/CNPAF (Goianira, GO), em julho-dezembro de 1988. Foram testados os efeitos da aplicação de calcário (2 g.kg solo<sup>-1</sup>) e palha de arroz (5 g.kg solo<sup>-1</sup>) sobre o pH e o Eh do solo, e a disponibilidade de Fe, Mn, Cu e Zn para dois cultivares (CICA 8 e BR-IRGA 409) de arroz irrigado por inundação. Os tratamentos tenderam a acentuar a queda do Eh do solo. O calcário contribuiu para estabilizar o pH (em torno de 6,0) durante a inundação, e a palha de arroz praticamente não o afetou. A solubilidade dos micronutrientes foi reduzida pela calagem, sendo Fe e Zn mais afetados que Mn e Cu. A palha de arroz reduziu ligeiramente os teores de Cu e Zn extraíveis e praticamente não afetou Fe e Mn. As alterações na solubilidade dos micronutrientes, devidas ao calcário e à palha de arroz, não influenciaram na sua absorção pelas plantas. O cultivar CICA 8 extraiu mais Fe e Zn e menos Cu do que o BR-IRGA 409.

**Termos de indexação:** Glei Pouco Húmico; inundação; Fe, Mn, Cu e Zn extraíveis; solução.

**SUMMARY:** AVAILABILITY OF MICRONUTRIENTS TO IRRIGATED RICE IN A LOWLAND SOIL UNDER LIME AND RICE STRAW TREATMENTS

*A low thermic Gley soil was utilized in a greenhouse experiment, conducted at the "Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão" - EMBRAPA/CNPAF (Goianira, State of Goiás, Brazil) between July and December, 1988. The effects of lime (2 g.kg soil<sup>-1</sup>) and rice straw (5 g.kg soil<sup>-1</sup>) applications on soil pH and Eh, and the availability of Fe, Mn, Cu and Zn to two low land rice cultivars (CICA 8 and BR-IRGA 409), were evaluated. Treatments induced the decrease in soil Eh. Lime resulted in the stabilization of soil pH (near 6.0) during flooding, whereas rice straw practically had no effect on it. Lime reduced micronutrient availability, Fe and Zn being more affected than Mn and Cu. Rice straw reduced slightly extractable Cu and Zn and practically did not affect Fe and Mn. Changes in the solubilities of the micronutrients owing to the lime and rice straw treatments did not significantly influence its extraction by the rice plants. CICA 8 extracted more Fe and Zn, and less Cu than BR-IRGA 409.*

*Index terms:* Low Humic Gley, flooding, pH; Eh; Mn, Cu and Zn.

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em janeiro de 1992 e aprovado em janeiro de 1993.

<sup>(2)</sup> Engenheiro-Agrônomo, EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF), Caixa Postal 179, CEP 74001-970 Goiânia (GO). Bolsista do CNPq.

<sup>(3)</sup> Engenheiro-Agrônomo, Caixa Postal 179, CEP 74001-970 Goiânia (GO). Bolsista do CNPq.

## INTRODUÇÃO

No Brasil ainda são escassas as informações sobre a dinâmica dos micronutrientes nos solos de várzea, notadamente aqueles da região dos Cerrados, os quais vêm sendo paulatinamente incorporados ao processo produtivo.

Entre outras práticas, a calagem e a adição de matéria orgânica ao solo são preconizadas, por muitos pesquisadores, para controlar a disponibilidade de micronutrientes para o arroz irrigado e evitar problemas de toxicidade e/ou deficiências. A calagem tem sido apontada como prática capaz de atenuar a toxicidade de Fe (Howeler, 1973; Freire et al., 1985). Também a adição de matéria orgânica tem sido usada visando controlar a solubilidade de Fe e Mn nos solos alagados (Clark et al., 1957; Takkar, 1969; Freire et al., 1985), mas os resultados têm sido contraditórios. Tanto a calagem como a adubação orgânica, por alterarem o pH e o Eh do solo (Nhung & Ponnampuruma, 1966; Takkar, 1969; Ponnampuruma, 1972), alteram também a disponibilidade de outros micronutrientes, além do Fe e do Mn. Neste trabalho, procurou-se avaliar os efeitos da calagem e da matéria orgânica sobre a dinâmica de Fe, Mn, Cu e Zn, num solo de várzea, e a disponibilidade desses nutrientes para dois cultivares de arroz irrigado, mantidos com lâmina de água em condições de casa de vegetação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em telado no Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA/CNPAF). Utilizou-se amostra do horizonte Ap de um solo Glei Pouco Húmico (GPH) coletado na Fazenda Experimental Palmital, em Goianira (GO). O solo apresentava as seguintes características químicas: pH em água (relação 1:1) = 5,7; M.O. = 2,4%; Ca + Mg trocáveis = 7,5 meq/100g; Al trocável = 0,2 meq/100g; P solúvel (Mehlich 1) = 25 ppm; K trocável = 34 ppm; Fe, Mn, Cu e Zn (extraídos em solução de Mehlich 1) = 98, 29, 1 e 2 ppm respectivamente; Fe, Mn, Cu e Zn totais (extraídos com  $H_2SO_4$  1:1) = 28.500; 550, 20 e 82,5 ppm respectivamente.

Em amostra previamente seca ao ar e passada em peneira com malha de 5mm, testaram-se os seguintes fatores, arrançados em esquema fatorial  $2^3$ : calagem - nível 0 e nível 1 (2g.kg solo<sup>-1</sup>) correspondente à necessidade de calcário para pH 6,5, determinada pelo método de incubação (utilizou-se uma mistura de  $CaCO_3$  e  $MgCO_3$  p.a. com relação molar entre Ca e Mg igual a 4:1); matéria orgânica - nível 0 e nível 1, correspondente à adição de palha de arroz (moída e peneirada a 2 mm) na proporção de 0,5% peso/peso (5 g kg solo<sup>-1</sup>) e cultivares - CICA 8 e BR-IRGA 409, tolerante e sensível, respectivamente, à toxicidade de Fe. Estabeleceram-se três repetições para 'CICA 8' e quatro para o 'BR-IRGA 409' e os vasos foram distribuídos inteiramente ao acaso.

Após um período de setenta dias de incubação do calcário e da palha de arroz com o solo, cada unidade experimental (vaso com 7,5 kg de solo) recebeu uma adubação básica de 675 mg de N como uréia; 600 mg de P como fosfato bicálcico e 562,5 mg de K como cloreto de potássio, seguindo-se a semeadura do arroz (dez sementes/vaso). Duas semanas após a semeadura, fez-se o desbaste, deixando-se seis plantas por vaso. Decorridos 65 dias da semeadura, aplicaram-se em cobertura 600 mg de uréia e 600 mg de cloreto de potássio. O solo foi mantido à capacidade de campo por 35 dias após a semeadura. A partir desse período, manteve-se nos vasos uma lâmina de água de aproximadamente 3 cm.

A cada 14 dias após a inundação, retiraram-se amostras de terra e da solução do solo de dois vasos de cada tratamento plantados com o 'BR-IRGA 409', determinando-se os teores de macro- e micronutrientes (solo e solução) e o pH (solução). Nos mesmos vasos, foram feitas avaliações semanais do pH e do Eh do solo "in situ", cerca de 3cm abaixo da superfície. Para o pH, tomou-se a média de duas determinações feitas em pontos diferentes do solo em cada vaso. Para o Eh, tomaram-se as médias de duas, quatro e seis determinações, respectivamente, nos períodos 0-2, 3-5 e 6-8 semanas. Isso foi necessário para compensar variações crescentes entre leituras devidas ao aumento do volume de raízes do arroz.

Durante o ciclo da cultura, efetuaram-se quatro coletas de plantas (parte aérea total), para análise, aos 14 e 28 dias após inundação e nas fases de perfilhamento máximo e floração. Os extratos das plantas foram obtidos por digestão úmida com mistura de ácidos nítrico e perclórico na proporção 2:1.

As amostragens de solo foram feitas na profundidade de 3-4cm, usando-se um amostrador tipo "cachimbo" de 10ml de volume. Imediatamente após a coleta, colocaram-se as amostras em frascos contendo 100ml da solução de Mehlich-1, ou 100ml de KCl 1N, para análise, no laboratório. As amostras de solução do solo eram extraídas sob vácuo de 40 centibares, através de cápsulas porosas de tensiômetros adaptadas a tubo de PVC. Imediatamente após a coleta, determinou-se o seu pH. Em seguida, os frascos foram vedados e o ar no seu interior, substituído por  $N_2$ . No laboratório, antes da análise dos micronutrientes, adicionou-se 0,5ml de HCl concentrado em cada frasco, para evitar precipitação de Fe e Mn.

Efetuaram-se determinações de Fe, Mn, Cu, Zn, Ca e Mg nas plantas, no solo (micronutrientes no extrato de Mehlich 1 e Ca e Mg no extrato de KCl 1N), e na solução do solo. As análises foram feitas em espectrofotômetro de absorção atômica, com exceção de Ca e Mg no solo, determinados por titulação com EDTA 0,1N.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Dinâmica dos micronutrientes no solo

As variações observadas nos valores de Eh e pH em função dos tratamentos encontram-se na figura 1.

Os valores de pH foram sempre inferiores aos da solução do solo, dentro de cada tratamento e época de amostragem. As perdas de gases das soluções provocadas pelo vácuo usado no processo de sua extração são as causas principais de elevação do pH em relação ao pH do solo. O fenômeno foi descrito por Suarez (1987). As variações de pH do solo durante a inundação foram pequenas, não ultrapassando 0,5 unidade. Isso ocorreu tanto na presença como na ausência de calagem. No solo com calagem, o pH se manteve em torno de 6,0 ao longo de todo o período de inundação, excetuando-se o ponto referente à sexta semana. Na ausência de calagem, ocorreu discreta tendência de aumento do pH, que passou de cerca de 5,5 para quase 6,0 na oitava semana de inundação. Por sua vez, a palha de arroz praticamente não alterou o comportamento do pH do solo.

Como era esperado, o Eh do solo diminuiu com a inundação, passando de valores ligeiramente superiores a 600 mV, para valores próximos de 0 mV, na oitava semana (Figura 1). As maiores quedas de potencial ocorreram na primeira semana, e entre a segunda e a terceira semanas após a inundação. A calagem e a palha de arroz causaram pequena redução do Eh do solo, nas cinco primeiras semanas. Reduções expressivas nesse parâmetro possivelmente só ocorram com doses bem mais elevadas de calcário e matéria orgânica, como indicam dados obtidos em outros tipos de solos por Nhung & Ponnampertuma (1966) e Takkar (1969).

## Ferro

Os teores de Fe-extraível aumentaram linearmente durante o período de inundação do solo, pas-

sando de cerca de 60 ppm para valores entre 900 e 1.600 ppm (Figura 2). Verificou-se o mesmo para o Fe-solução, cujos teores aumentaram de níveis próximos de 0 (zero) para 50-70 ppm. Entre a sexta e a oitava semana após a inundação, os teores de Fe-extraível tiveram aumentos proporcionalmente maiores do que os de Fe-solução. Tal discrepância se deveu à colheita das duas últimas plantas de arroz, cinco dias antes de se completar a oitava semana de inundação. Como as raízes do arroz possuem considerável poder de oxidação, admite-se que a supressão de sua atividade tenha possibilitado aumento na redução do ferro, o que se refletiu em aumento do Fe-extraível. Esse aumento é atribuído, em parte, à redução do ferro depositado na superfície das raízes. Sabe-se que grandes quantidades de ferro reduzido reoxidam-se na superfície das raízes do arroz, precipitando-se na forma de lepidocrocita (Bacha & Hossner, 1977). Por outro lado, as diferenças entre o Fe-extraível e o Fe-solução entre a sexta e a oitava semana também podem ser atribuídas à formação de FeS no meio, como consequência das grandes quantidades de ferro na forma reduzida ( $Fe^{2+}$ ) e da ocorrência concomitante de  $S^{2-}$ , resultante da redução de sulfatos. Como se sabe, na seqüência termodinâmica de redução do solo, o  $SO_4^{2-}$  vem imediatamente após o ferro (Ponnampertuma, 1972). O FeS tem baixa solubilidade no solo; portanto, tende a manter níveis baixos de ferro na solução, mas é totalmente solúvel no extrator usado para estimar o ferro extraível ( $H_2SO_4$  0,025N + HCl 0,05N). A presença de sulfetos no solo foi comprovada pelo odor característico de gás sulfídrico ( $H_2S$ ), desprendido de amostra de solo do fundo do vaso colocada em contato com o extrator ácido.

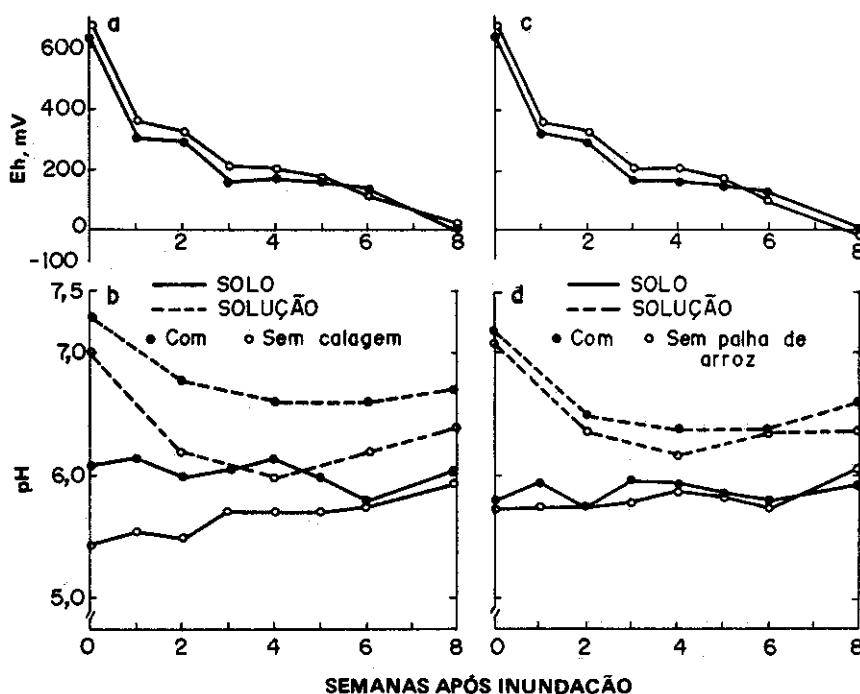


Figura 1. Dinâmica do pH e do Eh no solo glei pouco húmico sob inundação, na presença e na ausência da calagem (a, b) e da palha de arroz (c, d).

A calagem reduziu os teores de Fe-extraível e Fe-solução a partir da segunda semana (Figura 2), o que concorda com resultados de Nhung & Ponnamperruma (1966). Comportamento semelhante foi observado para os índices de saturação de ferro no solo (Fe-extraível/Fe + Mn + Ca + Mg extraíveis) e na solução (Fe solução/Fe + Mn + Ca + Mg-solução) (Figura 3). Este último parâmetro apresenta melhor correlação com a absorção de ferro pelo arroz do que o teor absoluto de Fe-solução. Seu valor crítico para causar toxicidade de ferro às plantas seria 0,75 (Moore Jr. & Patrick Jr., 1989).

No presente trabalho, o valor máximo registrado foi 0,25 sem a calagem (Figura 3), muito abaixo, portanto, do nível de toxicidade. A comparação das curvas do índice de saturação de Fe-solução e do teor absoluto de Fe-solução mostra que, com a calagem, o índice de saturação do elemento sofreu redução proporcionalmente maior do que o seu teor absoluto na solução do solo. Tal fato, associado à conclusão de Moore Jr. & Patrick Jr. (1989) de que a absorção do ferro se relaciona diretamente à sua atividade relativa na solução do solo, apóia as seguintes teses: (a) não há necessidade de eliminar completamente o excesso

de ferro do solo para prevenir sua toxicidade no arroz (Barbosa Filho et al., 1983), e (b) a toxicidade pode ser evitada pela aplicação de calcário em doses economicamente viáveis (Nhung & Ponnamperruma, 1966; Barbosa Filho et al., 1983).

A incorporação de palha de arroz ao solo causou aumentos pequenos nos teores de Fe-extraível e Fe-solução quando comparado com a calagem (Figura 2). Resultados semelhantes são encontrados nos trabalhos de Clark et al. (1957), Takkar (1969) e Yoon et al. (1975), embora os aumentos nos teores de Fe-extraível e Fe-solução variem com o tipo de solo e com as condições experimentais. Por outro lado, a palha de arroz praticamente não afetou o índice de saturação de ferro no solo ou na solução (Figura 3).

### Manganês

Independentemente dos tratamentos, o Mn-extraível aumentou até a segunda semana de inundação (de cerca de 20 ppm para valores entre 40 e 52 ppm), estabilizando-se até a sexta semana, e voltou a aumentar entre esta e a oitava semana (Figura 2). Os

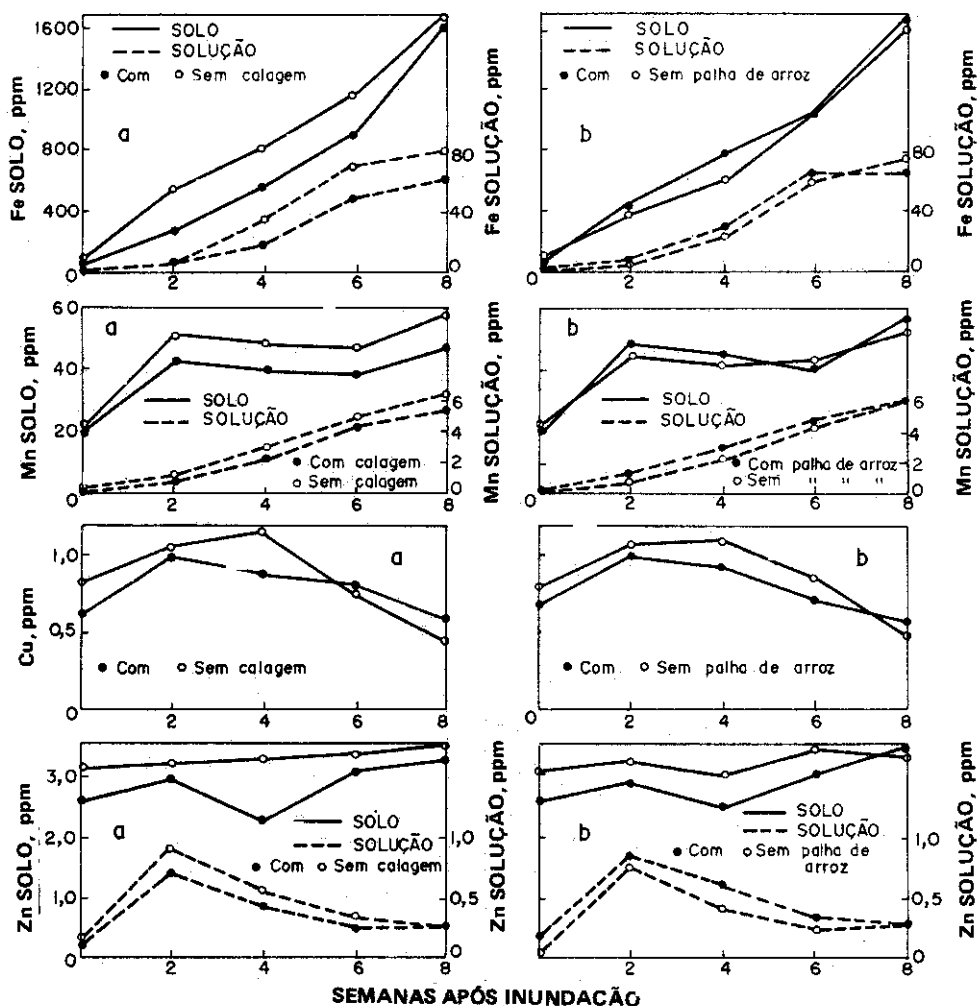


Figura 2. Variação de solubilidade do Fe, Mn, Cu e Zn no solo glei pouco húmico com o tempo de inundação, na presença e na ausência de calagem (a) e de palha de arroz (b).

aumentos verificados neste último período de duas semanas podem ser atribuídos à mesma causa já discutida no caso do ferro (supressão da atividade oxidativa das raízes, seguida de novo pico de redução do solo). A curva de Mn-solução não acompanhou a de Mn-extraível. No período de inundação, os teores na solução passaram de traços para cerca de 6 ppm, sem que sintomas de toxicidade por Mn fossem observados.

A calagem reduziu os teores de Mn-extraível e Mn-solução, mas seu efeito foi proporcionalmente maior no primeiro parâmetro (Figura 2). As reduções nos teores de Mn-solução devidas à calagem foram pouco acentuadas, fato também observado por Nhung & Ponnampuruma (1966) em um solo ácido sulfatado.

A palha de arroz não afetou os teores de Mn-extraível e Mn-solução durante o período de inundação (Figura 2). Os dados relativos ao Mn-solução discordam em parte dos de Yoon et al. (1975), os quais registraram aumentos significativos até a terceira semana de inundação, e posterior redução. No trabalho de Yoon et al. (1975), o solo foi inundado imediatamente após a incorporação da palha e, no presente, a palha foi incorporada setenta dias antes da inundação. Em cada situação, possivelmente, ocorreram diferenças nas quantidades e nas taxas de produção de  $\text{HCO}_3^-$ , refletindo-se nos teores de Mn-solução. Sabe-se que aumentos na concentração de  $\text{HCO}_3^-$  provocam reduções na concentração de manganês na solução do solo, o que sugere a formação de carbonatos de manganês (Yoon et al., 1975). Esse parecer é compartilhado por Ponnampuruma (1977), que considera ser o  $\text{MnCO}_3$  o mineral que controla a concentração de  $\text{Mn}^{2+}$  nos solos alagados.

### Cobre

Na ausência da calagem e da palha de arroz, os teores de Cu-extraível aumentaram ligeiramente nas primeiras quatro semanas após a inundação, seguindo-se um decréscimo de solubilidade até a oitava semana. Com calagem e palha de arroz, os maiores valores ocorreram na segunda semana (Figura 2). Misra et al. (1989) obtiveram resultados semelhantes em dez solos diferentes, embora tenham registrado,

na média, novo aumento de Cu-extraível (com HCl 0,1N) após 40 dias da inundação.

A calagem e a palha de arroz reduziram ligeiramente os teores de Cu-extraível (a calagem, até a quarta semana; a palha de arroz, até a sexta), o que se atribui na calagem, à elevação do pH do solo, e na palha de arroz, à formação de complexos estáveis de cobre com ligantes orgânicos liberados na decomposição da palha. O cobre não foi detectado nas soluções do solo, indicando que sua concentração ficou sempre abaixo de 0,09 ppm. Este valor é o limite de detecção do espectrofotômetro de absorção atômica utilizado nas análises.

### Zinco

O comportamento do zinco está indicado na figura 2. Com exceção dos pontos referentes à quarta semana, nota-se pequeno aumento nos teores de Zn-extraível com o tempo de inundação. Entre o início da inundação e a oitava semana, tal aumento foi de cerca de 0,5ppm, para todos os tratamentos. O Zn-solução cresceu somente até a segunda semana, quando voltou a diminuir, até a oitava. A diferença de comportamento entre o Zn-extraível e o Zn-solução é atribuída ao uso de um extrator ácido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025N + HCl 0,05N) para avaliar o Zn-extraível. Em pH baixo, esse extrator pode solubilizar o zinco que se encontra sob formas insolúveis nos solos alagados (hidróxidos e carbonatos, por exemplo). Dados obtidos por Misra et al. (1989) comprovam o grande poder de extração de zinco de extratores desse tipo, em comparação com extratores de baixa acidez, como EDTA, DTPA, ácido cítrico ou acetato de amônio.

A calagem reduziu os teores de Zn-extraível e Zn-solução. O mesmo efeito foi observado com a adição de palha de arroz em relação ao Zn-extraível, porém não em relação ao Zn-solução, cujos teores aumentaram neste tratamento. Contrariamente às indicações de Yoon et al. (1975), no presente trabalho a decomposição da palha de arroz parece ter liberado ligantes orgânicos capazes de formar complexos solúveis com o zinco, aumentando assim a concentração na solução do solo.

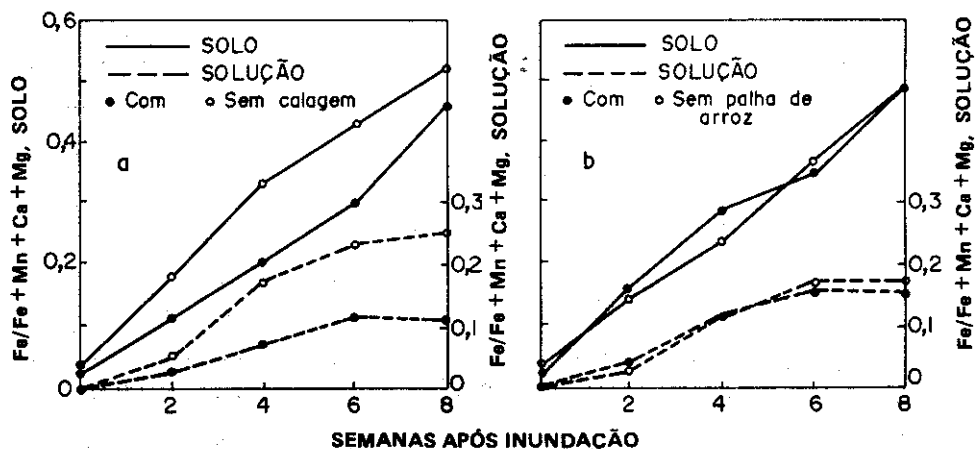


Figura 3. Variação do índice de saturação de Fe ( $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Ca} + \text{Mg}$ ) no solo glei pouco húmico com o tempo de inundação, na presença e na ausência de calagem (a) e de palha de arroz (b).

### Produção de matéria seca

Na fase inicial de desenvolvimento das plantas (amostras 1 e 2), a calagem provocou decréscimos significativos na produção de matéria seca. No estágio de emborrachamento (amostra 3), seu efeito foi positivo e no de floração (amostra 4), já não se observavam diferenças entre os tratamentos com e sem calagem. A adição de palha de arroz afetou a produção de matéria seca apenas na segunda amostragem, não havendo interação entre a calagem e a palha de arroz (Quadro 1).

Na fase vegetativa, o BR-IRGA 409 apresentou produção de matéria seca superior à do 'CICA 8'. Já nas fases de emborrachamento e de floração, esta última apresentava maior produção. Isso era esperado, considerando-se a diferença do ciclo entre ambos

os cultivares: enquanto o BR-IRGA 409 (ciclo curto) atingiu os estádios de emborrachamento e floração aos 65 e 76 dias após a emergência (DAE), respectivamente, o CICA 8 (ciclo médio) atingiu os mesmos estádios aos 80 e 90 DAE.

### Absorção dos micronutrientes pelo arroz

A calagem e a adição de palha de arroz afetaram, em maior ou menor grau, a solubilidade dos micronutrientes no solo, destacando-se os efeitos da calagem na redução da solubilidade do ferro e do manganês. No entanto, a variação na solubilidade dos micronutrientes, atribuída aos tratamentos, não afetou significativamente suas concentrações no tecido das plantas, nem as quantidades absorvidas (Quadro 2).

Por outro lado, os cultivares mostraram comportamentos diferentes quanto à absorção dos nutrientes, o que será discutido a seguir.

### Ferro

Embora os teores de ferro no tecido das plantas tenham sido semelhantes nos dois cultivares, o CICA 8 acumulou significativamente mais ferro ( $7,26 \text{ mg vaso}^{-1}$ ) do que o BR-IRGA 409 ( $5,37 \text{ mg. vaso}^{-1}$ ). O cultivar CICA 8, de ciclo mais longo, atingiu a fase de floração aos 90 DAE, contra 76 DAE do BR-IRGA 409. A diferença de 14 dias entre as coletas das plantas implicou maior acúmulo de matéria seca da primeira (Quadro 1) e, naturalmente, maior absorção de ferro. Esperava-se que o 'BR-IRGA 409', considerado sensível à toxicidade de ferro, acumulasse o elemento em maior quantidade do que o 'CICA 8' (menos sensível), o que não aconteceu. Possivelmente, o aumento de solubilidade do ferro no solo estudado não tenha sido suficiente para suplantar a capacidade de oxidação de ferro pelas suas raízes. Não ocorreram interações entre os tratamentos que afetassem significativamente a absorção do elemento pelas plantas.

**Quadro 1. Efeitos da calagem, palha de arroz e cultivar sobre a produção de matéria seca do arroz em diferentes épocas de amostragem**

Tratamento		Amostragem <sup>(1)</sup>			
		1	2	3	4
		g/vaso <sup>(2)</sup>			
Calagem	0	1,4a	3,2a	19,6b	58,7a
	2g kg <sup>-1</sup>	0,9ba	2,8b	23,4a	60,6a
Palha de arroz	0	1,2a	2,8b	21,0a	59,3a
	5g kg <sup>-1</sup>	1,1a	3,2a	21,8a	60,0a
Cultivar	BR-IRGA 409	1,2a	3,3a	17,9b	50,4b
	CICA 8	1,1a	2,6b	26,2a	72,0a

<sup>(1)</sup> Amostragem 1: duas plantas/vaso, 25 dias após a emergência (DAE); amostra 2: uma planta/vaso, 40 DAE; amostra 3: uma planta/vaso (BR-IRGA 409 = 76 DAE; CICA 8 = 90 DAE); amostra 4: uma planta/vaso, início da floração. <sup>(2)</sup> Nas colunas, dentro de cada tratamento, diferenças significativas entre médias (Tukey 5%) estão indicadas por letras diferentes.

**Quadro 2. Efeitos de calagem, palha de arroz e cultivar sobre a absorção de micronutrientes pelo arroz colhido na floração (coleta 4)**

Tratamento		Teor da planta <sup>(1)</sup>				Quantidade absorvida <sup>(1)</sup>			
		Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn
		ppm				mg/vaso			
Calagem	0	106a	344a	2,2a	18a	6,2a	19,5a	0,12a	1,06a
	2g kg <sup>-1</sup>	102a	326a	2,5a	18a	6,2a	19,2a	0,14a	1,12a
Palha de arroz	0	101a	328a	2,4a	18a	5,9a	19,2a	0,14a	1,05a
	5g kg <sup>-1</sup>	108a	343a	2,3a	18a	6,4a	19,5a	0,13a	1,13a
Cultivar	BR-IRGA 409	107a	386a	3,1a	18a	5,3b	19,4a	0,15a	0,89b
	CICA 8	101a	286b	1,1b	18a	7,2a	19,3a	0,10b	1,29a

<sup>(1)</sup> Nas colunas, dentro de cada tratamento, diferenças significativas entre médias (Tukey 5%) estão indicadas por letras diferentes.

## Manganês

O teor médio de manganês no BR-IRGA 409 (386 ppm) foi significativamente mais elevado do que no 'CICA 8' (268 ppm). Embora estatisticamente diferentes, ambos estão dentro dos limites normais, não havendo diferença entre as quantidades absorvidas (Quadro 2). No BR-IRGA 409, o maior teor de manganês na parte aérea foi contrabalançado por menor produção de matéria seca (50,4g/vaso). O inverso ocorreu no 'CICA 8', isto é, menor teor de manganês e maior produção de matéria seca (72,0g/vaso). A interação palha de arroz x cultivar foi significativa. A adição da palha ao solo provocou aumento no teor médio de manganês da parte aérea do 'BR-IRGA 409', de 352 para 430 ppm, e redução no 'CICA 8', de 295 para 240 ppm.

## Cobre

Os teores de cobre nas plantas e as quantidades absorvidas pelo cultivar BR-IRGA 409 foram significativamente superiores aos do 'CICA 8'. No primeiro, o teor médio de cobre foi de 3,1 ppm e, no segundo, de 1,1 ppm (Quadro 2). Apesar de os teores de cobre na parte aérea terem ficado abaixo do limite de deficiência, estabelecido entre 5 e 6 ppm (Agarwala & Sharma, 1979; Tanaka & Yoshida, 1975), as plantas não mostraram sintomas visuais de deficiência do elemento. Por outro lado, os baixos níveis nas plantas parecem incompatíveis com os teores de cobre extraíveis do solo ao longo do período de inundação, os quais ficaram entre 0,45 e 1,20 ppm (Figura 2). Estes teores seriam suficientes para a nutrição do arroz em solos alagados, segundo resultados de Ponnampetuma et al. (1981), indicando um nível crítico de 0,1 ppm de cobre, extraível com HCl 0,05N. A discordância entre os teores de cobre no solo e na planta pode ser devida a uma superestimação do Cu-extraível, em vista da solubilização pelo extrator ácido usado, de formas não disponíveis de cobre, tais como sulfetos e complexos orgânicos estáveis.

## Zinco

O teor médio de zinco na parte aérea dos cultivares foi de 18 ppm (Quadro 2), mas o 'CICA 8' acumulou significativamente mais zinco (1,29g/vaso) do que o 'BR IRGA 409' (0,89mg/vaso). Isso se deve à maior produção de matéria seca do primeiro, como já comentado. O teor de zinco nas plantas ficou bastante próximo do nível crítico de 15 ppm, sugerido por Katyál & Ponnampetuma (1974). As plantas não mostraram sintomas de deficiência do elemento, indicando que seu suprimento era adequado. Efetivamente, o teor de zinco no solo (2,0-3,5 ppm - Figura 2) esteve sempre acima do nível crítico de 1 ppm, proposto por Ponnampetuma et al. (1981).

## CONCLUSÕES

1. A calagem reduziu a solubilidade dos micronutrientes no solo sob inundação. Fe e Zn foram mais afetados que Mn e Cu. A palha de arroz reduziu Cu e Zn extraíveis e não afetou Fe e Mn.
2. Os teores de ferro no solo não atingiram níveis tóxicos para o arroz.
3. As alterações na disponibilidade dos micronutrientes devidas ao calcário e à palha de arroz foram insuficientes para afetar sua absorção pelo arroz.
4. Os cultivares diferiram quanto à extração dos micronutrientes, exceto quanto ao manganês. O 'CICA 8' acumulou quantidades de ferro e zinco significativamente maiores do que o BR-IRGA 409. Este, por sua vez, acumulou mais cobre.

## LITERATURA CITADA

- AGARWALA, S.C. & SHARMA, C.P. Recognizing micronutrient disorders of crop plants on the basis of visible symptoms and plant analysis. Lucknow, Lucknow University, Department of Botany, 1979. 72p.
- BACHA, R.E. & HOSSNER, L.R. Characteristics of coating formed on rice roots as affected by iron and manganese additions. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 41:931-935, 1977.
- 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., Brasília, 18:903-910, 1983.
- CLARK, F.; NEARPASS, D.C. & SPECHT, A.W. Influence of organic additions and flooding on iron and manganese uptake by rice. Agron. J., Madison, 49:586-589, 1957.
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; SOARES, P.C.; COSTA, L.M. & FARIA, E.A. Calagem, adubação orgânica e manejo da água no controle da toxicidade de ferro em arroz irrigado. R. Ceres, Viçosa, 180:162-169, 1985.
- HOWELER, R.H. Iron-induced orangine disease of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded oxisol. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 37(6):898-903, 1973.
- KATYAL, J.C. & PONNAMPERUMA, F.N. Zinc deficiency: a widespread nutritional disorder of rice in Agusan del Norte. Philipp. Agric., Laguna, 58:(3/4):79-89, 1974.
- MISRA, A.K.; NAYAR, P.K. & PATNAIKA, S. Effect of flooding on extractable zinc, copper, boron and molybdenum in soils and their relation with yield and uptake of these nutrients by rice (*Oriza sativa*). Ind. J. Agric. Sci., New Delhi, 59(7):415-421, 1989.
- MOORE JR., P.A. & PATRICK JR., W.H. Iron availability and uptake by rice in acid sulfate soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 53(2):471-476, 1989.
- NHUNG, M.M. & PONNAMPERUMA, F.N. Effects of calcium carbonate, manganese dioxide, ferric hydroxide, and prolonged flooding on chemical and electrochemical changes and growth of rice in a flooded acid sulfate soil. Soil Sci. Baltimore, 102(1):29-41, 1966.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron., New York, 24:29-96, 1972.

- PONNAMPERUMA, F.N. Behavior of minor elements in paddy soils. Los Baños, IRRI, 1977. 15p. (IRRI Research Paper Series, 8.)
- PONNAMPERUMA, F.N.; CAYTON, M.T. & LANTIN, R.S. Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soils. *Pl. Soil*, The Hague, 61(3):297-310, 1981.
- SUAREZ, D.L. Prediction of pH errors in soil; water extractors due to degassing. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 51(1):64-67, 1987.
- TAKKAR, P.N. Effect of organic matter on soil iron and manganese. *Soil Sci.*, Baltimore, 108(2):108-112, 1969.
- TANAKA, A. & YOSHIDA, S. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. Los Baños, IRRI, 1975. 51p. (IRRI Technical Bulletin, 10.)
- YOON, S.K.; GILMOUR, J.T. & WELLS, B.R. Micronutrient levels in the rice plant Y leaf as a function of soil solution concentration. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 39(4):685-688, 1975.