



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

GERALDO DURÃES PEREIRA

**MANGANÊS EM CULTIVARES DE ARROZ DE
SEQUEIRO: PROGNÓSE DA DISPONIBILIDADE,
NUTRIÇÃO MINERAL E PRODUÇÃO**

1999



GERALDO DURÃES PEREIRA

**MANGANÊS EM CULTIVARES DE ARROZ DE SEQUEIRO:
PROGNOSE DA DISPONIBILIDADE, NUTRIÇÃO
MINERAL E PRODUÇÃO.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas para a obtenção do título de "Mestre".

Orientadora:

Dra. Janice Guedes de Carvalho

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
1999

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Pereira, Geraldo Durães

Manganês em cultivares de arroz de sequeiro: prognose da disponibilidade,
nutrição mineral e produção / Geraldo Durães Pereira. -- Lavras : UFLA, 1999.
111 p. : il.

Orientador: Janice Guedes de Carvalho.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Arroz. 2. *Oryza sativa*. 3. Manganês. 4. Disponibilidade. 5. Fluorescência.
6. Extrator. 7. Nutrição. 8. Produção. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

CDD-633.18891

GERALDO DURÃES PEREIRA

**MANGANÊS EM CULTIVARES DE ARROZ DE SEQUEIRO:
PROGNOSE DA DISPONIBILIDADE, NUTRIÇÃO
MINERAL E PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas para a obtenção do título de "Mestre".

Aprovada em 21 de dezembro de 1999

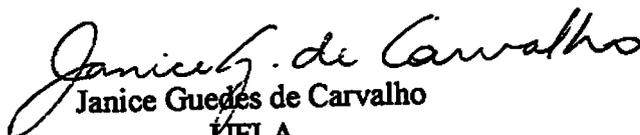
Prof.^a Angela Maria Soares

UFLA

Prof. Augusto Ramalho de Moraes

UFLA

M.Sc. Júlio César Bertoni


Janice Guedes de Carvalho
UFLA
(Orientadora)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

“Não te perturbe. Não te espante. Tudo passa. Só DEUS não muda. A paciência tudo alcança. Quem DEUS tem, nada lhe falta! Só DEUS basta”

(Santa Teresa)

OFEREÇO

Aos meus pais,

Por sempre acreditarem e me incentivarem, sacrificando seus sonhos em favor dos meus. Não foram apenas pais, mas amigos e companheiros, mesmo nas horas em que meus ideais pareciam distantes e inatingíveis e o estudo um fardo pesado demais. Obrigado, meus pais, pela compreensão quando me distanciei da família, apegado aos livros. Obrigado pelo sonho que realizo neste dia e, sobretudo, obrigado pela lição de amor que me ensinaram durante toda a vida. E que no exercício do dia a dia eu possa repassar aos meus descendentes a mesma dignidade com a qual vocês a fizeram chegar a mim.

A minha esposa e filhos,

A vocês, que compartilharam dos meus ideais e os alimentaram, incentivando-me a prosseguir nesta jornada, fossem quais fossem os obstáculos, e mesmo distantes, permaneceram sempre ao meu lado, dedico a minha vitória com a mais profunda gratidão e respeito.

Aos irmãos, sogros, parentes e amigos,

Pelo incentivo que tornaram possível a minha conquista, minha eterna gratidão.

À EMATER,

Pela oportunidade e confiança em mim depositada.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao CNPq pela oportunidade de realização do curso e pela concessão da bolsa de estudos.

À Professora Janice Guedes de Carvalho pela orientação.

Aos Professores Augusto Ramalho de Moraes e Angela Maria Soares pelas críticas e sugestões apresentadas.

À EMATER-MG-UREGI-Lavras pela acolhida e subsídios.

A Mauricio Roberto Fernandes pelo apoio e incentivo.

Aos amigos e colegas do curso pela solidariedade e momentos de convívio.

A todo o corpo docente, discente e funcionários do Departamento de solo, enfim, todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos moradores dos distritos de Desembargador Otoni e Planalto de Minas (Diamantina-MG) pelo crédito dado ao nosso trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL.....	i
GENERAL ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO 1.....	01
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	03
2.1 Manganês no solo.....	03
2.2 Manganês na planta.....	07
2.3 Detecção da deficiência de manganês em plantas.....	12
2.4 Manganês e a produção.....	17
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22
CAPÍTULO 2 Efeito do manganês na nutrição mineral e produção de cultivares de arroz de sequeiro – prognose da disponibilidade de manganês ...	29
RESUMO.....	29
ABSTRACT.....	30
1 INTRODUÇÃO.....	31
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
2.1 Caracterização do experimento.....	32
2.2 Cultivares utilizadas.....	36
2.2.1 Canastra.....	36
2.2.2 Confiança.....	36
2.3 Análises estatísticas dos dados.....	37
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
3.1 Determinação de manganês no solo.....	38
3.2 Fluorescência.....	46
4 CONCLUSÕES.....	56
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
CAPÍTULO 3 Efeito do manganês na nutrição mineral e produção de cultivares de arroz de sequeiro-teores de nutrientes e componentes da produção.....	61
RESUMO.....	61
ABSTRACT.....	62
1 INTRODUÇÃO.....	63
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	64
2.1 Caracterização do experimento.....	64
2.2 Variáveis avaliadas.....	68
2.3 Cultivares utilizadas e suas características.....	69
2.3.1 Canastra.....	69
2.3.2 Confiança.....	69

2.4 Análise estatísticas dos dados.....	70
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
3.1 Teores de nutrientes	71
3.2 Componentes da produção	86
4 CONCLUSÕES	100
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXO	104

RESUMO GERAL

PEREIRA, Geraldo Durães. Manganês em cultivares de arroz de sequeiro: prognose da disponibilidade, nutrição mineral e produção. Lavras: UFLA, 1999. 111p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)*

O presente trabalho foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, com os objetivos de testar extratores de rotina quanto a sua capacidade preditiva da disponibilidade de manganês, avaliar um método bioquímico para prognose da nutrição desse nutriente, estudar as relações do manganês com outros elementos na nutrição mineral e seus efeitos nos componentes da produção de cultivares de arroz de terras altas, em função da aplicação de doses crescentes de manganês. Os tratamentos constaram de 5 doses de manganês, sendo 4 aplicadas via solo (0, 4, 8 e 16 mg/dm³ de solo) e uma via foliar (4g L⁻¹), e duas cultivares de arroz de sequeiro (Canastra e Confiança). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 4 repetições, arranjado num esquema fatorial 5 x 2. Cada parcela foi constituída por um vaso com 8 kg de solo com 6 plantas. Dentre os extratores estudados, o Mehlich I, Mehlich III e o DTPA mostraram-se viáveis na avaliação da disponibilidade de Mn para as plantas de arroz, sendo que o HCl 0,1 mol L⁻¹ apresentou um baixíssimo R² e a Resina um elevado C.V. As medidas de fluorescência da clorofila através da razão Fo/Fv podem se constituir em um mecanismo auxiliar e prático para detecção e prognose da deficiência de manganês em arroz. A aplicação de manganês influenciou de maneira semelhante entre cultivares, os teores de nitrogênio, cálcio, ferro e manganês na parte aérea das plantas. A cultivar Confiança apresentou, dentre os componentes de produção, maior número de perfilho produtivo e percentagem de grãos cheios que a cultivar Canastra. Independentemente de não ter havido diferenças na matéria seca da palha na parte aérea, houve para a matéria seca da raiz e a cultivar Confiança superou a Canastra em mais esta variável avaliada. Há diferença, embora não muito acentuada, entre as cultivares testadas no tocante à susceptibilidade à deficiência de manganês, sendo que a cultivar Canastra se mostrou mais sensível e mais responsiva quando aplicada a dose mais adequada, de 8 mg de Mn/dm³ de solo, a qual propiciou os maiores valores das variáveis estudadas.

* Comitê Orientador: Janice Guedes de Carvalho – UFLA (Orientadora), Ângela Maria Soares – UFLA

GENERAL ABSTRACT

PEREIRA, Geraldo Durães. Manganese in cultivars of upland rice: prognosis of availability, mineral nutrition and yield. Lavras: UFLA, 1999. 111p. (Dissertation – Master in Soil Science and Plant Nutrition)*

The present work was conducted in greenhouse of the Soil Science Department of the Federal university of Lavras with the objectives of testing routine extractors as to their predictive capacity of manganese availability, evaluating a biochemical method for prognosis of that nutrient, studying the relationships of manganese with other elements in mineral nutrition and its effects on the yield of upland rice cultivars in terms of the application of growing doses of manganese. The treatments consisted of five doses of manganese, four being applied via soil (0, 4, 8 and 16 mg/dm³ of soil) and one via leaf (4g L⁻¹) and two upland rice cultivars (Canastra and Confiança). The experimental design utilized was the completely randomized with four replicates, arranged in a 5 x 2 factorial scheme. Each plot was made up of a pot with 8 kg of soil with 6 plants. Out of the studied extractors, Mehlich I, Mehlich III and DTPA proved viable in evaluating the availability of Mn for rice plants, HCl 0,1 mol L⁻¹ presented a very low R² and Resin a high C.V.. The fluorescence measures of chlorophyll through the Fo/Fv ratio may become a auxiliary and practical mechanism for detection and prognosis of manganese deficiency in rice. Manganese application influenced, in a similar way, the contents of nitrogen, calcium, iron and manganese in the shoot. The cultivar Confiança presented, out of the yield components, increased number of productive tiller and percentage of full grains than the cultivar Canastra. Regardless of not there having been any differences in the shoot dry matter yield, there was for the root dry matter and the cultivar Confiança overcame Canastra in further this variable estimated. There is difference, although not very marked, among the cultivars tested concerning the susceptibility to manganese deficiency, the cultivar Canastra presented itself bath more sensitive and more responsive when the most suitable dose, 8 mg of Mn/dm³ of soil, was applied, which provided the highest values of the variables studied.

* Guidance Committee: Janice Guedes de Carvalho – UFLA (Major Professor), Ângela Maria Soares – UFLA

EMBRAPA a utilizar a expressão "arroz de terras altas" para diferenciá-las das variedades produzidas em várzeas inundadas (Toledo, 1999).

No Brasil, a área dos cerrados que ocupa aproximadamente 200 milhões de hectares é, segundo considerações de Norman Borlaug, a última grande fronteira agrícola do mundo (Romero,1995). Esta região se caracteriza pela baixa fertilidade natural do solo, sendo esta característica seu principal fator limitante a ser superado para uma maior produção efetiva e competitiva de alimentos (Lopes e Guilherme, 1994).

Dentro das limitações de pobreza química impostas pelo solo desta região está a deficiência de cálcio e magnésio, que influenciam diretamente o pH do solo e, de modo geral, estabelecem um solo ácido para o cerrado (Lopes, 1983).

Em anos recentes, nas condições brasileiras, a deficiência de manganês induzida por excesso de calcário, devido a recomendações inadequadas, não observação do período de efeito residual e até mesmo incorporação na camada superficial do solo (0-10 cm), tem tido a sua ocorrência aumentada. Segundo estimativas de Sanzonowicz (1995), este fato já ocorre em mais de 10% das lavouras do cerrado.

No contexto de globalização da economia, que é um fenômeno tecnológico, exige-se cada vez mais a adoção de métodos e técnicas para a manutenção da competitividade e sustentabilidade do setor agrícola, fazendo-se necessário um eficaz monitoramento da fertilidade do solo e do estado nutricional da planta visando o uso racional dos insumos e a conseqüente máxima produtividade econômica das culturas. Assim, certos processos fisiológicos são mais sensíveis e respondem mais rápido que o crescimento das plantas, podendo, portanto, serem utilizados no monitoramento precoce de efeitos associados ao requerimento funcional de um nutriente.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

O arroz (*Oryza sativa* L.) é o alimento básico de grande parte da população do globo, e a porcentagem da humanidade que se alimenta quase que exclusivamente com arroz é maior do que aquela que se alimenta com qualquer outro cereal.

Minas Gerais, importante pólo produtor no contexto nacional, cultiva área total de 161.329 ha, sendo que o arroz de sequeiro é plantado principalmente nos solos do cerrado e se concentra nas regiões do Triângulo, Sul e Noroeste de Minas, nesta ordem, respectivamente, ocupando 65% (44.200 ha) de área cultivada entre as 10 regiões de planejamento do Estado (IBGE, 1999).

A cultura do arroz de sequeiro foi considerada, até pouco tempo, como uma cultura desbravadora, e sua expansão no Brasil está ligada sobretudo à sua rusticidade. As mudanças nesse quadro começaram a aparecer apenas nesta década, quando o Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão EMBRAPA-CNPAF colocou à disposição dos produtores variedades de sequeiro mais produtivas e com grãos mais alongados, como a Canastra e a Confiança, chamadas de “agulhinha de sequeiro”(Toledo, 1999).

Hoje, depois de gerada toda uma tecnologia de manejo sustentável para esta região (Cirad, Cooperlucas e Rhodia, 1993), a nova orizicultura, que vem ganhando espaço no cerrado, é mais tecnificada, inserida em sistema rotacional de produção e valendo-se de variedades melhoradas, com características comparáveis às do arroz agulhinha produzido no Sul do país. Assim, o termo “arroz de sequeiro” já não é mais adequado para qualificá-las, levando a

Enquanto a diagnose visual e a diagnose foliar já estão na rotina, os testes bioquímicos ainda não são de uso generalizado, embora sejam promissores, como é o caso da medição da atividade da enzima peroxidase em tecidos para detectar deficiência de manganês (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997). Recentemente, a fluorescência da clorofila passou a ser usada mais intensivamente como medida de disfunção fotossintética, propiciando a diagnose precoce da deficiência de manganês, demonstrada através dos trabalhos com as culturas de trigo por Graham, Davies e Ascher (1985), arroz por Subhash e Mohanan (1994), dentre outros com esta linha de pesquisa.

Levando-se em consideração a significativa participação do Estado de Minas Gerais neste sistema de produção frente à conjuntura nacional, desenvolveu-se este trabalho com os objetivos de testar extratores de rotina quanto a sua capacidade preditiva da disponibilidade de manganês, avaliar métodos bioquímico e fisiológico para prognose da nutrição desse nutriente, estudar as relações do manganês com outros elementos na nutrição mineral e seus efeitos nos componentes da produção de cultivares de arroz de terras altas, em função da aplicação de doses crescentes de manganês.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Manganês no solo

O manganês é um dos micronutrientes mais abundantes na litosfera, sendo o décimo primeiro elemento mais comum e apresentando uma concentração média de 0,09% ou 900 mg/kg (Borkert, 1991). Nas rochas, os teores de manganês variam de 350 a 2.000 mg/kg, sendo as concentrações mais

elevadas geralmente encontradas nas rochas ferro-magnesianas. O manganês faz parte de um grande número de minerais, nos quais ocorre como Mn^{+2} , Mn^{+3} ou Mn^{+4} , mas o estado de oxidação +2 é mais comum nos minerais silicatados componentes ou formadores das rochas. Tem sido demonstrado que a espécie Mn^{+2} pode, em silicatos e óxidos, substituir alguns cátions divalentes como o Fe^{+2} e o Mg^{+2} em suas posições (Borkert, 1991).

Nos solos, a concentração de manganês geralmente está na faixa de 20 a 3.000 mg/kg, com média de 600 mg/kg (Lindsay, 1979). Os óxidos e sulfetos de manganês são as formas mais freqüentemente encontradas nos solos, porém os óxidos são mais comuns, incluindo entre estes a pirolusita (MnO_2), a manganita ($MnOOH$) e a hausmanita (Mn_3O_4), sendo a pirolusita o mineral mais estável sob condições bem oxidadas (Lindsay, 1979).

O manganês trocável está ligado às cargas eletronegativas nos colóides minerais e orgânicos do solo, e encontra-se principalmente como íon divalente (Mn^{+2}). Uma ampla gama de valores de manganês trocável pode ser encontrado no solo. Os solos muito ácidos apresentam teores superiores a 1000 mg/kg, enquanto os solos orgânicos, com reação próxima à neutralidade, apresentam teores inferiores a 0,1 mg/kg (Norvell, 1988).

A disponibilidade de manganês foi avaliada por Abreu et al. (1994) em vinte e um solos do estado de São Paulo, utilizando-se oito diferentes soluções extratoras, destacando-se a faixa do teor do elemento determinado pelos métodos em questão, que variavam de pouco mais de 0,5 mg/dm³ até próximo a 1000 mg/dm³, em que, de modo geral, as soluções de cloreto de cálcio e acetato de amônio extraíram quantidades similares e menores que a resina, a qual, por sua vez, extraiu menos manganês que as soluções ácidas. As maiores extrações ocorreram com a hidroquinona e o DTPA (ácido dietilenotriaminopentacético), nesta ordem, respectivamente.

O manganês na solução do solo pode se apresentar em estado iônico (Mn^{+2}) ou combinado com compostos orgânicos. O íon divalente forma complexos com os compostos orgânicos do solo, os quais podem ser solúveis ou insolúveis. Além da adsorção de cátions, na forma facilmente trocável, a matéria orgânica pode adsorver cátions que possuem mais de uma valência, formando os complexos de coordenação. Esses complexos não são rapidamente trocáveis com cátions monovalentes e não dissociam facilmente para a solução do solo. Além disso, estudos demonstram que o manganês forma complexos covalentes com grupos funcionais da matéria orgânica e estes são estáveis em condições de pH elevado (Page, 1962).

A matéria orgânica do solo, sendo 94% do total de origem vegetal, apresenta uma constituição diferenciada composta por ácidos húmicos e fúlvicos e por compostos que incluem ácidos orgânicos, proteínas, aminoácidos, polissacarídeos, enzimas e outras substâncias. Quando estes compostos orgânicos se encontram no solo formam complexos com metais, diminuindo a disponibilidade de manganês (Stevenson e Ardakani, 1972). No entanto, este manganês que fica adsorvido aos complexos pode ser deslocado por um outro íon que é adsorvido mais fortemente, como o zinco e o cobre (Volkweiss, 1991; Mendonça e Loures, 1994).

Na solução do solo o manganês pode formar íons simples e complexos, e também diversos óxidos de composição variável. Estes óxidos, na sua maioria, são amorfos, podendo também ocorrer algumas formas cristalinas já identificadas em diversos solos. Os óxidos são os principais compostos a manter as reações de equilíbrio entre as fases sólida e líquida e, em função das condições do pH e do potencial redox, mantêm e controlam a atividade das formas iônicas na solução do solo (Borkert, 1991). De todas as formas de manganês existentes no solo, é a da solução que supre as necessidades das plantas.

A disponibilidade do manganês tende a diminuir com aumento do pH, em função do seu reflexo na menor solubilidade dos óxidos de Mn, na maior quantidade do cátion adsorvido às superfícies dos colóides do solo, no aumento das forças de precipitação e na estabilidade mais elevada dos complexos formados com a matéria orgânica. Em solos arejados, a concentração de manganês na solução do solo deverá, teoricamente, decrescer em 100 vezes para cada unidade de aumento de pH. A deficiência de manganês em plantas ocorre em alguns solos quando o pH em água é superior a 6,2, porém, em outros solos, o suprimento de manganês é adequado mesmo com pH de 7,5 ou maior (Borkert, 1991).

O potencial redox é outro fator que afeta a disponibilidade de manganês. Em solos inundados de lavoura de arroz, com o decréscimo do potencial redox a disponibilidade de manganês e de ferro inicialmente aumenta por causa da redução e da dissolução de óxidos desses elementos no solo. Se o potencial redox alcança valores muito baixos, possivelmente sulfetos de manganês podem ser formados, sendo este um importante mecanismo de prevenção de níveis tóxicos, tanto dos íons metálicos como do S^{-2} (Guilherme, 1990). Quando estes solos submersos são drenados, o potencial redox aumenta rapidamente e a solução do solo pode tornar-se supersaturada com óxidos de ferro e de manganês (Ponnampertuma, 1972).

O manganês é um elemento muito similar ao ferro, tanto em comportamento químico, como em ocorrência geológica. Entretanto, o manganês possui maior dinâmica, o que se deve à maior solubilidade de seus compostos e à sua natureza mais eletropositiva; das três valências do manganês em condições naturais (+2, +3 e +4), o íon trivalente é instável em solução e só ocorre em valores muito baixos de pH, inferiores aos encontrados em ambientes naturais. Em ambientes fortemente oxidantes, o composto mais estável e muito pouco solúvel que se forma é o MnO_2 (Raij, 1991), já em ambientes de baixo

potencial redox, a solubilidade de Mn é controlada pela formação de compostos como MnS e MnCO₃, especialmente estes últimos, em solos submersos e calcários (Ponnamperuma, 1972). Portanto, de todas as formas de manganês existente no solo, quer seja a presente na estrutura de minerais, a organicamente complexada, a trocável e a da solução do solo, o equilíbrio entre estas é fundamentalmente influenciado pelo pH e condições de oxidação-redução do solo (Borkert, 1991).

2.2 Manganês na planta

As exigências quantitativas por manganês na bioquímica são pequenas e é bem provável que exista, nas células, mais manganês do que aquele utilizado na bioquímica, entretanto, se houver uma função para o íon livre, esta ainda não foi claramente demonstrada (Clarkson, 1988).

Os teores de manganês na parte aérea do arroz, no estágio de perfilhamento, considerados deficientes, críticos, adequados e tóxicos são, respectivamente, em ppm: <20; 20 a 30; 30 a 600; >1000 (Fageria et al., 1995). Para Malavolta (1979), os teores críticos indicadores de deficiência e toxidez de manganês no arroz são, respectivamente, 20 e 2500 ppm, sendo o estágio de avaliação igual ao descrito por Fageria et al. (1995).

O conteúdo de manganês nas plantas cultivadas em certos solos pode alcançar 3000 ppm, quantidade suficiente para indicar toxicidade; porém a planta pode não mostrar qualquer sintoma visível, e sobre estas condições produzir muito bem (Tanaka e Yoshida, 1970). Corroborando esta afirmação, Bertoni et al. (1999) observaram, na planta de arroz, cultivada em solos de várzea sob inundação, teores de manganês na parte aérea acima daqueles

descritos como tóxicos pela literatura, sem contudo evidenciar sintomas de toxidez deste elemento durante o ciclo da cultura.

A seqüência de exigência nutricional para produção de 1 tonelada de arroz em casca apresenta, dentre os micronutrientes, o elemento manganês superado somente pelo ferro (Barbosa Filho, 1987). Trabalhando com a cultura do arroz de terras altas em solo sob cerrado, Fageria et al. (1998) observaram que no acúmulo de nutrientes (parte aérea + grãos) na época de colheita, o manganês era o primeiro entre os micronutrientes, superando o ferro, e a ordem de acumulação para produção de 1 tonelada de grãos foi: 39 kg de K, 33 kg de N, 6 kg de Ca, 5 kg de Mg, 3 kg de P, 355 g de Mn, 140 g de Fe, 62 g de Zn, 18 g de Cu e 12g de B.

Estudando a marcha de absorção de nutrientes pela cultivar IAC 164 em solução nutritiva, Malavolta e Fornasieri Filho (1983) observaram que no início do crescimento a demanda entre os micronutrientes é maior por ferro; por ocasião da diferenciação do primórdio da panícula, a exigência dos demais micronutrientes é aumentada, sendo absorvidos até o final do desenvolvimento da panícula, com exceção do zinco, que continua sendo absorvido até a maturação.

O manganês é absorvido ativamente, porém alguns trabalhos procuram demonstrar que o processo de absorção pode ter outras dependências, embora estes trabalhos não permitam nenhuma conclusão clara, não chegando a um consenso sobre o mecanismo exato de absorção de manganês (Clarkson, 1988).

Existem três formas principais de manganês no solo responsáveis pelo suprimento do nutriente às raízes: Mn trocável, Mn organicamente complexado e óxidos de Mn. As proporções destas formas de Mn variam com o tipo de solo, pH e conteúdo de matéria orgânica. Geralmente, com a redução do pH ocorre um rápido incremento na proporção do Mn trocável – em torno de 100 vezes

para cada unidade de variação de pH – com correspondente decréscimo das outras frações, principalmente os óxidos (Sims, 1986; Marschner, 1988).

Os problemas de deficiência podem ocorrer por inadequado contato das raízes com o solo, adversidades das condições ambientais com influência direta nas relações solo-planta, ou mesmo por antagonismo com outros nutrientes na absorção, translocação e distribuição dentro da planta (Reuter, Alston e McFarlane, 1988).

Algumas propriedades dos solos são comumente associadas à deficiência de manganês. Entre estas incluem-se elevado teor de matéria orgânica, elevado teor de carbonatos, alto pH, baixa densidade do solo, baixo conteúdo de Mn facilmente redutível. Além destes, as condições de drenagem parecem ter papel importante na disponibilidade desse nutriente (Robson, 1988).

A compactação solo, aumentando sua densidade, pode reduzir a deficiência ou até causar toxidez de manganês sem alterar pH, potencial redox ou sem alterar a quantidade disponível do elemento, apenas pelo maior contato solo-raiz, favorecendo o aumento da redução de Mn na interface formada. A compactação promove alterações na morfologia e distribuição de raízes e aumenta a produção de exudados. Pode também, diminuindo a aeração, desenvolver condições de redução e aumentar o conteúdo de Mn trocável (Reuter, Alston e McFarlane, 1988).

No Brasil, na região dos Cerrados, os solos em condições naturais apresentam baixos teores de manganês disponível, considerando o nível crítico de 5,0 ppm de Mn (extrator Mehlich I) em pH 6,0 (H₂O), existindo a probabilidade de ocorrer deficiência desse nutriente em cerca de 1/3 dos solos desta região, principalmente nos estados de Goiás, Minas Gerais e no Distrito Federal (Sanzonowicz, 1995), não existindo, ainda, estudos relacionados à avaliação do nível crítico de manganês para os solos desta região (Lopes e Guilherme, 1994).

Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) quantificaram, em termos relativos, a frequência com que sintomas de carência se manifestam nas culturas brasileiras, sendo que, para os micronutrientes, o manganês aparece na quarta posição, com 20% da frequência relativa de carência, e mais do que qualquer outro micronutriente, este elemento tem sua taxa de absorção pelas plantas mais intimamente ligada ao pH do solo (Marschner, 1988).

Existe consenso geral de que o manganês divalente (Mn^{+2}) é a fonte prevalente para a superfície da raiz e é desta forma absorvido de acordo com a cinética de Michaelis-Menten, tendo propriedades químicas semelhantes às de metais alcalinos-terrosos, como o cálcio e o magnésio, e de metais pesados, ferro e zinco, por exemplo, e por isso esses cátions podem inibir sua absorção e transporte. Por sua vez, o manganês inibe a absorção dos nutrientes mencionados acima, principalmente o ferro.

A maioria dos autores, entre eles Kabata-Pendias e Pendias (1985), Marschner (1995) e Malavolta (1997), citam a existência de interações negativas entre manganês e outros cátions divalentes, tais como Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} e Zn^{+2} , principalmente em condições de altas concentrações. No entanto, Clarkson (1988) cita que há trabalhos demonstrando que o assunto apresenta-se ainda em avaliação, havendo posições controversas.

Com relação ao cálcio (Ca^{+2}), Ferguson e Clarkson (1975) afirmam não parecer haver interação em grau mais intenso interferindo na absorção de Mn^{+2} , em raízes de milho destacadas, e nem em plantas inteiras de feijão. Por outro lado, Williams e Vlamis (1957) constataram, em plantas de cevada cultivadas em solução de Hoagland a 1/5 da concentração normal, que problemas de maior absorção de Mn^{+2} poderiam ser contornados aumentando-se a concentração dos macronutrientes catiônicos, e que a eficácia do Ca^{+2} na diminuição da absorção de Mn^{+2} era maior que a de Mg^{+2} ou do K^{+} . Já Malavolta (1980) cita que o Ca^{+2}

compete com o Mn^{+2} pelo mesmo carregador nas folhas de cana-de-açúcar em pulverizações foliares.

Segundo Clarkson (1988), em trabalho com raízes destacadas de milho, parece haver inibição mútua não competitiva entre Mg^{+2} e o Mn^{+2} ; com relação a esses nutrientes, há um certo consenso na literatura sobre a possibilidade da substituição mútua em algumas de suas funções bioquímicas. No entanto, apesar desta possibilidade, a ativação de algumas enzimas por Mn^{+2} é mais eficiente (Marschner, 1995).

Interações entre manganês, molibdênio e zinco, de acordo com Uren, Asher e Longnecker (1988), só ocorrem em situações nas quais os solos estão poluídos.

Quanto ao Fe^{+2} , há fortes evidências da inibição competitiva com o Mn^{+2} (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997), sendo que este possível efeito do manganês em diminuir a toxidez do ferro tem levado pesquisadores a sugerirem sua aplicação em solos onde ocorre toxidez de Fe^{+2} no arroz (Ponnamperuma e Salivas, 1982; Ponnamperuma e Lantin, 1985).

As várias estratégias usadas para prevenir ou corrigir as deficiências de manganês nas plantas estão relacionadas à taxa de imobilização do Mn aplicado, ao contato do elemento com as raízes e à sua redistribuição na planta. A mobilidade do Mn no solo é lenta, e seu aproveitamento pela planta é dependente da eficiência com que as raízes obtêm o nutriente, que por sua vez é governada principalmente pela disponibilidade do elemento na interface solo-raiz. O manganês não é facilmente translocável e sintomas de deficiência podem surgir em folhas novas se houver restrição na disponibilidade durante o desenvolvimento da planta, mesmo que as folhas velhas contenham altas concentrações do elemento (Loneragan, 1988). Entretanto, o manganês marcado (^{54}Mn) aplicado em folhas de tomate e soja (Ohki, 1976); feijão (Bukovac e

Wittwer, 1957) e aveia (Vose, 1963) tem apresentado algum transporte, sugerindo a possibilidade de certa mobilidade via floema a partir das folhas. Esta mobilidade seria intermediária entre os nutrientes móveis como o fósforo e imóveis como o cálcio. Entretanto, apenas uma fração do ^{54}Mn pode ser translocado das folhas, sendo que esta fração pode ser fisiologicamente insignificante (Loneragan, 1988).

Este comportamento, até certo ponto complexo, do manganês no floema de plantas, vem dar suporte à base fisiológica para a falta de sucesso da adubação foliar com Mn em plantas deficientes, devido à relativa pobre redistribuição do Mn^{+2} aplicado da folhagem para os pontos de crescimento (folhas, raízes e sementes), mesmo considerando que o Mn^{+2} absorvido é preferencialmente transportado para esses tecidos (Reuter, Alston e McFarlane, 1988). Portanto, sob condições de aguda deficiência, a rápida absorção do nutriente resulta numa recuperação inicial, mas caso o estresse continue ou se repita mais tarde, a formação da nova folhagem fica comprometida.

Baseadas nestes princípios, novas técnicas de pulverização, cientificamente confirmadas, recomendam menores quantidades aplicadas com maior frequência (Hannam e Riggs, 1985), como é o caso do trabalho com soja realizado por Mann (1999), que concluiu que os parcelamentos das pulverizações no estágio de desenvolvimento V4 e V8 foram os mais eficientes, apresentando incrementos na produtividade superiores a 50%.

2.3 Detecção da deficiência de manganês em plantas

As perdas em produtividade devido à toxicidade de manganês são normalmente menos severas que aquelas devido à deficiência. Os sintomas de deficiência de manganês normalmente tornam-se visíveis somente quando a taxa

de crescimento e a produtividade já estão severamente comprometidas (Hannam e Ohki, 1988).

A diagnose da deficiência de manganês pode ser feita através da análise de solo, análise química de plantas, diagnose visual, através do DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System), e por ensaios bioquímicos e fisiológicos.

A análise de solo para avaliação da disponibilidade de manganês é um método preditório, sendo esta tarefa de análise e quantificação correta particularmente dificultada devido à complexidade dos processos que controlam a disponibilidade do Mn no solo e suas características químicas, que proporcionam alterações no estado de oxidação do elemento com enorme facilidade. Estas alterações ocorrem ainda no preparo, secagem e estocagem das amostras de solo. Portanto, a forte influência das condições ambientais na disponibilidade do manganês para as plantas tem como consequência importante a dificuldade de prever, pelo uso de extratores químicos, se possíveis deficiências e/ou toxidez do nutriente possam vir a ocorrer.

A literatura cita vários extratores para a determinação do manganês, como o acetato de amônio, resina, Mehlich I, Mehlich III, HCl 0,1 mol L⁻¹ e DTPA, sendo que este último tem sido o mais usado (Raij et al., 1987).

Pesquisadores afirmam que o melhor extrator é aquele em que as quantidades extraídas se aproximam daquela absorvida pelas plantas, e que o extrator deve retirar nutrientes do solo da mesma fonte que as plantas. Entretanto, este não é um fato realístico para ferro, manganês, zinco e cobre na maioria dos solos, porque estes elementos são pouco móveis. Desta forma, um bom extrator deve refletir a mudança no suprimento do nutriente no solo originada pela fertilização, pela remoção através da colheita e pelos fatores ambientais como a temperatura do solo e da água, que afetam o nível do

nutriente no solo, e o efeito destes mesmos fatores na capacidade de absorção pelas plantas (Viets e Lindsay, 1973).

A análise de planta constitui um método prático para diagnosticar problemas nutricionais em plantas, porém o teor de um elemento na planta pode ser influenciado pelo nível de outros elementos no meio de crescimento, podendo haver antagonismos ou sinergismos. Por isso, recomenda-se a análise de vários nutrientes, mesmo que o interesse direto não seja por todos (Malavolta, 1980). Esta análise também apresenta certas limitações, pois geralmente é feita quando a cultura já está bastante desenvolvida, impedindo, muitas vezes, que o problema seja resolvido em tempo hábil. Para a cultura de arroz não existem estudos de calibração com base em análise de planta para fins de recomendação de adubação com manganês (Fageria et al., 1995).

O critério mais usado para detectar deficiência de nutrientes em plantas é, usualmente, a observação visual, principalmente quando as deficiências são severas. Por outro lado, este método pode, muitas vezes, conduzir o técnico a conclusões erradas, principalmente quando ocorrem deficiências múltiplas (Barbosa Filho, 1987).

O método DRIS (Sistema integrado de diagnose e recomendação) utiliza as razões entre as concentrações dos nutrientes na interpretação dos resultados de análise foliar e de solo, não indicando se determinado nutriente encontra-se em concentração de toxidez ou deficiência, mas qual o nutriente mais limitante e a ordem de limitação dos nutrientes (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997). No entanto, a sensibilidade dessa técnica reside, em parte, no elevado número de dados e na experiência do pesquisador que irá executar as interpretações (Orlando Filho e Zambelho, 1983).

Com relação às avaliações bioquímicas e fisiológicas, têm-se que variações na atividade de enzimas específicas relacionadas ao elemento ou nos processos fisiológicos que respondem mais diretamente a variações no

suprimento do nutriente podem ser utilizadas como índices para avaliar o status de manganês na planta, obtendo-se a prognose de deficiência deste elemento. Para Hannam e Ohki (1988), o conceito de prognose implica que o potencial para deficiência de manganês pode ser previsto antecipadamente ao aparecimento dos sintomas e das perdas em produção pelas culturas.

Testes bioquímicos como a atividade da enzima peroxidase em tecidos (O'Sullivan, Flynn e Codd, 1969; O'Sullivan e Flynn, 1974) têm sido utilizados em condições de campo para diagnosticar a deficiência de manganês em algumas pastagens, aveia, tomate, centeio e citrus (Sagiv e Bar-Akiva, 1971).

A atividade da enzima peroxidase torna-se elevada com a deficiência de manganês e se reduz com a deficiência de ferro, podendo então ser usada para a distinção entre esses dois nutrientes (Hannam e Ohki, 1988; Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997). Diferenças na atividade da enzima medida em folhas de plantas adequadamente nutridas e plantas deficientes podem não ser adequadamente detectáveis em níveis pouco acentuados de deficiência de manganês. Este teste mede a atividade absoluta da enzima em tecidos de plantas saudáveis e plantas deficientes e proporciona a diagnose por comparação (Hannam e Ohki, 1988).

Devido à função essencial do manganês no processo fotossintético, mais precisamente na fotoquímica, a avaliação da fluorescência é promissora para detecção da sua deficiência (Adams et al., 1993). Os fotossistemas I e II funcionam em série, absorvem luz e transferem elétrons um para o outro. O fotossistema II (FS II) está intimamente ligado com o sistema de liberação de O_2 . A presença de manganês é essencial para o processo de liberação de O_2 , o qual será proporcionalmente inibido à medida que os átomos de manganês forem removidos do sistema. A fluorescência é característica do FS II e o aumento da fluorescência indica que o fluxo de elétrons na cadeia foi interrompido por inibidor qualquer, o que significa que não ocorreu transferência de energia ou

transporte de elétrons, não havendo, então, bioconversão da energia radiante em energia química (Magalhães, 1985).

A emissão de fluorescência pode ser quantificada por três medidas: (Fo) fluorescência inicial ou de rendimento constante, (Fm) fluorescência máxima e (Fv) fluorescência variável; o nível de Fo é teoricamente a emissão de fluorescência quando todos os centros de reação do FS II estão abertos e o processamento fotoquímico é mínimo. Um aumento em Fo é um indicativo de destruição de centros de reação do FS II, ou então impedimento da transferência de energia absorvida da luz, o que reflete no decréscimo de Fm e implica em uma menor reação fotoquímica final (Bolhàr-Nordenkampf e Öquist, 1993).

O aumento da fluorescência quando se tem manganês em baixas concentrações nas folhas reflete a associação funcional entre o nutriente e o transporte de elétrons da água para o fotossistema II, que ocorre nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos. Quando a concentração de manganês nas folhas está abaixo do seu limite crítico, o fluxo de elétrons e luz é impedido de atingir o fotossistema II, resultando no aumento da emissão de energia na forma de fluorescência.

A técnica fluorométrica pode ser usada como alternativa fisiológica para monitorar os níveis de manganês na planta, como técnica diagnóstica não química (Graham, Davies e Ascher, 1985).

Em estudos de estresse nutricional, principalmente com o elemento manganês, tem sido utilizada a razão Fo/Fv como indicadora de deficiência por estar mais relacionada aos efeitos de deficiência do nutriente, como bem demonstraram Graham, Davies e Ascher (1985) em trabalho com trigo, em que observaram Fo diminuir e tanto Fm como Fv aumentarem quando o teor de Mn^{+2} nas folhas se elevou.

A medida da emissão de fluorescência associada à deficiência de manganês e a relação com sua concentração na folha podem ser usadas para

definir a concentração crítica para o funcionamento do FS II e, conseqüentemente, um desenvolvimento adequado da planta. Alguns autores sugerem que a sensibilidade do diagnóstico de fluorometria foliar é aumentada usando-se folhas jovens (Graham, Davies e Ascher, 1985; Adams et al., 1993; Val et al., 1995).

A fluorescência reflete a eficiência das atividades fotossintéticas de uma maneira bastante complexa. O uso de mensurações em folhas intactas tem aumentado por ser um método não destrutivo de monitoramento de características fotossintéticas, cujos resultados estão diretamente ligados ao estado fisiológico e nutricional da planta (Krause e Weis, 1991).

O método de uso da fluorescência oferece as seguintes vantagens: é uma técnica para diagnose de deficiência de manganês nas plantas, rápida e não destrutiva; a leitura que indica o teor de manganês adequado (ou nível crítico) não é afetada pelo consumo de luxo do elemento em questão, pois a planta não produz clorofila além do que necessita, mesmo quando em presença de excesso de manganês; não é necessário mandar amostra para o laboratório; o monitoramento pode sinalizar a aproximação de uma deficiência de manganês bastante cedo para impedir que apareça e cause danos à produção. Entretanto, antes deste método ser adotado de forma mais generalizada, deve-se demonstrar mais claramente que outros estresses não irão mascarar os efeitos da fluorescência induzida pela deficiência de manganês (Graham, Davies e Ascher, 1985).

2.4 Manganês e a produção

A divergência entre a necessidade e o teor atual indica que, diferentemente dos principais íons nutrientes, cujo consumo é amplamente

regulado pelo crescimento e metabolismo, a absorção de manganês não é exatamente controlada, e isto inevitavelmente leva ao acúmulo tóxico quando o suprimento de manganês é alto (Clarkson, 1988).

Quando o suprimento de manganês às plantas não é adequado, segundo Campbell e Nable (1988) os componentes de produção e a qualidade dos produtos vegetais são as variáveis mais afetadas devido às mudanças na fotossíntese e, conseqüentemente, no suprimento de assimilados. Deste modo, o rendimento de muitos cereais, como aveia, trigo, cevada, sorgo e arroz, é especialmente sensível a níveis baixos e/ou altos de Mn^{+2} no solo ou em solução nutritiva, sendo que o número de perfilhos, o peso dos grãos e o número de grãos por espiga ou panícula são os componentes de produção que mais contribuem para a menor produtividade destas culturas.

Plantas de cevada deficientes em manganês têm a capacidade de perfilhamento prolongada por um período de tempo maior, visto que a antese (florescência) é retardada; porém, o resultado final é que a maioria dos perfilhos são improdutivos (Longnecker, Graham e Card, 1988).

Marcar (1986) aplicou Mn^{+2} foliar em trigo, aveia, cevada e centeio moderadamente deficientes, e obteve o aumento do número de perfilhos em todos os genótipos, entretanto não foi capaz de alterar sua hierarquia relativa, isto é, nenhuma interação forte entre manganês e o genótipo foi evidenciada para produção de perfilhos. Não se sabe se o manganês tem efeito direto sobre a iniciação de perfilho ou se o seu efeito é mediado via assimilado disponível.

Karamanos, Kruger e Henry (1984), trabalhando com aveia, demonstraram que com uma aplicação foliar de manganês no final do perfilhamento, conseguiu-se aumentar em 10% a produção. Todavia, o aumento do peso dos grãos e o aumento do número de grãos (por unidade de área) na aveia, ao receberem o nutriente, puderam também ser atribuídos à maior

disponibilidade de assimilados à medida que as folhas voltaram a ser verdes após a aplicação de Mn^{+2} .

Nable e Loneragan (1984) mostraram que o manganês teve alguma função específica no crescimento de raiz de trevo subterrâneo, independentemente do crescimento da parte aérea. Possíveis funções para o manganês, no crescimento de raízes, estão no metabolismo da auxina, nas interações entre a auxina e outros hormônios vegetais e em várias reações que levam à síntese de fenóis e lignina (Campbell e Nable, 1988), especialmente porque a deficiência de manganês resulta em menores concentrações destes compostos em raízes de Trigo (Brown, Graham e Nicholas, 1984).

Além da importância na etapa fotoquímica da fotossíntese, o manganês funciona como parte dos sistemas enzimáticos; redução do nitrato a formas que a planta usa para sintetizar aminoácidos e proteínas; a dismutase de peróxido é dependente de Mn e protege a célula do efeito prejudicial de radicais livres formados em reações das quais o O_2 participa; a síntese de clorofila, em que a deficiência de manganês se expressa pela clorose das folhas novas (não redistribuição) em reticulado grosso; defesa contra doenças, já que, dentre todos os micronutrientes, parece ser o mais importante no desenvolvimento da resistência a doenças fúngicas de raízes e folhas, por ação de lignificação, que é considerada barreira física, e fenóis oxidados tóxicos a fungos, os quais são sintetizados pela enzima peroxidase catalisada por manganês, além de outros mecanismos que podem operar como aminopeptidase, metilesterase da pectina, fotossíntese e a própria inibição direta, pois a exigência do fungo em manganês é cerca de 100 vezes menor que a da planta (Malavolta, 1997).

Expressivas diferenças na absorção de manganês têm sido observadas entre espécies e entre variedades e são atribuídas às diferenças genéticas na aquisição de manganês pelas plantas (Marschner, 1988).

A Tabela 1.1 mostra a aparente susceptibilidade (responsividade) de algumas culturas, entre elas o arroz, à deficiência de manganês.

TABELA 1.1 Responsividade de algumas culturas à deficiência de manganês.

RESPONSIVIDADE		
ALTA	MODERADA	BAIXA
Aveia, sorgo, trigo, ervilha, feijão, soja, espinafre, beterraba, maçã, pêssego, café, morango, framboeza	Arroz, cevada, trevo, brócolis, repolho, couve-flor, batata, tomate, citrus, cacau	Algodão, milho, centeio, pastagens

Fonte: Adaptado de Lucas e Knezek, (1972).

Outros autores, no entanto, apresentam diferenças na suscetibilidade destas mesmas culturas, sendo que esta inconsistência pode ser atribuída, em parte, à grande variação entre espécies e entre cultivares. Variações intraespécies têm sido relatadas em culturas como o trigo, cevada, ervilha, aveia e soja (Reuter, Alston e McFarlane, 1988).

A análise foliar é, ainda hoje, o método rotineiro empregado para medir os desequilíbrios nutricionais deste nutriente, em que a folha, por ser a unidade da planta que apresenta maior atividade fisiológica, é analisada. Nas folhas ocorrem a maioria das reações bioquímicas nas plantas, e as mudanças nas concentrações de nutrientes com a variação do suprimento são usualmente maiores nelas que em outros órgãos (Hannam e Ohki, 1988).

A análise de folhas ativas é favorecida na maioria das espécies anuais porque a concentração de manganês nos tecidos reflete o nível corrente de Mn^{+2}

absorvido e essa concentração responde rapidamente a quaisquer mudanças na disponibilidade de Mn^{+2} . Esta avaliação encontra suporte, também, porque as folhas mais velhas da mesma planta podem conter Mn^{+2} suficiente para funcionar normalmente, enquanto a deficiência de Mn^{+2} pode se desenvolver em folhas mais novas (Nable, Bar-Akiva e Loneragan, 1984).

Para a maioria das culturas, geralmente não existe um determinado ponto de ótima produção, mas sim uma faixa, mesmo porque o aumento de produtividade se dá em função de fatores químicos, físicos e biológicos, que associados induzem a uma margem natural de erro. As delimitações desta faixa podem ser feitas de acordo com as considerações apresentadas na Tabela 1.2.

TABELA 1.2 Relações entre o estado nutricional e os prováveis reflexos no crescimento e qualidade de produção dos vegetais.

STATUS	EFEITO	INTERVALO
Excesso ou toxicidade	Decréscimo de produção com possíveis sintomas visuais.	
Consumo de luxo	Bom crescimento, com acúmulo interno de nutrientes e possíveis interações.	Nível inicial de toxicidade
Estado ótimo de nutrição	Bom crescimento e qualidade dos produtos.	
Deficiência latente	Sem sintomas visuais, propenso a aumento de produção e qualidade pela fertilização.	Limite de resposta de produção
Deficiência aguda	Sintomas visuais e efeito direto da fertilização e aplicação foliar.	Limites de sintomas visuais

Fonte: Adaptado de Bataglia e Dechen (1986).

A base fisiológica para a diagnose da deficiência de manganês pela análise química é a forte relação existente entre a produção da planta, o fornecimento de manganês e sua concentração nos tecidos do vegetal (Hannam e Ohki, 1988).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C. A. de; NOVAIS, R. F.; VAN RAUJ, B.; RIBEIRO, A. C. Comparação de métodos para avaliar a disponibilidade do manganês em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.18, p. 81-90, 1994.
- ADAMS, M. L.; NORVELL, W. A.; PEVERLY, J. H.; PHILPOT, W. D. Fluorescence and reflectance characteristics of manganese deficient soybean leaves: effects of leaf age and choice of leaflet. *Plant and Soil*, Netherlands, v.155/156, p. 235-238, 1993.
- BARBOSA FILHO, M. P. Nutrição e adubação do arroz: sequeiro e irrigado. Piracicaba: POTAFOS, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9).
- BATAGLIA, O. C.; DECHEN, A. R. Critérios alternativos para diagnose foliar. In: DECHEN, A. R.; CARMELLO, Q. A. de C. (coords.). *Simpósio Avançado de Química e Fertilidade do Solo*. Campinas: FUNDAÇÃO CARGILL, 1986.
- BERTONI, J. C.; HOLANDA, F.S.R.; CARVALHO, J.G.; PAULA, M.B.; ASSIS, M.P. Efeito do cobre na nutrição e crescimento do arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado em solos de várzea sob inundação – teores e acúmulo de nutrientes. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.23, n.3, p.547-559, jul./set. 1999.
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; ÖQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: HALL, D. O.; SCURLOCK, J. M. O.; BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LEEGOOD, R. C. ; LONG, S. P. (eds.). *Photosynthesis and production in a changing environment: a field laboratory manual*. London, 1993. Cap. 12, p.193-206.
- BORKERT, C. M. Manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.). *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.115-136.
- BROWN, P. H.; GRAHAM, R. D.; NICHOLAS, D. J. D. The effects of manganese and nitrate supply on the levels of phenolics and lignin in young wheat plants. *Plant Soil*, v.81, p.437-440, 1984.

- BUKOVAC, M. J.; WITTEWER, S. H.** Absorption and mobility of foliar applied nutrients. *Plant Physiol*, v. 32, p.428-435, 1957.
- CAMPBELL, L. C.; NABLE R. O.** Physiological Functions of Manganese in plants In: **GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N.C.**(eds.). *Manganese in soils and plants*. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 10, p.139-154.
- CIRAD; COOPERLUCAS; RHODIA.** Sistemas de culturas para região médio norte do Mato Grosso. 1993. 58p.
- CLARKSON, D. T.** The Uptake and translocation of Manganese by Plant Roots. In: **GRAHAM R. D.; HANNAM R. J.; UREN N. C.** (eds.). *Manganese in soils and plants*. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 7, p. 101-111.
- FAGERIA, N.K.; FERREIRA, E.; PRABHU, A.S.; BARBOSA FILHO, M.P.; FILIPPI, M.C.** Seja doutor do seu arroz. Piracicaba: Potafos, 1995. 20p. (Arquivo do Agrônomo, 9).
- FAGERIA, N. K.; SANT'ANA, E. V. P.** Níveis adequados de saturação por base e de pH para produção de arroz, feijão, milho e soja em sistemas de rotação em solo sob cerrado. **REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**, 23, Caxambu, 1998. Resumos...Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998. p.47.
- FERGUSON, I. B.; CLARKSON, D. T.** Ion transport and endodermal suberization in the roots of *Zea mays*. *New Phytology*, v.75, p.69-79, 1975.
- GRAHAM, R.D.; DAVIES, W.J.; ASCHER, J.S.** The critical concentration of manganese in field-grown wheat. *Australian Journal Agricultural Research*, v. 36, p.145-155, 1985.
- GUILHERME, L. R. G.** Calagem e inundação em solos de várzea cultivados com arroz: alterações em pH, nitrogênio, fósforo e enxofre. Lavras: ESAL, 1990. 113 p. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- HANNAM, R. J.; OHKI, K.** Detection of manganese deficiency and toxicity in plants In: **GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N.C.**(eds.). *Manganese in soils and plants*. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 16, p. 243-259.
- HANNAM, R. J.; RIGGS, J. L.** The effect of manganese applied from an aircraft as a low-volume foliar spray in preventing manganese deficiency in *Lupinus angustifolius* L. *Fert. Res.*, v.6, p.149-156, 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.
Levantamento sistemático da produção agrícola. Belo Horizonte:Departamento Regional Sudeste-2/Divisão de Pesquisa de Minas Gerais,1999. p. 7-8 .

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton- Florida: CRC, 1985. 315 p.

KARAMANOS, R. E.; KRUGER, G. A.; HENRY, J. L. Evaluation of plant tissue criteria for predicting manganese deficiency in oats. **Canadian Journal Plant Science**, v.64, p. 863-868,1984.

KRAUSE, G.H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**,v.42, p. 313-349, 1991.

LINDSAY, W. L. Chemical equilibria in soils. Nova York: J. Wiley,1979. 449 p.

LONERAGAN, J. F. Distribution and movement of manganese in plants. In: **GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N.C.**(eds.). **Manganese in soils and plants.** Netherlands: Kluwer Academic,1988. Cap. 8, p. 113-123.

LONGNECKER, N. E.; GRAHAM, R. D.; CARD, G. The effect of manganese deficiency on growth and development of barley (*Hordeum vulgare, L.*). **Aust. Soc. Plant Physiol. Annual Meeting**, v.28, p.85-102, Adelaide, May 1988.

LOPES, A. S. Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 1983. 162 p.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Solos sob cerrado manejo da fertilidade para produção agropecuária. São Paulo: Anda, 1994. 62 p. (Boletim Técnico, 5)

LUCAS, R. E.; KNEZEK, B. D. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. In: **MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L.** (eds.). **Micronutrients in agriculture.** Soil Science Soc. Am., Madison, p.265-288,1972.

MAGALHÃES, A. C. N. Fotossíntese. In: **FERRI M. G.** **Fisiologia vegetal: 1.** São Paulo: E.P.U., 1985. p. 117-166.

- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do arroz de sequeiro.** São Paulo: Ultrafertil/ Franciscana, 1979. 37p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E.; FORNASIERI FILHO, D. **Nutrição mineral da cultura do arroz.** In: FERREIRA, M. E.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. (eds.). **Cultura do arroz de sequeiro: fatores afetando a produtividade.** Piracicaba: POTAFOS/ Instituto Internacional da Potassa, 1983. p. 95-140.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de **Avaliação do estado nutricional das plantas.** Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2.ed. rev. e atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MANN, E. N. **Efeito da adubação com manganês, via solo e foliar em diferentes épocas, no rendimento de grãos e na qualidade da semente de soja.** Lavras: UFLA, 1999. 68 p. (Dissertação-Mestrado em Fitotecnia).
- MARCAR, N. E. **Genetic variation for manganese efficiency in cereals.** Adelaide-South Australia: University of Adelaide, 1986. 205p. (Ph.D.thesis)
- MARSCHNER, H. **Mechanisms of manganese acquisition by roots from soils.** In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N.C. (eds.). **Manganese in soils and plants.** Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 13, p. 191-204.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2.ed. San Diego: Academic, 1995. 889 p.
- MENDONÇA, E. de S.; LOURES, E. G. **Matéria orgânica do solo.** Brasília: ABEAS, 1994. 106p. (Curso de Fertilidade e Manejo do Solo).
- NABLE, R. O.; BAR-AKIVA A.; LONERAGAN, J. F. **Functional manganese requirement and its use as a critical value for diagnosis of manganese deficiency of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L. cv. Seaton Park).** *Annual Botanic*, v.54, p. 39-49, 1984.

- NABLE, R. O.; LONERAGAN, J. F.** Translocation of manganese in subterranean clover (*Trifolium subterraneum L. cv. Seaton Park*) II. Effects of leaf senescence and of restricting supply to part of a split root system. *Australian Journal Plant Physiology*, v. 11, p. 113-118, 1984.
- NORVELL, W. A.** Inorganic reactions of manganese in soils. In: **GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N.C.**(eds.). *Manganese in soils and plants*. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 3, p. 37-58.
- OHKI, K.** Manganese deficiency and toxicity levels for "Bragg" soybeans. *Agronomy Journal*, v. 68, p. 861-864, 1976.
- ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELHO Jr., E.** Diagnose foliar In: **ORLANDO FILHO, J.** *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool/ Planalsucar, 1983. p. 125-152.
- O'SULLIVAN, M.; FLYNN, M. J.** A simple method of identifying manganese deficiency in the field. *Irish Journal Agric. Res.*, v.13, p. 234-236, 1974.
- O'SULLIVAN, M.; FLYNN, M. J.; CODD, F. J.** A biochemical method for diagnosing micronutrient deficiencies in plants. *Irish Journal Agric. Res.*, v.8, p. 111-119, 1969.
- PAGE, E. R.** Studies in soil and plant manganese. II. The relationship of soil pH to manganese availability. *Plant Soil The Hague*, v.16, n.2, p. 247-257, 1962.
- PONNAMPERUMA, F. N.** The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, New York, v.24, p. 29-96, 1972.
- PONNAMPERUMA, F. N.; LANTIN, R. S.** Diagnoses and amelioration of nutritional disorders of rice. Los Baños: IRRI, 1985. 20 p.
- PONNAMPERUMA, F. N.; SALIVAS, J. L.** Field amelioration of an acid sulfate soil with manganese dioxide and lime. In: **DOST, H.; BREEMEN, N. Van** (eds.). *Proceedings of Bangkok symposium on acid sulfate soils*. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement. 1982. p. 213-222.
- RAIJ, B. Van.** *Fertilidade do solo e adubação*. São Paulo: Agronômica Ceres/POTAFOS, 1991. 343 p.

- RAIJ, B. Van.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.**
- REUTER, D.J.; ALSTON, A.M.; MCFARLANE, J.D. Occurrence and Correction of Manganese Deficiency in Plants. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R.J.; UREN, N.C.(eds.). Manganese in soils and plants. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 14, p. 205-218.**
- ROBSON, A. D. Manganese in soil and plants – An Overview. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (eds.). Manganese in soils and plants. Australia: Kluwer Academic, 1988. Cap. 21, p. 329-333.**
- ROMERO, J. P. Os agrônomos e o cerrado. In: YAMADA T. Informações agronômicas. Piracicaba: POTAFOS,1995.n.70,p. 12.**
- SAGIV, J.; BAR-AKIVA, A. Visual demonstration of differences in peroxidase activity in iron and manganese deficient citrus leaves. Experimentia,v.28, p. 645-646,1971.**
- SANZONOWICZ, C. Deficiência de manganês em solos dos cerrados. In: YAMADAT.Informações agronômicas. Piracicaba : POTAFOS,1995, p. 7. (Boletim, 71).**
- SIMS, J. T. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper, and zinc. Soil Science Society American Journal. v.50, p. 367-373, 1986.**
- STEVENSON, F. J.; ARDAKANI, M. S. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L., (eds.). Micronutrients in agriculture. Madison: Soil Science Society American, 1972. p. 79-114.**
- SUBHASH, N.; MOHANAN, C. N. Laser-induced red chlorophyll fluorescence signatures as nutrient stress indicator in rice plants. Remote Sensing of Environment, New York, v.47, p. 45-50, 1994.**
- TANAKA, A.; YOSHIDA, S. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. Los Baños, International Rice Reserarch Institute, 1970. 51p. (Technical bulletin, 10).**
- TOLEDO, L. R. Arroz: sequeiro molhado. Globo Rural, Rio de Janeiro,n. 164, p. 42-46, jun. 1999.**

- UREN, N. C.; ASHER, C. J.; LONGNECKER, N. E.** Techniques for Research on Manganese in Soil-Plant Systems In: **GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N.C. (eds.). Manganese in soils and plants.** Netherlands:Kluwer Academic, 1988. Cap. 20, p 309-328.
- VAL, J.; SANZ, M.; MONTAÑÉS, L.; MONGE, E.** Application of chlorophyll fluorescence to study iron and manganese deficiencies in peach tree. *Acta Horticulturae*, v. 383, p. 201-209, 1995.
- VIETS, F. G.; LINDSAY, W. L.;** Testing Soil for Zinc, Copper, Manganese and Iron. In: **WALSH, L. M.; BEATON, J. D. (eds.). Soil testing and plant analysis.** Madison:ASA, 1973. p. 153-172.
- VOLKWEISS, S. J.** Fontes e métodos de aplicação. In: **FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (eds.). Micronutrientes na agricultura.** Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991.p. 391-412.
- VOSE, P. B.** The translocation and distribution of manganese in *Avena*. *Journal Exp. Bot.* ,v.14, p. 448-57,1963.
- WILLIAMS, D. E.; VLAMIS, J.** Manganese and boron toxicities in standard culture solutions. *Soil Science Society American Proceedings* ,v.21, p. 205-209,1957.

CAPÍTULO 2

MANGANÊS EM CULTIVARES DE ARROZ DE SEQUEIRO: PROGNOSE DA DISPONIBILIDADE DE MANGANÊS

RESUMO

PEREIRA, Geraldo Durães. Manganês em cultivares de arroz de sequeiro: prognose da disponibilidade de manganês. Lavras: UFLA, 1999. Cap. 2. 32p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)*

O presente trabalho foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, com os objetivos de testar extratores de rotina quanto a sua capacidade preditiva da disponibilidade de manganês e avaliar métodos bioquímico e fisiológico para avaliação do status nutricional desse nutriente em cultivares de arroz de terras altas. Os tratamentos constaram de 5 doses de manganês, sendo 4 aplicadas via solo (0, 4, 8 e 16 mg/dm³ de solo) e uma via foliar (4g L⁻¹), e duas cultivares de arroz de sequeiro (Canastra e Confiança). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 4 repetições, arranjado num esquema fatorial 5 x 2. Cada parcela foi constituída por um vaso com 8 kg de solo com 6 plantas. Dentre os extratores estudados, o Mehlich I, Mehlich III e o DTPA foram bons na predição da disponibilidade de Mn para as plantas de arroz, sendo que o HCl 0,1 mol L⁻¹ apresentou um baixíssimo R² e a Resina um elevado C.V. As medidas de fluorescência da clorofila através da razão Fo/Fv pode constituir um mecanismo auxiliar e prático para detecção e prognose da deficiência de manganês em arroz.

* Comitê Orientador: Janice Guedes de Carvalho – UFLA (Orientadora), Ângela Maria Soares – UFLA

ABSTRACT

PEREIRA, Geraldo Durães. Manganese in cultivars of upland rice: prognosis of availability of manganese. Lavras: UFLA, 1999. Cap. 2. 32p. (Dissertation – Master in Soil Science and Plant Nutrition)*

The present work was conducted in greenhouse of the Soil Science Department of the Federal university of Lavras with the objectives of testing routine extractors as to their predictive capacity of manganese availability, evaluating a biochemical method for prognosis of that nutrient, studying the relationships of manganese with other elements in mineral nutrition and its effects on the yield of upland rice cultivars in terms of the application of growing doses of manganese. The treatments consisted of five doses of manganese, four being applied via soil (0, 4, 8 and 16 mg/dm³ of soil) and one via leaf (4g L⁻¹) and two upland rice cultivars (Canastra and Confiança). The experimental design utilized was the completely randomized with four replicates, arranged in a 5 x 2 factorial scheme. Each plot was made up of a pot with 8 kg of soil with 6 plants. Out of the studied extractors, Mehlich I, Mehlich III and DTPA proved viable in evaluating the availability of Mn for rice plants, HCl 0,1 mol L⁻¹ presented a very low R² and Resin a high C.V.. The fluorescence measures of chlorophyll through the Fo/Fv ratio may become a auxiliary and practical mechanism for detection and prognosis of manganese deficiency in rice.

* Guidance Committee: Janice Guedes de Carvalho – UFLA (Major Professor), Ângela Maria Soares – UFLA

1 INTRODUÇÃO

Os relatos de deficiência de manganês, que em um passado recente não eram observados e, por conseguinte, não motivavam pesquisas freqüentes, hoje já o são, principalmente na região dos cerrados do Brasil, considerada a última grande fronteira agrícola do mundo e, por isto mesmo, de interesse geral.

A particularidade destes solos de apresentarem, de modo geral, um pH com forte tendência à acidez, tem proporcionado oportunidade para que a correção inadequada desta limitação ocasione o surgimento com maior regularidade de desequilíbrios nutricionais, notadamente a deficiência deste nutriente, o que tem sensibilizado produtores e pesquisadores.

Para a pesquisa, trabalhar com este nutriente tem sido um desafio e ao mesmo tempo um estímulo, principalmente devido à complexidade dos processos que controlam a sua disponibilidade e condicionam um caráter de certa instabilidade deste cátion no ambiente, proporcionada pela facilidade de alteração em seu número de valência (+2, +3 e +4).

A globalização, que acirra a competitividade entre os países e ao mesmo tempo oferece informações, naturalmente conduz à pesquisa para o uso de técnicas mais modernas que auxiliem ou mesmo venham a substituir, pela sua dinâmica, as já existentes quanto ao monitoramento de problemas relacionados a nutrição mineral de plantas, evitando perdas de produtividade e viabilizando sua correção em tempo hábil no próprio período de safra.

Considerando a importância da cultura do arroz para a população mundial e sua posição no contexto estadual, este estudo teve como objetivo testar, dentro da técnica de rotina de análise de solo, extratores quanto a sua capacidade preditiva para a disponibilidade de manganês, auxiliando a adubação

via solo, bem como avaliar um método bioquímico para prognose da nutrição deste elemento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

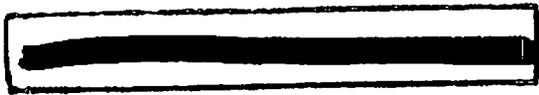
2.1 Caracterização do experimento

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, em Lavras-MG, utilizando-se Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), textura média, fase cerrado, coletado no município de Ijaci-MG, na camada de 0-20 cm de profundidade.

As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 5,00 mm de abertura, sendo retiradas subamostras para caracterização química e física, seguindo metodologia proposta por Vettori (1969) e modificada pela EMBRAPA (1979) e Camargo et al. (1986), cujos resultados são apresentados na Tabela 2.1.

Após seco e peneirado, 8 kg de solo foram acondicionados em vasos sem dreno com capacidade para 10 dm³.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 2 x 5. Os fatores constituíram-se de 2 cultivares de arroz de sequeiro e 5 doses de manganês, sendo 4 aplicadas via solo (0, 4, 8, 16 mg/dm³ de solo) na forma de MnSO₄.4H₂O, e uma via foliar (4 g L⁻¹ por aplicação), na forma de MnSO₄.4H₂O, em três épocas. A primeira aplicação foliar foi realizada aos 25 dias após a germinação e as outras duas seguiram um intervalo regular de 25 dias. As doses de manganês aplicadas via solo e foliar foram baseadas em Neves



(1994) e Fageria et al. (1995), em que a aplicação via solo de 8 mg/dm^3 e a foliar com 4 g L^{-1} são consideradas como adequadas.

TABELA 2.1 Principais características químicas e físicas do solo utilizado.

Descrição	Valores
Alumínio (Al)	0,0 cmol/dm^3
Cálcio (Ca)	5,3 cmol/dm^3
Magnésio (Mg)	2,0 cmol/dm^3
Potássio (K)	59,0 mg/dm^3
Fósforo (P)	5,0 mg/dm^3
Ac.Potencial (H+Al)	1,5 cmol/dm^3
Manganês (Mn)	3,9 mg/dm^3
Ferro (Fe)	36,7 mg/dm^3
Zinco (Zn)	2,5 mg/dm^3
Cobre (Cu)	1,1 mg/dm^3
Matéria Orgânica (M.O.)	3,1 dag/kg
Carbono (C)	1,8 dag/kg
SB	7,5 cmol/dm^3
t	7,5 cmol/dm^3
T	9,0 cmol/dm^3
V	83,3 %
m	0,0 %
pH _{H₂O} (1:2,5)	6,4
Areia	430 g/kg
Argila	250 g/kg
Silte	320 g/kg

*extratores: Ca, Mg e Al = KCl 1 mol L^{-1} ; P e K = Mehlich I; (H+Al) = acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ a pH 7,0; Mn, Fe, Zn e Cu = DTPA.

A adubação básica (Tabela 2.2) teve como referência Malavolta (1980), permanecendo o solo incubado por um período de 25 dias. Decorrido esse tempo, retiraram-se subamostras de 100 cm^3 de solo em 4 repetições para cada unidade experimental do tratamento via solo de manganês e procedeu-se a análise para o elemento Mn utilizando-se 5 diferentes extratores, a saber: DTPA

(Lindsay e Norvell, 1978), resina (Raij et al., 1987), HCl 0,1mol L⁻¹ (Wear e Sommer, 1948), Mehlich-I (Mehlich, 1978) e Mehlich-III (Mehlich, 1984) para posterior correlação entre Mn-solo e Mn-planta.

TABELA 2.2 Fontes e doses de nutrientes utilizados na adubação básica.

Nutrientes	Fontes	Doses (mg/dm ³ de solo)
N	CO(NH ₂) ₂ e NH ₄ NO ₃	300
P	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O	200
K	KCl	240
Mg	MgSO ₄ .7H ₂ O	30
B	H ₃ BO ₃	0,5
Cu	CuSO ₄ .5H ₂ O	1,5
Zn	ZnSO ₄ .7H ₂ O	5
Mo	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0,1

Os nutrientes foram aplicados em forma de solução e misturados ao solo. O nitrogênio e o potássio foram parcelados em 3 aplicações iguais, uma no plantio e as outras aos 35 e 55 dias após a emergência das plântulas. Para o nitrogênio, no plantio, a uréia foi utilizada como fonte. Em cobertura, a fonte utilizada foi o NH₄NO₃, fornecendo, por aplicação, 100 mg N/dm³ de solo.

As sementes de arroz foram tratadas com solução de hipoclorito de sódio a 1% e semeadas na quantidade de 10 sementes por vaso no dia 12 de dezembro de 1998. Após a germinação foram desbastadas, ficando 6 plantas uniformes e vigorosas por vaso.

A umidade do solo foi mantida entre 60 e 80% do volume total de poros (VTP) do solo, usando-se água desmineralizada, sendo o controle feito por pesagens diárias dos vasos. Para evitar a compactação pela água de irrigação, tubos de PVC com 30 cm de altura e 2,5 cm de diâmetro, apresentando 20

perfurações igualmente distribuídas nas laterais, foram inseridos no centro de cada vaso, e acoplados a estes, recipientes plásticos de 600 mL sem o fundo, por onde se fizeram as irrigações diárias (Figura 1A). Usaram-se 50 cm³ de areia lavada (pH 6,6), que foi colocada dentro do tubo de PVC para facilitar a drenagem da água de irrigação e evitar possíveis entupimentos das perfurações.

Aos 70 dias da germinação, logo após o aparecimento dos sintomas visuais de deficiência de manganês, na etapa imediatamente anterior à iniciação da panícula, em fase vegetativa, foram coletadas 3 plantas por vaso para posterior análise foliar.

As plantas foram cortadas rente ao solo e a parte aérea de cada planta foi separada em folhas novas e folhas velhas para análises independentes. As folhas novas foram obtidas do terço superior das plantas e as folhas velhas da parte inferior. Estas partes foram lavadas em água destilada e deionizada, levadas a secar até atingir peso constante em estufa de circulação forçada de ar a 60° C, pesadas e moídas em moinho tipo Wiley, para subsequente análises químicas na determinação de macro e micronutrientes, conforme procedimentos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

A fluorescência da clorofila, baseada em Kriedemann, Graham e Wiskich (1985), foi avaliada por meio de um fluorômetro portátil PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, Norfolk, UK). Essas avaliações foram realizadas em "folha 0" descritas para gramíneas (Oliveira, 1985), isto é, folha mais nova recentemente expandida, sendo a três quartos de distância da base para a ponta da folha, em uma planta por vaso, em todos os vasos.

O fluorômetro PEA fornece leituras diretas de: Fo (fluorescência inicial ou de rendimento constante); Fm (fluorescência máxima ou pico); Fv (fluorescência variável) e a razão Fv/Fm, determinadas após as folhas serem pré-condicionadas ao escuro por 30 minutos, pela medição da fluorescência rápida "in vivo".

As leituras foram sempre realizadas às 12:00 horas (horário solar), quando a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) era sempre superior a $1.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ verificada pelo quantômetro do porômetro portátil (Steady State Porometer – modelo LI-1600M). Foram realizadas quatro avaliações: a primeira ocorreu aos 30 dias, após germinação do arroz no estádio E2-Perfilamento; a segunda aos 45 dias e a terceira aos 58 dias (máximo perfilamento), durante a fase vegetativa; a quarta avaliação foi feita aos 80 dias, no estádio E4-Iniciação da panícula na fase reprodutiva.

2.2 Cultivares utilizadas

2.2.1 Canastra

Lançada em Minas Gerais, em 1992, pelo consórcio da pesquisa – EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) – UFLA (Universidade Federal de Lavras) – EMBRAPA/CNPAF (Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão) – UFV (Universidade Federal de Viçosa), esta cultivar melhorada de arroz agulhinha para plantio em condições de sequeiro tradicional e sob pivô central objetivou principalmente concorrer com o arroz irrigado do Sul do país, que produz grãos da classe longo fino (agulhinha) e de alta “qualidade de panela”.

2.2.2 Confiança

Com o mesmo propósito da cultivar Canastra, mas lançada um pouco mais cedo em Minas Gerais, na safra 1990/91, é tida como de menor produtividade que a Canastra, sendo compensada, no entanto, pela alta qualidade

dos grãos, o que lhe confere uma excelente “qualidade de panela”, comparável à do arroz agulhinha do Rio Grande do Sul, podendo proporcionar melhor remuneração na comercialização.

As principais características destas cultivares são apresentadas na Tabela 2.3.

TABELA 2.3 Características das cultivares Canastra e Confiança.

Características	Canastra	Confiança
Ciclo de maturação (dias)	135	141
Floração (dias)	99	106
Altura das plantas (cm)	88	91
Perfilamento	Muito bom	Muito bom
Acamamento	Moderadamente resistente	Moderadamente resistente
Peso de 100 grãos (g)	2,50	2,29
Largura do grão (L - mm)	2,19	2,25
Comprimento (C - mm)	7,02	6,57
Espessura (E - mm)	1,84	1,78
Relação (C/L)	3,21	2,92

Fonte: Soares et al. (1999).

2.3 Análises estatísticas dos dados

As variáveis avaliadas tiveram seus dados submetidos à análise de variância segundo o modelo baseado em Banzatto e Kronka (1992), para os experimentos fatoriais.

Quando houve efeito significativo das doses de manganês, foram ajustadas equações de regressão relacionando as diversas variáveis em função das doses de manganês aplicadas ao solo, sendo a escolha dos modelos de regressão feita de acordo com a significância do teste F e, também, nos valores

do coeficiente de determinação (R^2). Para comparação entre as médias dos tratamentos, empregou-se o teste de Dunnett, comparando-se a adubação foliar com os demais tratamentos de adubação via solo. Com a finalidade de estimar a associação entre algumas variáveis, utilizou-se a correlação linear simples, relacionando teores de manganês no solo com os da folha, obtidos nos vários métodos de extração.

Tanto a análise de variância como os ajustes de equações de regressão e correlações foram efetuados pelo programa SANEST (Zonta e Machado, 1991).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação de manganês no solo

Os extratores usados neste estudo podem ser classificados em quatro grupos: i) soluções diluídas de ácidos – Mehlich I e HCl 0,1 mol L⁻¹; ii) soluções diluídas de ácidos mais agentes complexantes – Mehlich III; iii) soluções complexantes (quelatos) – DTPA; e iv) resina de troca iônica, enquadrada como um grupo especial de resinas extratoras por não se tratar de solução.

A Tabela 2.4 apresenta as doses de manganês aplicadas aos tratamentos de solo e as quantidades extraídas pelos diferentes métodos.

Os coeficientes de determinação (R^2) e de correlação (r) podem ser utilizados como ferramentas na seleção de métodos de análise (Viets e Lindsay, 1973), indicando a eficácia do método de extração para uma situação específica. Raij et al. (1987) salientam que os coeficientes de variação (C.V.) dão uma boa idéia da precisão do método devido à melhor repetibilidade das análises expressas através de um menor coeficiente de variação.

TABELA 2.4 Teores de manganês determinados por diferentes métodos de extração em função das doses de manganês aplicadas ao solo.

Extratores	Doses de manganês (mg/kg)				CV (%)
	0,0	4,0	8,0	16,0	
	Mg/dm ³				
Mehlich I	4,02	4,33	5,23	6,59	5,31
HCl	9,02	9,57	11,91	10,10	8,92
Mehlich III	2,97	4,24	5,34	8,19	8,45
DTPA	3,90	5,20	6,88	9,45	10,09
Resina	0,42	0,58	0,77	1,21	27,28

Assim como outros pesquisadores, utilizaram-se estes recursos para avaliação da eficiência dos extratores nas condições deste estudo.

A representação gráfica e as equações de regressão entre o manganês extraído pelos diferentes métodos e o acumulado na parte aérea das plantas de arroz em fase vegetativa (época crítica limite de referência), a qual reflete com maior precisão o estado nutricional da planta (Fageria et al., 1995), são apresentados na Figura 2.1.

Comparando-se os teores de manganês no solo extraído pelos vários métodos, observa-se que a resina extraiu as menores quantidades e apresentou o maior coeficiente de variação, implicando numa pior repetibilidade das análises, o que segundo Raij et al. (1987), não é ideal para um bom extrator.

A base da ação de extração da resina é a troca de íons, que é dependente somente da velocidade de liberação pelo solo do elemento extraído, e não propriamente das propriedades da resina (Armer et al, 1955), sendo que nenhum reagente químico enérgico é utilizado e esta não tem seu poder de exaustão alterado em solos com maior fator capacidade (Raij et al., 1987), ocorrendo simplesmente uma transferência do elemento da fase sólida do solo para a resina através da água.

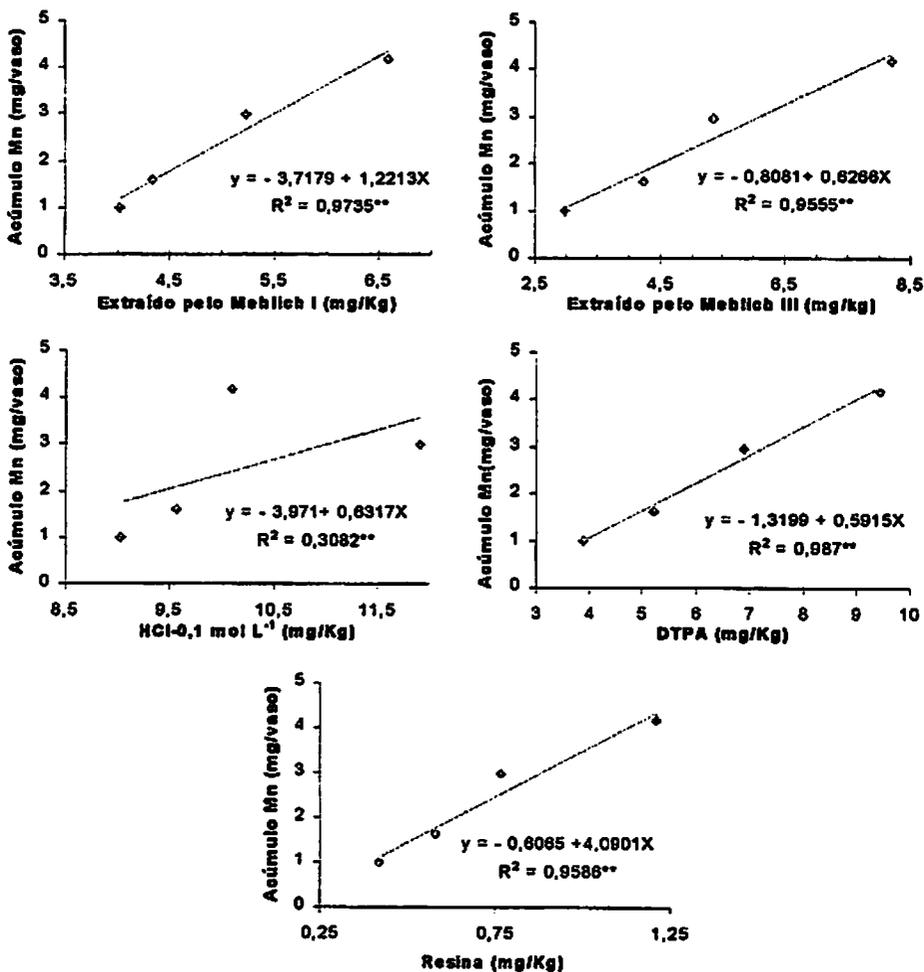


FIGURA 2.1 Relações entre manganês acumulado na parte aérea do arroz no estágio de perfilhamento e o extraído do solo por diferentes métodos.

Das formas de manganês no solo, a solúvel em água e a trocável são as mais afetadas pela acidez do solo (Page, Schofield-Palmer e McGregor, 1962). Já que a resina extrai todo ou grande parte do manganês solúvel em água e do

trocável, explica-se estes mais baixos valores obtidos devido ao pH deste solo estar mais alto (6,4) (Tabela 2.1). Valores de pH's mais elevados refletem em uma menor solubilidade dos óxidos de Mn, induzem à maior adsorção específica do cátion às superfícies dos colóides do solo, aumentam as quantidades das formas precipitadas e elevam a estabilidade dos complexos formados com a matéria orgânica, tornando-os menos solúveis (Dahiya e Singh, 1977; Borket, 1991).

Sais solúveis de Mn^{+2} adicionados ao solo via taxas de fertilização comuns (20 a 40 kg/ha) são rapidamente adsorvidos (Reisenauer, 1988), e quando o pH do solo é maior que 6,0, cátions metálicos como o manganês têm reduzida sua disponibilidade para as plantas pela maior adsorção específica (McBride, 1982), ou oxidado a formas de baixa disponibilidade (Leeper, 1947; Cottenie e Kiekens, 1972).

Dentro da faixa de pH de 6 a 8, os microrganismos são muito mais efetivos na oxidação de manganês que sistemas não biológicos, o que pode determinar um conteúdo baixo de manganês facilmente reduzível e disponível (Reuter, Alston e McFarlane, 1988).

O menor coeficiente de variação foi observado com o Mehlich I, evidenciando uma maior precisão devido à maior repetibilidade das análises feitas com este extrator. Entre Mehlich III, HCl e o DTPA, houve uma certa equivalência na repetibilidade (semelhantes C.V.'s); entretanto o HCl foi o único a não apresentar um coeficiente de determinação confiável, embora significativo a 1%.

Autores como Gambrell e Patrick Jr. (1982) citam o cloro como interferente para análise de determinação de manganês extraído, até mesmo quando esta é feita pelo Mehlich I, que possui metade da concentração de Cl do HCl, o que pode ser uma possível explicação, principalmente para os valores obtidos por este extrator (HCl) na dose mais elevada de Mn adicionada ao solo.

O trabalho de Westermann, Jackson e Moore (1971) propicia uma evidência mais clara de um efeito específico do Cl^- sobre Mn^{+2} solúvel e trocável, segundo o qual, pode ocorrer a possibilidade do Cl^- ser oxidado por óxidos de manganês em contato com soluções ácidas; a oxidação postulada de Cl^- por óxidos de manganês não foi demonstrada em solos e parece ser possível apenas em pH's mais baixos.

O caráter ácido das soluções diluídas é a base do princípio de sua extração, que removem o manganês da solução do solo e o dos sítios de trocas em argilas e matéria orgânica, além de alguma quantidade, porém variável, das frações adsorvidas através da dissolução parcial de compostos que contêm manganês, ou seja, óxidos metálicos e minerais de argila (Lindsay e Cox, 1985), implicando em maiores extrações absolutas. De um modo geral, sua aplicabilidade é mais restrita a solos ácidos com baixo poder tampão (Reisenauer, 1988), sendo que, em solos com elevado poder tampão, há uma certa exaustão do extrator, que não consegue retirar níveis significativamente maiores que o DTPA, implicando que quanto maior a capacidade tampão do solo, maior o desgaste do extrator, e conseqüentemente menor a extração.

A ação dos agentes complexantes (quelatos) é de reduzir a atividade dos íons metálicos livres da solução, formando complexos metálicos solúveis, havendo, com isso, um reabastecimento pela fase sólida; a quantidade extraída reflete a concentração inicial da solução do solo (fator intensidade) e a habilidade do solo em repor (fator quantidade) da fase lábil do solo (Viets e Lindsay, 1973). O DTPA é tamponado a um pH mais elevado, sendo que esta natureza alcalina não limita sua eficácia em solos ácidos e evita a extração excessiva de elementos como o ferro e o manganês em solos calcários, tanto pela presença do pH tamponado como pela presença de Ca^{+2} solúvel, que impedem a dissolução excessiva de CaCO_3 , evitando a liberação destes elementos não disponíveis oclusos na fase sólida do solo (Norvell e Lindsay, 1972).

A ordem decrescente de extração, DTPA > Mehlich III > Mehlich I, observada principalmente na maior dose de manganês aplicada ao solo, muito provavelmente deve-se ao primeiro possuir um agente complexante mais concentrado que o segundo e ausente no último.

A maioria dos trabalhos relacionando o manganês absorvido pelas plantas com o extraído por diferentes métodos apresentam coeficientes de determinação menor que 80% ($R^2 < 0,80$), entretanto, quando acrescido de variáveis como conteúdo de matéria orgânica e/ou reação do solo (pH), há tendência de melhorar estas relações (Reisenauer, 1988). Em um dos trabalhos mais abrangentes em casa-de-vegetação, Sheppard e Bates (1982) observaram que H_3PO_4 0,1 mol L^{-1} (extrator ácido) e o DTPA propiciaram as melhores relações com o absorvido pela planta, e a inclusão de outros fatores (pH e teor de argila) no modelo melhorou ainda mais a previsão.

A inclusão do pH do solo comumente contribui significativamente para as equações de regressão que descrevem a disponibilidade de manganês em solos; isto é, sem dúvida, verdadeiro para solos fortemente ácidos (pH < 6,0), porém está em conflito com dados que relacionam absorção de manganês pela planta em solos mais alcalinos do que pH 6,0, pois a quantidade de manganês extraído diminui com aumento da alcalinidade da extração (Lindsay e Novell, 1978; Haynes e Swift, 1983).

Abreu et al. (1994b) observaram que todos os extratores testados por eles (Mehlich III não foi testado), à exceção do cloreto de cálcio, apresentaram coeficiente de determinação bem mais elevado para os solos com teores de argila menores ou iguais a 35%, mesmo comportamento observado por Sheppard e Bates (1982), que verificaram, também, não ser possível desenvolver uma equação que explicasse bem a absorção de manganês pelas plantas de soja para os solos com teores de argila acima de 30%. Abreu et al (1994b) constataram, ainda, melhores coeficientes de determinação para todos os procedimentos

analíticos testados, exceto para hidroquinona, em 10 amostras de solos que tiveram aplicações de doses crescentes de manganês (0 a 45 mg/dm³), e piores coeficientes para amostras que não receberam manganês.

A capacidade de cada extrator recuperar manganês aplicado em doses crescentes ao solo pode ser avaliada por meio do coeficiente angular da equação de regressão do Mn⁺² extraído do solo em função das doses aplicadas. Coeficiente angular igual a 1 indica 100% de recuperação.

A Tabela 2.5 apresenta as estimativas dos coeficientes angulares (B₁) da equação de regressão ($y = B_0 + B_1X$) entre os teores de manganês extraído do solo em mg/dm³ (y) e as doses de manganês aplicadas em mg/dm³ (X).

TABELA 2.5 Estimativas dos coeficientes angulares (B₁) da equação de regressão dos teores de manganês extraído do solo em função das doses de Mn aplicadas ao solo, para os diferentes métodos de extração.

Solo	Extratores de manganês				
	Mehlich I	HCl	Mehlich III	DTPA	Resina
LV	0,168	0,079	0,325	0,349	0,050

Observa-se que os extratores, de modo geral, apresentaram baixa capacidade em recuperar o manganês aplicado ao solo, e que a resina e os extratores ácidos (HCl e Mehlich I) tiveram as menores quantidades recuperadas, o que pode ser atribuído ao pH do solo (6,4) ser um pouco elevado, tornando, de certa forma, indisponível, o manganês aplicado.

No trabalho de Abreu et al. (1994a), entre os solos utilizados estavam presentes quatro variações de Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e as faixas entre os coeficientes angulares (B₁), para estes solos, foram as seguintes em cada extrator utilizado por eles: Mehlich I de 0,20 a 0,87; HCl de 0,20 a 1,06; DTPA

de 0,22 a 0,96 e a Resina de 0,01 a 0,59. Estes pesquisadores argumentaram sobre algum atributo comum, entre os solos estudados, que interfere na recuperação do manganês aplicado; entretanto, os atributos por eles avaliados, tais como saturação de bases, capacidade de troca de cátions, pH em CaCl_2 $0,01\text{mol L}^{-1}$, teor de argila e matéria orgânica não foram suficientes para explicar as diferenças na recuperação do manganês entre os solos.

A sensibilidade dos extratores em medir mudanças na disponibilidade de manganês causadas pela adição de doses crescentes desse elemento pode ser visualizada na Tabela 2.6.

TABELA 2.6 Estimativas dos coeficientes de correlação linear (r) entre teor de manganês em folhas novas de arroz e manganês extraído do solo pelos diferentes extratores de manganês.

Variável	Extratores de manganês				
	Mehlich I	HCl	Mehlich III	Resina	DTPA
Teor	0,937**	0,376ns	0,926**	0,877**	0,923**
Folhas novas					

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns: não significativo.

Utilizaram-se coeficientes de correlação linear (r) entre os teores de manganês extraído de amostras do solo que receberam os tratamentos de manganês e o teor de manganês em folhas novas do arroz na fase vegetativa cultivados sobre os respectivos tratamentos. Verificou-se existência de alta correlação entre os teores extraídos e o teor de manganês em folhas novas usadas para diagnose (Barbosa Filho e Fageria, 1980), exceção feita ao extrator HCl, que foi não significativo.

Estes resultados permitem dizer que o aumento das doses de manganês aplicadas a este solo foi acompanhado pela sua maior extração tanto pela planta de arroz como pelos extratores, salvo o método do HCl 0,1 mol L⁻¹.

Associando os diversos critérios utilizados para a seleção do método mais adequado, podemos concluir que os extratores Mehlich I, Mehlich III e o DTPA podem ser utilizados na predição da disponibilidade de Mn para as plantas cultivadas no solo estudado, sendo que o HCl 0,1 mol L⁻¹ apresentou um baixíssimo R² e a Resina um elevado C.V., o que, nesse caso, implica numa baixa repetibilidade das análises.

3.2 Fluorescência

A representação gráfica da razão Fo/Fv em função do teor de manganês em folhas novas de arroz submetidas aos tratamentos com este nutriente neste estudo, é apresentada na Figura 2.2, em que é evidenciada a diminuição da razão Fo/Fv com o aumento do teor de manganês nas folhas.

Resultados semelhantes foram observados por Adams et al. (1993) trabalhando com soja, em que a razão Fo/Fv aumentou com o decréscimo da concentração de Mn⁺² em folhas de soja, quando esta esteve abaixo de 10 mg/kg.

Em estudos de estresse nutricional, principalmente com o elemento Mn, é observado tendência de aumento em Fo e diminuição de Fv quando o teor deste nutriente diminui significativamente nas folhas (Graham, Davies e Ascher, 1985; Hannam e Ohki, 1988; Adams et al., 1993). Segundo esses autores, é razoável usar a razão entre as fluorescências inicial (Fo) e variável (Fv) para diagnose da deficiência deste elemento em plantas.

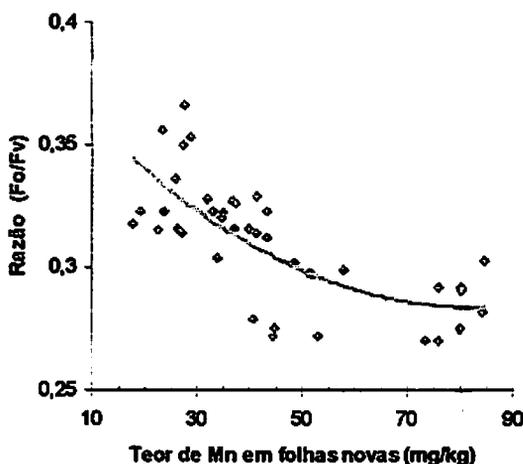


FIGURA 2.2 Relação entre o teor de manganês em folhas novas e a razão Fo/Fv ao longo do ciclo das plantas de arroz submetidas a diferentes doses de Mn. (médias das avaliações aos 30, 45, 58 e 80 dias).

Adams et al. (1993), trabalhando com soja, objetivando avaliar se a idade da folha e a escolha do folíolo afetavam significativamente a fluorescência, dificultando a interpretação do efeito do estresse de manganês, observaram que com o espaço de tempo entre as medidas na mesma folha, houve um ligeiro decréscimo na razão Fo/Fv; já quanto à posição nodal, foi verificado que a 3ª folha trifoliada teve maior razão Fo/Fv do que a 1ª folha trifoliada, sendo coerente com os sintomas de deficiência de manganês que aparecem em folhas mais novas.

A emissão de fluorescência como indicador de estresse nutricional foi estudada na cultura do arroz por Subhash e Mohanan (1994), e as avaliações das medidas de fluorescência foram realizadas quando as plantas tinham de 40 a 45 dias de idade, o que de certa maneira vem dar suporte às medidas mais significativas deste trabalho, que ocorreram quando as cultivares testadas tinham 45 e 58 dias de idade.

A Tabela 2.7 traz o resumo da análise de variância para as medidas da razão Fo/Fv realizada aos 45 dias de idade nas cultivares Canastra e Confiança, antes da 2ª aplicação foliar de Mn⁺² e decorridos 20 dias da 1ª aplicação.

TABELA 2.7 Resumo da análise de variância para a segunda medida da razão Fo/Fv, realizada na folha mais jovem expandida de arroz aos 45 dias de idade.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Cultivar (C)	1	0,002205	55,1250**
Adubação Mn (A)	(4)	0,006473	161,8250**
Doses Mn solo (DS)	3	0,002896	72,4000**
Foliar vs DS	1	0,017201	430,0250**
C x A	(4)	0,000871	21,7750**
DS x C	3	0,000234	5,8500**
(Foliar vs DS) x C	1	0,002781	69,5250**
Resíduo	30	0,000040	—
Média	0,2708		
C. V. (%)	2,34		

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Observa-se que todas as causas de variação foram significativas ao nível de 1% para a 2ª medida da razão Fo/Fv. Assim, houve diferenças entre as cultivares; entre as adubações de manganês e dentro destas, entre as doses do elemento aplicadas via solo, bem como diferenças entre os modos de aplicação do nutriente via foliar quando comparado às aplicações de solo. Também a interação entre cultivar e adubação e os seus desdobramentos apresentam diferenças que significam comportamento diferenciado das cultivares de arroz frente às adubações e aos modos de aplicação (via foliar e solo), em relação às medidas da razão Fo/Fv.

A Tabela 2.8 mostra as médias da razão Fo/Fv das duas cultivares em função da adubação com manganês, comparando-se o modo de aplicação via foliar com as doses do elemento em aplicação via solo, pelo teste de Dunnett.

TABELA 2.8 Valores da razão Fo/Fv comparados pelo teste de Dunnett entre a primeira aplicação via foliar (aos 25 dias) e as doses via solo de Mn^{+2} , nas cultivares de arroz Canastra e Confiança. Medidas da 2ª leitura de fluorescência realizada aos 45 dias de idade das plantas.

Adubações de manganês	Canastra	Confiança
	Razão Fo/Fv	
1ª Aplic. Foliar (4 g Mn/l)	0,3215	0,3030
Solo (0,0 mg Mn/dm ³)	0,2693**	0,2935ns
Solo (4,0 mg Mn/dm ³)	0,2523**	0,2903*
Solo (8,0 mg Mn/dm ³)	0,2410**	0,2548**
Solo (16,0 mg Mn/dm ³)	0,2328**	0,2495**

*D.M.S. a 5% = 0,0116; **D.M.S. a 1% = 0,0146; ns = não significativo.

As maiores razões Fo/Fv foram obtidas nos tratamentos das adubações de manganês via foliar, sendo que para a cultivar Confiança não houve diferença entre a dose zero de manganês via solo e a aplicação foliar. Fato possivelmente devido ao período de 20 dias decorrido entre a primeira aplicação foliar e a segunda leitura das medidas de fluorescência. Esse tempo é considerado suficiente para que a folha mais jovem, recentemente expandida, se mantivesse com baixo status de Mn^{+2} , já que este elemento é de pouca, ou mesmo nenhuma redistribuição no floema, principalmente em condições de baixa disponibilidade no solo (Loneragan, 1988).

Nos outros tratamentos, mais claramente na cultivar Confiança, observa-se que as diferenças significativas entre a aplicação foliar e as doses de solo vão aumentando à medida que a dose de manganês via solo é aumentada, o que conseqüentemente eleva o status do elemento nas plantas e implica numa menor razão Fo/Fv.

O papel essencial do Mn^{+2} no processo da quebra da molécula de água, segregação de oxigênio e transporte de elétrons para fotossíntese (Hannam e Ohki, 1988) faz com que se não houver um suprimento adequado deste elemento, há a tendência de se registrarem maiores valores de Fo (fluorescência inicial) e, correspondentemente, menores valores de Fv (fluorescência variável), o que implica em que o fluxo de luz e a captura de elétrons seja impedida de ocorrer normalmente (Kriedemann, Graham e Wiskich, 1985). Assim se explicam os decréscimos da razão Fo/Fv com o aumento crescente das doses de Mn ao solo.

Para a cultivar Canastra, a diferença altamente significativa entre a ausência da aplicação de manganês ao solo e a pulverização foliar com este nutriente pode ter como suposta explicação as expressivas diferenças observadas entre espécies e variedades na aquisição (Marschner, 1988) e no aproveitamento interno (Reuter, Alston e McFarlane, 1988) deste elemento, principalmente se levarmos em consideração a relativa pequena idade das plantas (45 dias), que não permitiu o seu pleno desenvolvimento vegetativo.

A Figura 2.3 traz a representação gráfica e a equação de regressão da razão Fo/Fv medidas na segunda leitura, aos 45 dias de idade das plantas de arroz, em função das doses de Mn aplicadas ao solo para as cultivares Canastra e Confiança, já que a interação doses no solo x cultivar (Tabela 2.7) foi significativa.

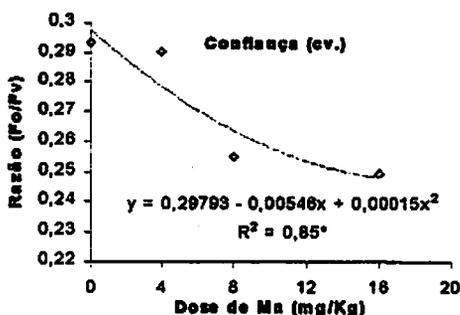
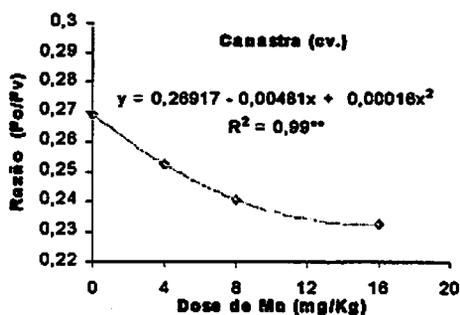


FIGURA 2.3 Relações entre as doses de manganês aplicadas ao solo e a razão Fo/Fv medida na segunda leitura aos 45 dias de idade das plantas de arroz.

É evidenciado a alta relação entre as aplicações de doses crescentes de manganês ao solo com a razão Fo/Fv, indicando claramente que quanto mais baixo o teor deste elemento, maior é a razão Fo/Fv, o que está de acordo com as observações em soja de Adams et al. (1993).

Em ambas as cultivares, as equações descritas apresentaram uma alta capacidade preditiva para a razão Fo/Fv obtida em suas folhas, mesmo para a cultivar Confiança, com menor coeficiente de determinação ($R^2 = 0,85$).

O resumo da análise de variância para as medidas de fluorescência expressadas através da razão Fo/Fv, obtida na terceira leitura realizada aos 58 dias de idade das cultivares de arroz, é apresentado na Tabela 2.9.

Cultivar e adubação com manganês apresentaram diferenças significativas a 1% de probabilidade para a medida da razão Fo/Fv aos 58 dias de idade das plantas. Igualmente, o desdobramento da causa da variação adubação com manganês permaneceu apresentando diferenças ao nível de 1% de probabilidade para as doses do elemento aplicadas ao solo; entretanto, quando se buscou comparar a aplicação foliar com as doses de solo, não houve diferença significativa entre estes.

A interação cultivar x adubação com manganês (C x A) foi não significativa, implicando que as cultivares de arroz tiveram o mesmo comportamento frente às adubações; assim como no seu desdobramento complementar, em que se comparou a interação destas cultivares com as adubações foliar versus solo. Já, o desdobramento da interação cultivares com doses de manganês aplicadas via solo (DS x C) mostrou que estas tiveram comportamento diferenciado para as medidas da razão de fluorescência Fo/Fv, sendo, portanto, significativo ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 2.9 Resumo da análise de variância para a terceira medida da razão Fo/Fv, realizada na folha mais jovem recentemente expandida de arroz aos 58 dias de idade. Decorridos 8 dias da 2ª aplicação foliar de Mn⁺².

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Cultivar (C)	1	0,006003	58,2816**
Adubação Mn (A)	(4)	0,002943	28,5728**
Doses Mn solo (DS)	3	0,003909	37,9515**
Foliar vs DS	1	0,000045	0,4369ns
C x A	(4)	0,000254	2,4660ns
DS x C	3	0,000316	3,0680*
(Foliar vs DS) x C	1	0,000069	0,6699ns
Resíduo	30	0,000103	---
Média	0,251		
C. V. (%)	4,04		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo.

A Tabela 2.10 traz as médias da razão Fo/Fv obtidas através da terceira leitura, realizada aos 58 dias de idade das plantas arroz, em sua folha mais jovem recentemente expandida em função dos modos de aplicação de manganês. As comparações, pelo teste de Dunnett, são entre as doses de manganês aplicadas

via solo e a segunda aplicação via foliar do nutriente realizada aos 50 dias de idade nas plantas de arroz.

TABELA 2.10 Valores da razão Fo/Fv comparados pelo teste de Dunnett entre a segunda aplicação via foliar (aos 50 dias) e as doses via solo de Mn^{+2} , nas plantas de arroz. Medidas da 3ª leitura realizada aos 58 dias de idade das plantas.

Adubações de manganês	Planta de arroz
	Razão Fo/Fv
2ª Aplic. Foliar (4 g Mn/l)	0,2491
Solo (0,0 mg Mn/dm ³)	0,2776**
Solo (4,0 mg Mn/dm ³)	0,2576ns
Solo (8,0 mg Mn/dm ³)	0,2474ns
Solo (16,0 mg Mn/dm ³)	0,2245**

**D.M.S. a 1% = 0,0165 e ns = não significativo. (*D.M.S. a 5% = 0,0131)

O tratamento de solo sem aplicação de manganês diferiu ao nível de 1% de significância da 2ª aplicação foliar com este nutriente às plantas de arroz, e apresentou maior razão Fo/Fv num indicativo claro de que o status de Mn^{+2} nestas plantas era menor e, portanto, com reflexos detectáveis pelas medidas de fluorescência (Graham, Davies e Ascher, 1985; Hammam e Ohki, 1988).

Os tratamentos com 4,0 e 8,0 mg de Mn^{+2} por dm³ de solo não diferiram estatisticamente da 2ª aplicação via foliar deste nutriente às plantas de arroz, no entanto, observa-se que em valores absolutos da razão Fo/Fv, o tratamento de solo com 4,0 mg/dm³ foi um pouco maior que o da 2ª aplicação foliar, indicando que o status de Mn^{+2} neste tratamento de solo era mais baixo que no tratamento

foliar; já quanto ao tratamento de solo com $8,0 \text{ mg/dm}^3$, a situação se inverte em relação ao tratamento foliar.

A menor razão Fo/Fv foi medida no tratamento que recebeu a maior dose de manganês ($16,0 \text{ mg/dm}^3$) no solo e que diferiu significativamente da 2ª aplicação foliar do elemento.

A principal diferença entre a 2ª e a 3ª leitura (aos 45 e 58 dias de idade) das medidas de fluorescência (Tabela 2.8 e Tabela 2.10) é observada nos tratamentos das aplicações foliares de manganês, e tem como explicação o tempo decorrido entre a aplicação e as leituras. Na 2ª leitura (45 dias de idade) se passaram 20 dias entre a aplicação foliar e a medida de fluorescência, numa fase de franco desenvolvimento vegetativo das plantas de arroz, que aliado à baixa redistribuição do Mn^{+2} via floema (Loneragan, 1988), suporta as mais altas razões Fo/Fv de fluorescência encontradas. Já a 3ª leitura (58 dias de idade) ocorreu logo após a aplicação foliar de Mn^{+2} (8 dias) e justifica as medidas da razão Fo/Fv serem de valor mais baixo que o tratamento de solo sem aplicação de manganês.

O desdobramento da interação cultivar x adubação de Mn^{+2} no solo (Figura 2.4) mostra que o comportamento da razão Fo/Fv em função das doses de manganês apresentou certa diferença entre as cultivares, mas com a mesma tendência decrescente.

Permanece evidente, como acontecido na 2ª leitura de fluorescência, a alta relação entre as aplicações de doses crescentes de manganês ao solo com as medidas de fluorescência expressas através da razão Fo/Fv. O espaço de tempo decorrido entre a 2ª leitura (Figura 2.3) e a 3ª (Figura 2.4), para a cultivar Confiança, proporcionou um ligeiro decréscimo na razão Fo/Fv, semelhantemente ao observado por Adams et al. (1993) em folhas de soja, na qual também se registrou tal decréscimo; sendo o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,95$) significativo ao nível de 5%, sugerindo uma boa capacidade

preditiva. Nesta cultivar, a menor razão Fo/Fv pode ser estimada na dose de 15 mg/kg, com um valor de 0,217.

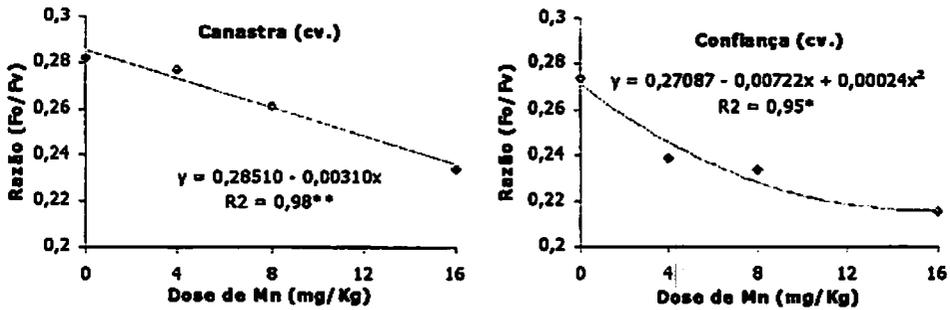


FIGURA 2.4 Representação gráfica e equação de regressão da razão Fo/Fv medidas na terceira leitura aos 58 dias de idade das plantas de arroz, em função das doses de Mn aplicadas ao solo, para as duas cultivares de arroz.

A cultivar Canastra, com o decorrer do tempo, acentuou ainda mais as diferenças na razão Fo/Fv em função das doses de Mn⁺² do solo, quando na 3ª leitura passou a ter uma equação linear para melhor descrever suas medidas, podendo-se estimar que se espera um decréscimo médio de 0,0031 na razão Fo/Fv para a adição de cada 1 mg/kg de Mn ao solo. Resultados estes que vêm corroborar as citações de Reuter, Alston e McFarlane (1988) sobre a ocorrência de variações intraespécies no uso interno deste nutriente.

4 CONCLUSÕES

Levando-se em consideração os diversos critérios utilizados para a comparação entre os extratores, podemos concluir que o Mehlich I, Mehlich III e o DTPA foram bons na predição da disponibilidade de Mn para as plantas de arroz cultivadas no solo estudado;

As medidas de fluorescência da clorofila através da razão F_o/F_v podem constituir um mecanismo auxiliar e prático para detecção e prognose da deficiência de manganês em arroz, com ressalvas a algumas limitações técnicas, como: a característica de leitura do equipamento utilizado quanto ao desenvolvimento da folha até os 30 dias de idade, controle sobre a interferência de outros estresses e as diferenças entre as cultivares, que exigem maiores estudos para torná-lo efetivo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C. A. de; NOVAIS, R. F.; RAIJ, B. van; RIBEIRO, A. C. Comparação de métodos para avaliar a disponibilidade do manganês em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 18, p. 81-90, 1994a.
- ABREU, C. A. de; NOVAIS, R. F.; RAIJ, B. van; RIBEIRO, A. C. Influência da reação do solo na extração de manganês por diferentes extratores químicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.18, p. 91-99, 1994b.
- ADAMS, M. L.; NORVELL, W. A.; PEVERLY, J. H.; PHILPOT, W. D. Fluorescence and reflectance characteristics of manganese deficient soybean leaves: effects of leaf age and choice of leaflet. *Plant and Soil*, Netherlands, v. 155/156, p. 235-238, 1993.

- ARMER, F.; BOULDIN, D. R.; BLACK, C. A.; DUKE, F. R. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption P^{32} equilibration. *Plant and Soil*, Hague, v.6, p. 391-408, 1955.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal: UNESP, 1992. 247 p.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K. Ocorrência, diagnose e correção da deficiência de zinco na cultura de arroz de sequeiro. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1980. 18p. (Circular Técnica, 4).
- BORKERT, C. M. Manganês. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.). *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991.p.115-136.
- BURNELL, J. N. The Biochemistry of Manganese in plants In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N.C.(eds.). *Manganese in soils and plants*. Australia:Kluwer Academic,1988. Cap. 9, p. 125-137.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas*. Campinas: IAC, 1986. 94 p.
- COTTENIE, A.; KIEKENS, L. Exchange of Zn, Mn, Cu and Fe in relation to saturation of the soil complex. In: *Potassium in soil. Proceedings of the 9th Colloquium of the International Potash Institute*. 1972. p 113-123.
- DAHIYA, S. S.; SINGH, M. Effect of $CaCO_3$ and iron application on the availability of manganese in light-textured soil. *Plant Soil*, The Hague, v.46, n.1, p. 239-243, 1977.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos e análises de solos*. Rio de Janeiro, 1979. 79 p.
- FAGERIA, N.K.; FERREIRA, E.; PRABHU, A.S.; BARBOSA FILHO, M.P.; FILIPPI, M.C. *Seja doutor do seu arroz*. Piracicaba: Potafos, 1995. 20p. (Arquivo do Agrônomo, 9).
- GAMBRELL, R. P.; PATRICK, W. H. Jr. Manganese. In: ; MILLER, R. H. ; KEENEY, D. R. (eds.). *Methods of soil analysis:Part 2 ASA-INC*. Madison:Soil Science Society of America,1982.Page, A. L1982. p. 313-322.

- GRAHAM, R.D.; DAVIES, W.J.; ASCHER, J.S.** The critical concentration of manganese in field-grown wheat. *Australian Journal Agricultural Research*, v.36, p.145-55, 1985.
- HANNAM, R. J.; OHKI, K.** Detection of manganese deficiency and toxicity in plants In: **GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N.C.(eds.)**. *Manganese in soils and plants*. Australia:Kluwer Academic, 1988. Cap. 16, p .243-259.
- HAYNES, R. J.; SWIFT, R. S.** An evaluation of the use of DTPA and EDTA as extractants for micronutrient in moderately acid soils. *Plant Soil*, v.74, p. 111-122,1983.
- KRIEDEMANN, P. E., GRAHAM, R. D.; WISKICH, J. T.** Photosynthetic dysfunction and in vivo changes in chlorophyll a fluorescence from manganese-deficient wheat leaves. *Australian Journal Agricultural Research*, v. 36, p. 157-169, 1985.
- LEEPER, G. W.** The forms and reactions of manganese in the soil. *Soil Science*, v.63, p. 79-94,1947.
- LINDSAY, W. L.; COX, F. R.** Micronutrient soil testing for the tropics. In: **VLEK, P. L. G. (ed.)**. *Micronutrients in tropical food crop production*. M. Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands. 1985. p.169-200.
- LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A.** Deveopment of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v. 42, n.3, p. 421-428,1978.
- LONERAGAN, J. F.** Distribution and movement of Manganese in plants. In: **GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N.C.(eds.)**. *Manganese in soils and plants*. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 8, p 113-123.
- MALAVOLTA, E.** *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A.** de Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. rev. e atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H.** Mechanisms of Manganese Acquisition by Roots from Soils. In: **GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (eds.)** *Manganese in soils and plants*. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 13, p. 191-204.

- MATSUNO, H.; URITANI, I. Physiological behavior of peroxidase isosymes in sweet potat roottissue injurede by cutting or with black rot. *Plant and cell Physiology, Tóquio*, v. 13, p. 1091-1101, 1972.
- MCBRIDE, M. B. Electron spin resonance investigation of Mn^{2+} complexation in natural and synthetic organics. *Soil Science Society American Journal*, v.46, p. 1137-1143, 1982.
- MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphurus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Communication in Soil Science and Plant Analisys, New York*, v.9, p.477-492, 1978.
- MEHLICH, A. Mehlich III soil test extractant. A modification of Mehlich II extractant. *Communication Soil Science Plant Analalysis*, v.15, n.12, p.1409-1416, 1984.
- NEVES, J. C. L. *Micronutrientes*. Brasília: ABEAS,1994. 26p. (Curso de Fertilidade e Manejo do Solo).
- NORVELL, W. A.; LINDSAY, W. L. Reactions of DTPA chelats of iron, zinc, copper and manganese with soils. *Soil Science Society American Proceedings*,v.36, p. 778-783, 1972.
- OLIVEIRA, L. E. M. *Comportamento fisiológico de plantas de cana-de-açúcar (Saccharun sp) sob condições de deficiência hídrica: alterações da assimilação do nitrato e mobilização de açúcares*. Campinas: UNICAMP, 1985. 126p. (Tese - Doutorado).
- PAGE, E. R.; SCHOFIELD-PALMER, E. K.; MCGREGOR, A. J. Studies in soil and plant manganese. I. Manganese in soil and its uptake by oats. *Plant Soil, The Hague*, v.16, n.2, p. 238-246, 1962.
- RAIJ, B. Van.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.
- REISENAUER, H. M. Determination of plant-available soil manganese. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R.J.; UREN, N.C.(eds.) *Manganese in soils and plants*. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 6, p. 87-98.
- REUTER, D.J.; ALSTON, A.M.; McFARLANE, J.D. Occurence and Correction of Manganese Deficiency in Plants. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R.J.; UREN, N.C.(eds.). *Manganese in soils and plants*. Netherlands:Kluwer Academic, 1988. Cap. 14, p. 205-218.

- SHEPPARD, S. C.; BATES, T. E.** Selection of a soil extraction and a multiple regression model to predict plant available manganese. **Communication Soil Science Plant Analysis**, New York, v.13, n. 12, p. 1095-1113, 1982.
- SOARES, A.A.; VIEIRA, R.V.; SOUZA, A.F.de. et al.** **Canastra e Confiança: arroz agulhinha para plantio em condições de sequeiro e sob pivô central.** [Lavras]: EPAMIG/UFLA/EMBRAPA/UFV, [1999]. 6p. (Folder).
- SUBHASH, N.; MOHANAN, C. N.** Laser-induced red chlorophyll fluorescence signatures as nutrient stress indicator in rice plants. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.47, p. 45-50, 1994.
- VETTORI, L.** **Métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7).
- VIETS, F. G.; LINDSAY, W. L.;** Testing Soil for Zinc, Copper, Manganese and Iron. In: **WALSH, L. M.; BEATON, J. D. (eds.). Soil testing and plant analysis.** Madison: ASA, 1973. p. 153-172.
- WEAR, J. I.; SOMMER, A. L.** Acid-extractable zinc of soils in relation to the occurrence of zinc deficiency symptoms of corn: a method analysis. **Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison**, v.12, p. 143-144, 1948.
- WESTERMANN, D. T.; JACKSON, T. L.; MOORE, D. P.** Effect of potassium salts on extractable soil manganese. **Soil Science Society American Proceedings**, v. 35, p. 43-46, 1971.
- ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A.** **Manual do SANEST: sistema de análise estatística para microcomputadores.** Pelotas: UFPel, 1991. 102 p.

CAPÍTULO 3

MANGANÊS EM CULTIVARES DE ARROZ DE SEQUEIRO: TEORES DE NUTRIENTES E COMPONENTES DA PRODUÇÃO

RESUMO

PEREIRA, Geraldo Durães. Manganês em cultivares de arroz de sequeiro: teores de nutrientes e componentes da produção. Lavras: UFLA, 1999. Cap. 3. 43p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)*

O presente trabalho foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, com os objetivos de estudar as relações do manganês com outros elementos na nutrição mineral e seus efeitos nos componentes da produção de cultivares de arroz de terras altas, em função da aplicação de doses crescentes de manganês. Os tratamentos constaram de 5 doses de manganês, sendo 4 aplicadas via solo (0, 4, 8 e 16 mg/dm³ de solo) e uma via foliar (4g L⁻¹), e duas cultivares de arroz de sequeiro (Canastra e Confiança). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 4 repetições, arranjado num esquema fatorial 5 x 2. Cada parcela foi constituída por um vaso com 8 kg de solo com 6 plantas. A aplicação de manganês influenciou de maneira semelhante entre cultivares, os teores de nitrogênio, cálcio, ferro e manganês na parte aérea das plantas. A cultivar Confiança apresentou, dentre os componentes de produção, maior número de perfilho produtivo e porcentagem de grãos cheios que a cultivar Canastra. Independentemente de não ter havido diferenças na matéria seca da palha na parte aérea, houve para a matéria seca da raiz e a cultivar Confiança superou a Canastra em mais esta variável avaliada. Há diferença, embora não muito acentuada, entre as cultivares testadas no tocante à susceptibilidade à deficiência de manganês, sendo que a cultivar Canastra se mostrou mais sensível e mais responsiva quando da aplicação da dose mais adequada encontrada neste estudo, que foi de 8 mg Mn/dm³ de solo, a qual propiciou os maiores valores das variáveis estudadas.

* Comitê Orientador: Janice Guedes de Carvalho – UFLA (Orientadora), Ângela Maria Soares – UFLA

ABSTRACT

PEREIRA, Geraldo Durães. Manganese in cultivars of upland rice: mineral nutrition and yield. Lavras: UFLA, 1999. Cap. 3. 43p. (Dissertation – Master in Soil Science and Plant Nutrition)*

The present work was conducted in greenhouse of the Soil Science Department of the Federal university of Lavras with the objectives of testing routine extractors as to their predictive capacity of manganese availability, evaluating a biochemical method for prognosis of that nutrient, studying the relationships of manganese with other elements in mineral nutrition and its effects on the yield of upland rice cultivars in terms of the application of growing doses of manganese. The treatments consisted of five doses of manganese, four being applied via soil (0, 4, 8 and 16 mg/dm³ of soil) and one via leaf (4g L⁻¹) and two upland rice cultivars (Canastra and Confiança). The experimental design utilized was the completely randomized with four replicates, arranged in a 5 x 2 factorial scheme. Each plot was made up of a pot with 8 kg of soil with 6 plants. Manganese application influenced, in a similar way, the contents of nitrogen, calcium, iron and manganese in the shoot. The cultivar Confiança presented, out of the yield components, increased number of productive tiller and percentage of full grains than the cultivar Canastra. Regardless of not there having been any differences in the shoot dry matter yield, there was for the root dry matter and the cultivar Confiança overcame Canastra in further this variable estimated. There is difference, although not very marked, among the cultivars tested concerning the susceptibility to manganese deficiency, the cultivar Canastra presented itself bath more sensitive and more responsive when the most suitable dose, 8 mg of Mn/dm³ of soil, was applied, which provided the highest values of the variables studied.

* Guidance Committee: Janice Guedes de Carvalho – UFLA (Major Professor), Ângela Maria Soares – UFLA

1 INTRODUÇÃO

Em tempos atuais, uso racional e equilíbrio são palavras de ordem, e seguindo esta filosofia, o setor produtivo, que ao longo dos tempos em muito avançou na área da nutrição mineral de plantas, vê-se, hoje, com a necessidade de centrar sua atenção na adubação equilibrada com vistas a maximizar a produção das culturas.

Assim, é necessário não só dispensar atenção ao trinômio nutricional N-P-K, mas também aos demais elementos essenciais como os denominados micronutrientes, voltando o pensamento ao século passado (1840), quando Liebig estabeleceu a lei do mínimo – a produção é limitada pelo nutriente de menor disponibilidade – de modo a atingir o máximo potencial produtivo das plantas.

O micronutriente manganês, em especial devido a sua natural dinâmica química, apresenta muitas situações controversas e sem um posicionamento mais claro dos pesquisadores a respeito de processos como: da dependência na absorção, existência de função para o íon (Mn^{+2}) livre no interior das células dos vegetais, nível de interações com outros nutrientes, mobilidade via floema e seus efeitos diretos e/ou indiretos, principalmente sobre os componentes da produção dos cereais que determinam a produtividade e qualidade destas lavouras.

A humanidade, de modo geral, tem o arroz (*Oryza sativa* L.) como alimento básico, pois a porcentagem da população que se alimenta deste cereal é maior do que a que se alimenta com qualquer outro. Os cerrados brasileiros, como grande fronteira agrícola mundial, têm tradição nesta cultura, especialmente em certas regiões do Estado de Minas Gerais, onde, mais recentemente, problemas nutricionais de origens diversas, com o manganês, têm

sido relatados com maior frequência e, de certo modo, somados a outros fatores, vêm inibindo o potencial de exploração desta cultura.

Com o objetivo de estudar as relações do manganês com outros elementos na nutrição mineral e seus efeitos nos componentes da produção, desenvolveu-se este trabalho com cultivares de arroz em solo de pH próximo à neutralidade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do experimento

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, em Lavras-MG, utilizando-se um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, fase cerrado, coletado no município de Ijaci-MG, na camada de 0-20 cm de profundidade.

As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 5,00 mm de abertura, sendo retiradas subamostras para caracterização química e física, seguindo metodologia proposta por Vettori (1969) e modificada pela EMBRAPA (1979) e Camargo et al. (1986), cujos resultados são apresentados na Tabela 3.1.

Após seco e peneirado, 8 kg de solo foram acondicionados em vasos sem dreno com capacidade para 10 dm³.

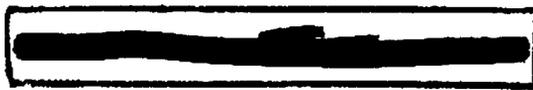
O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 2 x 5. Os fatores constituíram-se de 2 cultivares de arroz de sequeiro e 5 doses de manganês, sendo 4 aplicadas via solo (0, 4, 8, 16 mg/dm³ de solo) na forma de

MnSO₄.4H₂O, e uma via foliar (4 g L⁻¹ por aplicação) na forma de MnSO₄.4H₂O, em três épocas. A primeira aplicação foi feita aos 25 dias após germinação e as outras duas seguiram um intervalo regular de 25 dias. As doses aplicadas via solo e foliar foram baseadas em Neves (1994) e Fageria et al. (1995), em que a aplicação via solo de 8 mg/dm³ e a foliar com 4 g L⁻¹ são consideradas como adequadas.

TABELA 3.1 Principais características químicas e físicas do solo utilizado.

Descrição	Valores	
Alumínio (Al)	0,0	cmol/dm ³
Cálcio (Ca)	5,3	cmol/dm ³
Magnésio (Mg)	2,0	cmol/dm ³
Potássio (K)	59,0	mg/dm ³
Fósforo (P)	5,0	mg/dm ³
Ac.Potencial (H+Al)	1,5	cmol/dm ³
Manganês (Mn)	3,9	mg/dm ³
Ferro (Fe)	36,7	mg/dm ³
Zinco (Zn)	2,5	mg/dm ³
Cobre (Cu)	1,1	mg/dm ³
MatériaOrgânica (M.O.)	3,1	dag/kg
Carbono (C)	1,8	dag/kg
SB	7,5	cmol/dm ³
t	7,5	cmol/dm ³
T	9,0	cmol/dm ³
V	83,3	%
m	0,0	%
pH _{H₂O} (1:2,5)	6,4	
Areia	430	g/kg
Argila	250	g/kg
Silte	320	g/kg

*extratores: Ca, Mg e Al = KCl 1 mol L⁻¹; P e K = Mehlich I; (H+Al) = acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0; Mn, Fe, Zn e Cu = DTPA.



A adubação básica (Tabela 3.2) teve como referência Malavolta (1980), permanecendo o solo incubado por um período de 25 dias.

TABELA 3.2 Fontes e doses de nutrientes utilizados na adubação básica.

Nutrientes	Fontes	Doses (mg/dm ³ de solo)
N	CO(NH ₂) ₂ e NH ₄ NO ₃	300
P	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O	200
K	KCl	240
Mg	MgSO ₄ .7H ₂ O	30
B	H ₃ BO ₃	0,5
Cu	CuSO ₄ .5H ₂ O	1,5
Zn	ZnSO ₄ .7H ₂ O	5
Mo	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0,1

Os nutrientes foram aplicados em forma de solução e misturados ao solo. O nitrogênio e o potássio foram parcelados em 3 aplicações iguais, uma no plantio e as outras aos 35 e 55 dias após a emergência das plântulas. Para o nitrogênio, no plantio, a uréia foi utilizada como fonte. Em cobertura, a fonte utilizada foi o NH₄NO₃, fornecendo, por aplicação, 100 mg N/dm³ de solo.

As sementes de arroz foram tratadas com solução de hipoclorito de sódio a 1%, e semeadas 10 sementes por vaso no dia 12 de dezembro de 1998. Após a germinação foram desbastadas, ficando 6 plantas uniformes e vigorosas por vaso.

A umidade do solo foi mantida entre 60 e 80% do volume total de poros do solo (VTP) usando-se água desmineralizada, sendo o controle feito por pesagens diárias dos vasos. Para evitar a compactação pela água de irrigação, tubos de PVC com 30 cm de altura e 2,5 cm de diâmetro, apresentando 20 perfurações igualmente distribuídas nas laterais, foram inseridos no centro de cada vaso, e aclopados a estes, garrafas plástica de coca-cola de 600 mL sem o

fundo, por onde se fizeram as irrigações diárias (Figura 1A). Usaram-se 50 cm³ de areia lavada (pH 6,6), que foi colocada dentro do tubo de PVC para facilitar a drenagem da água de irrigação e evitar possíveis entupimentos das perfurações.

Aos 70 dias da germinação, logo após o aparecimento dos sintomas visuais de deficiência de manganês, na etapa imediatamente anterior à iniciação da panícula em fase vegetativa, foram coletadas 3 plantas por vaso para análise foliar.

As plantas foram cortadas rente ao solo e a parte aérea de cada planta foi separada em folhas novas e folhas velhas para análises independentes. As folhas novas foram obtidas do terço superior da planta e as folhas velhas na parte inferior. Estas partes foram lavadas em água destilada e deionizada, levadas a secar até atingir peso constante em estufa de circulação forçada de ar a 60° C, pesadas e moídas em moinho tipo Wiley para subsequente análises químicas para determinação de macro e micronutrientes, conforme procedimentos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

A parte da planta de arroz usada para análise dos teores de macro e micronutrientes foi aquela que continha as folhas no desenvolvimento e estágio vegetativo recomendado pela literatura. Isto é, folhas mais novas que tenham completado seu desenvolvimento normal, mas que ainda não entraram em senescência, situadas pouco abaixo do ponto terminal de crescimento, em período imediatamente anterior à floração, pois refletem com maior precisão o estado nutricional da planta de arroz (Barbosa Filho e Fageria, 1980).

As amostras da parte aérea foram submetidas à digestão nitroperclórica em bloco digestor para determinação dos teores de macro e micronutrientes no extrato resultante, com exceção do boro, cujas amostras foram submetidas à digestão por via seca (incineração). Os teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; o de K por fotometria de chama; o de P por colorimetria; o de S por turbidimetria e o N pelo método

Kjeldahl. O boro foi quantificado através da técnica da curcumina (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

Outras três plantas foram mantidas nos vasos até o final do ciclo para as avaliações do efeito do manganês sobre os componentes da produção, matéria seca e rendimento de grãos.

2.2 Variáveis avaliadas

- **Relação panícula/perfilho:**
Número total de panículas/número total de perfilhos em cada vaso.
Fornece o índice de perfilho produtivo que, se igual a 1, implica que todos os perfilhos são produtivos.
- **Porcentagem de grãos cheios:**
Razão percentual entre o número de grãos cheios e o número total de grãos (grãos cheios + chochos) em cada vaso.
- **Peso de 100 grãos:**
Obtido pela pesagem em gramas de 4 amostras/vaso de 100 grãos cheios.
- **Produção de grãos cheios:**
Obtida pela pesagem em gramas dos grãos cheios colhidos em cada vaso e corrigida para 13% de umidade.
- **Matéria seca da palha (MSPalha):**
Obtida pela pesagem em gramas da matéria seca da palhada da parte aérea de cada vaso, após secagem na estufa até peso constante.
- **Matéria seca da raiz (MSRaiz):**
Obtida pela pesagem em gramas do volume de raízes de cada vaso, após secagem na estufa até peso constante.

2.3 Cultivares utilizadas e suas características

2.3.1 Canastra

Lançada em Minas Gerais, em 1992, pelo consórcio da pesquisa – EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) – UFLA (Universidade Federal de Lavras) – EMBRAPA/CNPAF (Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão) – UFV (Universidade Federal de Viçosa), esta cultivar melhorada de arroz agulhinha para plantio em condições de sequeiro tradicional e sob pivô central objetivou principalmente concorrer com o arroz irrigado do Sul do país, que produz grãos da classe longo fino (agulhinha) e de alta “qualidade de panela”.

2.3.2 Confiança

Com o mesmo propósito da cultivar Canastra, mas lançada um pouco mais cedo em Minas Gerais, na safra 1990/91, é tida como de menor produtividade que a Canastra, sendo compensada, no entanto, pela alta qualidade dos grãos, o que lhe confere uma excelente “qualidade de panela”, comparável à do arroz agulhinha do Rio Grande do Sul, podendo proporcionar melhor remuneração na comercialização.

As principais características destas cultivares são apresentadas na Tabela 3.3.

TABELA 3.3 Características das cultivares Canastra e Confiança.

Características	Canastra	Confiança
Ciclo de maturação (dias)	135	141
Floração (dias)	99	106
Altura das plantas (cm)	88	91
Perfilamento	Muito bom	Muito bom
Acamamento	Moderadamente resistente	Moderadamente resistente
Peso de 100 grãos (g)	2,50	2,29
Largura do grão (L - mm)	2,19	2,25
Comprimento (C - mm)	7,02	6,57
Espessura (E - mm)	1,84	1,78
Relação (C/L)	3,21	2,92

Fonte: Soares et al. (1999).

2.4 Análises estatísticas dos dados

As variáveis avaliadas tiveram seus dados submetidos à análise de variância segundo o modelo baseado em Banzatto e Kronka (1992), para os experimentos fatoriais.

Quando houve efeito significativo das doses de manganês, foram ajustadas equações de regressão relacionando as diversas variáveis em função das doses de manganês aplicadas ao solo, sendo a escolha dos modelos de regressão feita de acordo com a significância do teste F e, também, nos valores do coeficiente de determinação (R^2). Para comparação entre as médias dos tratamentos, empregou-se o teste de Dunnett, comparando-se a adubação foliar com os demais tratamentos de adubação via solo.

Tanto a análise de variância como os ajustes de equações de regressão e correlações foram efetuados pelo programa SANEST (Zonta e Machado, 1991).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teores de nutrientes

Dentre os macronutrientes analisados, nitrogênio e cálcio tiveram seus teores foliares influenciados significativamente pelo efeito dos tratamentos de manganês, bem como, dentre os micronutrientes, ferro e manganês foram os que apresentaram diferenças estatísticas neste estudo.

Os efeitos do Mn sobre o teor foliar de outros nutrientes não apresentam um consenso entre as pesquisas. Assim, na literatura encontram-se citações de interações diversas, como: Bowen (1969), em experimento com tecido foliar da cana-de-açúcar, não observou efeito de Mn^{+2} sobre os cátions divalentes de Zn^{+2} e Cu^{+2} , mesmo em concentrações relativamente altas de 100 μM ; para Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), os teores de Ca, Fe e Zn são os que mais comumente sofrem efeito negativo de adição de Mn; Dynia e Moraes (1998), em cultivos sucessivos de arroz irrigado e feijoeiro, não encontraram influência nos teores de P, Ca, Mg e Zn em plantas de feijão que apresentaram alto teor de Mn associado a sintoma foliar de toxidez, e corroborando trabalho de Salvador et al. (1998), em que nenhuma dose de Mn proporcionou alterações significativas nos teores de N, K, S, Cu e Zn em mudas de goiabeira sob estresse de Mn.

A Tabela 3.4 mostra o resumo da análise de variância para o teor de nitrogênio em folhas diagnósticas de arroz.

Observa-se que houve diferenças, ao nível de 5% de probabilidade, entre as cultivares de arroz para o teor de nitrogênio (N) em suas folhas; sendo que, na média geral, em todos os tratamentos, a cultivar Confiança apresentou maior teor de N em suas folhas (35,19 g/kg) do que a cultivar Canastra (33,46 g/kg).

TABELA 3.4 Resumo da análise de variância para teor de nitrogênio, das cultivares Canastra e Confiança, pela análise foliar em período imediatamente anterior à floração.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Cultivar (C)	1	30,101825	5,722622*
Adubação Mn (A)	(4)	23,266401	4,423147**
Doses Mn solo (DS)	3	27,237743	5,178134**
Foliar vs DS	1	11,352425	2,158196ns
C x A	(4)	2,655737	0,504879ns
DS x C	3	3,512288	0,667717ns
(Foliar vs DS) x C	1	0,086084	0,016365ns
Resíduo	30	5,260146	—
Média	34,32		
C. V. (%)	6,68		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns não significativo.

Diferenças mais significativas, ao nível de 1%, existiram para a causa da variação adubação com manganês e no seu desdobramento de doses via solo, que proporcionaram alterações no teor de N das folhas de arroz. Já o desdobramento complementar, que compara a aplicação foliar de manganês com a média das aplicações deste elemento via solo, foi não significativo, assim como o foi a interação cultivar x adubação (C x A) e seus desdobramentos para com a variável avaliada teor de nitrogênio.

A Tabela 3.5 traz as médias do teor de N foliar, as quais são comparadas através do teste de Dunnett, entre as quantidades de aplicação de manganês via solo com a via foliar.

A única diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, para o teor de N em folhas novas de arroz, foi registrada entre o tratamento em que não houve aplicação de manganês ao solo e o tratamento da aplicação foliar, sendo

que o menor teor de N foi observado na parte aérea das plantas cultivadas no tratamento em que não se aplicou manganês.

TABELA 3.5 Valores do teor de nitrogênio, comparados pelo teste de Dunnett, entre as aplicações de doses de Mn^{+2} via solo e a via foliar, em cultivares de arroz.

Adubações de manganês	Planta de arroz
	Teor de nitrogênio (g/kg)
Aplic. Foliar 2 x (4 g Mn/L)	35,39
Solo (0,0 mg Mn/dm ³)	31,75*
Solo (4,0 mg Mn/dm ³)	34,00ns
Solo (8,0 mg Mn/dm ³)	36,26ns
Solo (16,0 mg Mn/dm ³)	34,22ns

*D.M.S. a 5% = 2,96 e ns = não significativo. (**D.M.S. a 1% = 3,73)

Uma possível explicação para este resultado pode ser o fato de que com a presença de manganês há também um maior requerimento funcional por nitrogênio para otimizar a produção de fotoassimilados, dada a participação ativa destes nutrientes na fotossíntese, clorofila, aminoácidos, proteínas e reações energéticas, e considerando-se, ainda, que o N é tido como elemento móvel (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997), podendo redistribuir-se facilmente de um órgão para outro (folhas velhas para folhas novas) nas plantas.

Trabalhando com arroz de sequeiro sob condições de encharcamento em solo de baixa fertilidade, Duarte, Voltan e Furlani (1993) constataram que a cultivar Araguaia foi a única com tendência a não apresentar o amarelecimento e a manter os teores de N e Mn mais elevados, corroborando os dados do presente estudo, em que houve uma forte interação entre N e Mn e, possivelmente, fotoassimilados, mantendo a coloração verde das plantas.

Os teores de N nas folhas novas das cultivares Canastra e Confiança, apesar de apresentarem-se mais baixo no tratamento sem aplicação de manganês, ainda assim estão dentro da faixa de valores considerados como adequados por Fageria et al. (1995) para a cultura do arroz (26-42 g/kg), muito embora as fotos do experimento (Fotos 3A a 8A) mostrem uma tendência de maior amarelecimento na cultivar Canastra que, por sua vez, apresentou teor médio de N geral (33,46 g/kg) mais baixo do que a cultivar Confiança (35,19 g/kg), sendo esta diferença entre as cultivares significativa ao nível de 5% (Tabela 3.4).

A Figura 3.1 mostra a representação gráfica e equação de regressão do teor de N em folhas diagnósticas de arroz, em função das doses de Mn aplicadas ao solo, já que a interação doses no solo x cultivar foi não significativa.

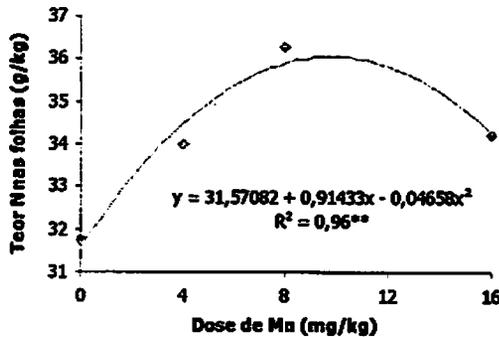


FIGURA 3.1 Relações entre as doses de manganês aplicadas ao solo e o teor de nitrogênio em folhas diagnósticas de arroz.

O que chama a atenção nesta figura é que o mais alto teor de N praticamente coincide com a dose de manganês do solo que proporciona o maior desempenho produtivo das cultivares de arroz neste estudo (Canastra 52,51 g e

Confiança 49,42 g de grãos – Tabela 3.17), o que de certa forma vem reforçar a idéia do maior requerimento funcional de N, estando de acordo com o que sugerem Campbell e Nable (1988), segundo os quais, quando a nutrição de manganês das plantas não for normal, os componentes de produção e a qualidade dos produtos são os mais afetados devido, principalmente, às mudanças na fotossíntese e no suprimento de assimilados.

A Tabela 3.6 mostra o resumo da análise de variância para o teor de cálcio (Ca) em folhas das cultivares Canastra e Confiança, sendo que observam-se diferenças entre as cultivares ao nível de 1% de significância. Tal como ocorrido para o teor de N, a cultivar Confiança apresentou, na média geral, teor de Ca mais elevado (5,58 mg/kg) do que a cultivar Canastra (4,91 mg/kg) em suas folhas.

TABELA 3.6 Resumo da análise de variância para teor de cálcio, das cultivares Canastra e Confiança, pela análise foliar em período imediatamente anterior à floração.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Cultivar (C)	1	4,435547	16,409719**
Adubação Mn (A)	(4)	1,258896	4,657403**
Doses Mn solo (DS)	3	1,671781	6,184909**
Foliar vs DS	1	0,020240	0,074880ns
C x A	(4)	0,503464	1,862612ns
DS x C	3	0,642452	2,376811ns
(Foliar vs DS) x C	1	0,086501	0,320018ns
Resíduo	30	0,270300	---
Média	5,25		
C. V. (%)	9,91		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade e ns não significativo.

Igualmente significativo ao nível de 1% de probabilidade, foram a causa da variação adubação com manganês e o seu desdobramento das doses deste nutriente aplicadas ao solo, que influíram estatisticamente nos teores foliares de Ca das cultivares de arroz testadas.

O desdobramento complementar da causa de variação adubação com manganês, bem como a interação cultivar x adubação (C x A) e os seus desdobramentos foram não significativos para a variável em estudo, isto é, não alteraram, do ponto de vista estatístico, o comportamento das cultivares de arroz testadas, que apresentaram a mesma evolução no teor de Ca nas folhas.

A Tabela 3.7 apresenta as médias do teor de Ca em folhas de arroz nas cultivares testadas, em que as comparações são entre a aplicação via foliar e as doses de Mn via solo, através do teste de Dunnett.

TABELA 3.7 Médias do teor de cálcio, comparadas pelo teste de Dunnett, entre as aplicações de doses de Mn⁺² via solo e a via foliar, em cultivares de arroz.

Adubações de manganês	Planta de arroz
	Teor de cálcio (g/kg)
Aplic. Foliar 2 x (4 g Mn/L)	5,29
Solo (0,0 mg Mn/dm ³)	5,68ns
Solo (4,0 mg Mn/dm ³)	5,58ns
Solo (8,0 mg Mn/dm ³)	4,87ns
Solo (16,0 mg Mn/dm ³)	4,82ns

ns = não significativo. (**D.M.S. a 1% = 0,84; *D.M.S. a 5% = 0,67)

Todos os teores de Ca encontrados nas folhas das cultivares de arroz, em função dos tratamentos de adubação com o nutriente manganês via solo, não

diferiram estatisticamente do teor de Ca foliar proporcionado pela aplicação foliar deste nutriente.

Os teores foliares de Ca na planta de arroz, citados por Fageria et al. (1995) como adequados, estão dentro do intervalo de 2,5 a 4,0 g/kg, e o nível tóxico, quando este teor supera 6,5 g/kg. Neste estudo, os teores médios de Ca, em todos os tratamentos, ficaram acima dos valores considerados adequados, mas no entanto, não chegaram a atingir o nível tóxico (Tabela 3. 7).

Observa-se que o teor de Ca encontrado nas folhas, em função das aplicações foliares de Mn, é um valor intermediário entre os dois primeiros e os dois últimos tratamentos das adubações via solo. Assim, revela-se uma tendência de queda do teor foliar de Ca em função do aumento das doses de manganês via solo e/ou até foliar.

A Figura 3. 2 vem, de certa forma, reforçar esta tendência de diminuição no teor foliar de Ca em função das doses via solo de Mn, mostrando estas relações através da análise de regressão.

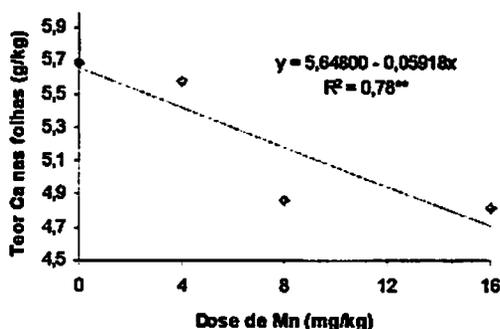


FIGURA 3.2 Relações entre as doses de manganês aplicadas ao solo e o teor de cálcio em folhas diagnósticas de arroz.

Há muitas controvérsias entre autores e trabalhos sobre a interação Mn e Ca. Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), por exemplo, citam que a adição de Mn reflete em um efeito negativo no teor foliar de Ca. Outros autores, como Ferguson e Clarkson (1975), em seus estudos, sustentam que não parece haver interação em grau mais intenso entre estes elementos. Já nas condições deste trabalho, a representação gráfica da Figura 3.2 não deixa dúvidas que com a aplicação de doses crescentes de Mn ao solo, há uma queda no teor do elemento Ca nas folhas utilizadas para diagnose, nas cultivares testadas.

O fato não se ter usado o elemento Ca em fonte direta na adubação básica neste experimento (Tabela 3.2) possivelmente pode ter tido uma maior contribuição nesta interação verificada.

O resumo da análise de variância para o teor de ferro (Fe) em folhas novas das cultivares testadas de arroz é apresentado na Tabela 3.8.

TABELA 3.8 Resumo da análise de variância para teor de ferro, das cultivares Canastra e Confiança, pela análise foliar em período imediatamente anterior à floração.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Cultivar (C)	1	1017,785459	59,571818**
Adubação Mn (A)	(4)	825,051523	48,290942**
Doses Mn solo (DS)	3	1097,483516	64,236610**
Foliar vs DS	1	7,755543	0,453938ns
C x A	(4)	22,892677	1,339927ns
DS x C	3	30,448974	1,782203ns
(Foliar vs DS) x C	1	0,223788	0,013098ns
Resíduo	30	17,085016	—
Média	70,74		
C. V. (%)	5,84		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade e ns não significativo.

As cultivares de arroz mostraram diferenças ao nível de 1% de significância para os teores de Fe, sendo que o teor médio nas folhas da cultivar Confiança (75,78 mg/kg) foi superior ao da cultivar Canastra (65,69 mg/kg).

Igualmente, com diferenças ao nível de 1% de probabilidade, observa-se para as adubações com manganês e o seu desdobramento de doses aplicadas ao solo, as quais proporcionam influências significativas nos teores de Fe em folhas de diagnose do arroz.

Já o desdobramento complementar da causa de variação adubação com manganês, bem como a interação cultivar x adubação (C x A) e os seus desdobramentos foram não significativos para o teor de Fe. Assim, não houve alterações, do ponto de vista estatístico, no teor deste elemento nas folhas e nem quanto ao comportamento das cultivares de arroz, que mantiveram o mesmo nível de influência no teor foliar deste nutriente mediante as adubações com Mn.

A Tabela 3.9 apresenta as médias dos teores foliares de ferro obtidas nos tratamentos realizados neste estudo, em que as comparações pelo teste de Dunnett são realizadas entre as adubações via solo e a via foliar.

TABELA 3.9 Valores do teor de ferro, comparados pelo teste de Dunnett, entre as aplicações de doses de Mn^{+2} via solo e a via foliar, em cultivares de arroz.

Adubações de manganês	Planta de arroz
	Teor de ferro (mg/kg)
Aplic. Foliar 2 x (4 g Mn/L)	71,62
Solo (0,0 mg Mn/dm ³)	82,41**
Solo (4,0 mg Mn/dm ³)	75,84ns
Solo (8,0 mg Mn/dm ³)	68,73ns
Solo (16,0 mg Mn/dm ³)	55,08**

**D.M.S. a 1% = 6,72 e ns = não significativo. (*D.M.S. a 5% = 5,33)

Observa-se que as aplicações de Mn via foliar determinaram um teor de Fe nas folhas de arroz com um valor intermediário entre as aplicações via solo com 4,0 mg/dm³ e 8,0 mg Mn/dm³, que, assim, não apresentaram diferenças significativas quanto ao teor de Fe.

No tratamento via solo, em que não se aplicou Mn, foi registrado o maior teor de Fe nas folhas das cultivares de arroz testadas, e diferiu significativamente ao nível de 1% do teor de Fe das aplicações foliares de Mn.

Já no tratamento via solo, em que se aplicou a maior dose de Mn, o teor de Fe nas folhas de arroz foi o menor, e diferiu significativamente ao nível de 1% do teor de Fe das pulverizações com Mn.

As faixas de teores foliares de Fe para a cultura do arroz, consideradas por Fageria et al. (1995) como crítica e adequada são, respectivamente: 50 a 70 mg/kg e 70 a 300 mg/kg; implicando, assim, que com o aumento das doses de Mn houve uma redução gradativa no teor de Fe nas folhas de diagnose do arroz, que baixou de um teor aceito como adequado para um teor tido como crítico, principalmente na mais alta dose de manganês.

A Figura 3.3 retrata muito bem esta relação entre doses crescentes de Mn aplicadas ao solo e decréscimos no teor foliar de Fe nas cultivares de arroz testadas, através da análise de regressão.

Nas condições deste estudo fica evidente a interação manganês-ferro. Com relação às interações entre Mn⁺² e cátions divalentes, a menos contestada é esta, em que Malavolta Vitti e Oliveira (1997) relatam sobre fortes evidências da inibição competitiva entre estes elementos e Ponnampuruma e Lantin (1985) chegou a sugerir aplicações de Mn em que ocorre toxidez de Fe.

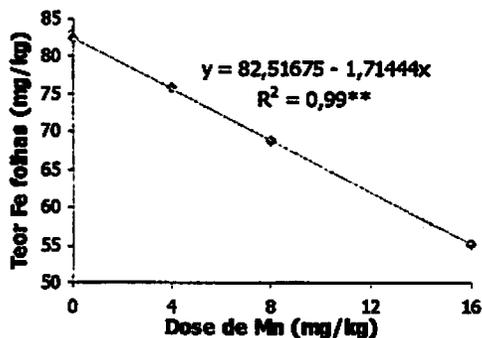


FIGURA 3.3 Relações entre as doses de manganês aplicadas ao solo e o teor de ferro em folhas diagnósticas de arroz.

O resumo da análise de variância para o teor foliar de manganês é apresentado na Tabela 3.10.

TABELA 3.10 Resumo da análise de variância para teor de manganês, das cultivares Canastra e Confiança, pela análise foliar em período imediatamente anterior à floração.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Cultivar (C)	1	189,052301	11,583775**
Adubação Mn (A)	(4)	3693,660279	226,321121**
Doses Mn solo (DS)	3	4826,561281	295,737203**
Foliar vs DS	1	294,957270	18,072875**
C x A	(4)	21,627813	1,325198ns
DS x C	3	14,010672	0,858474ns
(Foliar vs DS) x C	1	44,479236	2,725370ns
Resíduo	30	16,320440	---
Média	44,72		
C. V. (%)	9,03		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade e ns não significativo.

Há diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade entre as cultivares de arroz testadas. O teor médio em todos os tratamentos, para a variável concentração de manganês na folha diagnóstica, foi maior na cultivar Confiança (46,89 mg/kg) do que na Canastra (42,54 mg/kg); facilmente observável pela expressão da diagnose visual nas fotos (Anexo), principalmente nos dois primeiros tratamentos de Mn via solo, em que a cultivar Canastra expressa mais claramente os sintomas desta deficiência.

A princípio pode-se explicar esta diferença pela habilidade existente entre as cultivares na aquisição de Mn^{+2} , atribuídas, segundo Marschner (1988), às diferenças genéticas das plantas, e reforçadas pelos relatos de variações intraespécies em culturas como trigo, cevada, ervilha, aveia e soja (Reuter, Alston e McFarlane, 1988).

As adubações com manganês, bem como o seu desdobramento nas doses aplicadas ao solo e também na comparação entre os modos de aplicação: via pulverizações contra média das aplicações de solo, apresentaram diferenças ao nível de 1% de significância.

Na comparação entre os modos de aplicação, o teor foliar médio de Mn das aplicações deste nutriente ao solo foram maiores (46,07 mg/kg) do que o teor foliar proporcionado pelas pulverizações com Mn (39,29 mg/kg). Isto pode ser explicado pela relativa pobre redistribuição do Mn^{+2} quando aplicado à folha (Loneragan, 1988; Reuter, Alston e McFarlane, 1988) contra uma média de doses crescente aplicadas ao solo, que mascaram o resultados do tratamento ausente em Mn, e assim colocam à disposição (em média) um suprimento mais contínuo para os pontos de crescimento das cultivares testadas.

A interação entre cultivares e adubações, bem como o seus desdobramentos, do ponto de vista estatístico, não ocorreu, pois foi não significativo, implicando dizer que ambas as cultivares tiveram o mesmo comportamento refletido no teor foliar de manganês.

Na Tabela 3.11 encontram-se as comparações de médias pelo teste de Dunnett para os teores foliares de manganês registrados nos tratamentos de adubações com Mn^{+2} .

TABELA 3.11 Valores do teor de manganês, comparados pelo teste de Dunnett, entre as aplicações de doses de Mn^{+2} via solo e a via foliar, em cultivares de arroz.

Adubações de manganês	Planta de arroz
	Teor de manganês (mg/kg)
Aplic. Foliar 2 x (4 g Mn/L)	39,29
Solo (0,0 mg Mn/dm ³)	24,26**
Solo (4,0 mg Mn/dm ³)	31,46**
Solo (8,0 mg Mn/dm ³)	49,17**
Solo (16,0 mg Mn/dm ³)	79,40**

**D.M.S. a 1% = 6,56 (*D.M.S. a 5% = 5,21)

Todos os tratamentos com Mn^{+2} aplicado ao solo diferiram significativamente ao nível de 1% de probabilidade das pulverizações foliares com este nutriente, sendo que nos tratamentos de solo onde não houve aplicação de Mn^{+2} e naquele que recebeu 4,0 mg/dm³, os teores foliares de Mn foram menores que o registrado na adubação via pulverizações. Já nas adubações via solo com 8,0 e 16,0 mg/dm³, nesta ordem, respectivamente, os teores foliares de Mn foram progressivamente maiores que o da adubação via pulverizações.

Para o elemento manganês, Fageria et al. (1995) citam como intervalo de valores para os teores foliares em nível crítico: 20 – 30 mg/kg; e em nível adequado: 30 – 600 mg/kg, o que corresponde a dizer que sem a aplicação de manganês a este solo, os teores foliares das cultivares de arroz testadas

apresentaram, em suas folhas diagnósticas, teores foliares em nível crítico para o elemento em questão, e notadamente as consequências desta má nutrição.

A Figura 3.4 traz a representação gráfica e a equação de regressão do teor foliar de manganês em folhas diagnósticas de arroz em função das doses deste nutriente aplicadas ao solo, já que a interação doses via solo x cultivar (DS x C) foi não significativa.

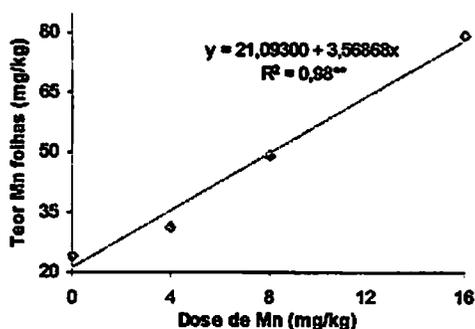


FIGURA 3.4 Relações entre as doses de manganês aplicadas ao solo e o teor de manganês em folhas diagnóstica de arroz.

Na tabela de teores foliares adequados à planta de arroz apresentada por Fageria et al. (1995), entre os vários elementos essenciais listados, o de maior amplitude é exatamente o manganês (30 a 600 ppm). Esta informação, acrescida das argumentações de Clarkson (1988) de que a absorção de manganês não é exatamente controlada, diferentemente dos principais íons nutrientes, cujo consumo é amplamente regulado pelo crescimento e metabolismo; e que é bem provável que exista, nas células, mais Mn do que aquela utilizada na bioquímica, já que suas exigências quantitativas são pequenas, de certo modo ajudam a explicar as relações da Figura 3.4, em que pode-se estimar um acréscimo médio

de 3,57 mg/kg no teor de Mn foliar para a adição de cada 1mg/kg na adubação de solo deste nutriente.

Quando se plotam todos os dados obtidos neste experimento (Figura 3.5), numa relação entre teor de Mn em folha diagnóstica e a sua respectiva produção total de grãos cheios, observa-se que à medida que o teor foliar de Mn sai de uma faixa tida como crítica (20 a 30 mg/kg) para a faixa mais ampla de adequado (30 a 600 mg/kg – Fageria et al., 1995), a linha de tendência para produção de grãos passa por um ponto de máxima (teor de 55 mg/kg) e volta a cair nos patamares de produção do início da faixa adequada, ou seja, nas concentrações foliares de Mn entre 35 e 40 mg/kg.

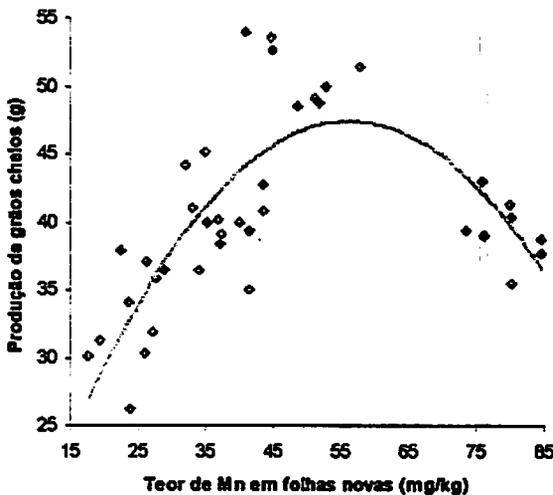


FIGURA 3.5 Relação entre o teor de manganês em folhas diagnósticas e a produção total de grãos cheios de arroz em todos os tratamentos.

Semelhantemente a outros trabalhos que apresentam teores foliares de Mn muito acima dos tidos como tóxicos (Tanaka e Yoshida, 1970; Bertoni et al.,

1999) sem contudo evidenciar sintomas de toxidez e nem mesmo menor desenvolvimento das plantas, neste estudo também se obteve esta constatação (Fotos 3A a 6A), muito embora os teores obtidos de Mn foliar fossem muito menores.

Estudos desta natureza induzem a suspeitar que exista uma faixa ótima de Mn bem mais estreita que a considerada adequada (30 – 600 mg/kg), e que esta estaria relacionada com a função específica deste elemento na fotossíntese (FSII – Graham, Davies e Ascher, 1985), que em associação com um ótimo de outros nutrientes, garanta a máxima produção de fotoassimilados e maximize a produção das plantas.

Associando as citações de Campbell e Nable (1988) de que a produtividade e a qualidade dos produtos vegetais são os fatores mais afetados devido às mudanças na fotossíntese quando a nutrição de Mn não for normal e as de Clarkson (1988) sobre as divergências entre necessidade (baixa) e teor atual (alto), já que as exigências quantitativas por Mn na bioquímica são pequenas, reforça-se sobremaneira a suspeita de uma faixa ótima dentro desta mais ampla de nível adequado, merecendo maiores pesquisas com o nutriente manganês.

3.2 Componentes da produção

Dentre as variáveis avaliadas (tópico 2.2), optou-se por discutir aqueles resultados que englobam mais de uma destas variáveis, como é o caso da relação panícula/perfilho (perfilho produtivo) e a porcentagem de grãos cheios que envolve o número de grãos cheios e o total de grãos, que ao fazerem parte dos componentes da produção, definem o rendimento de grãos e conseqüentemente a produção do arroz (Ishizuka, 1971).

A Tabela 3.12 mostra o resumo da análise de variância para a relação panicula/perfilho das cultivares de arroz testadas neste estudo.

TABELA 3.12 Resumo da análise de variância para a relação panicula/perfilho das cultivares Canastra e Confiança.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Cultivar (C)	1	0,015651	22,074753**
Adubação Mn (A)	(4)	0,015981	22,540197**
Doses Mn solo (DS)	3	0,020986	29,599436**
Foliar vs DS	1	0,000967	1,363893ns
C x A	(4)	0,000564	0,795487ns
DS x C	3	0,000585	0,825106ns
(Foliar vs DS) x C	1	0,000503	0,709450ns
Resíduo	30	0,000709	—
Média	0,924		
C. V. (%)	2,88		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade e ns não significativo.

Observa-se que houve diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade entre as cultivares, sendo que a relação panicula/perfilho da cultivar Confiança (0,944) foi superior à da Canastra (0,905) na média geral. Resultado este compatível com os de teores foliares de Mn, em que a cultivar Canastra também apresentou, em média, o mais baixo teor, e expressou mais claramente os sintomas visuais de deficiência (Fotos 3A a 8A).

Estatisticamente diferentes a 1% de significância foram as causas da variação adubação com Mn e o seu desdobramento, ou seja, doses deste nutriente aplicadas ao solo. Esses fatores influenciaram de modo marcante na relação panicula/perfilho nas plantas de arroz testadas.

Todas as outras causas da variação, ressaltando-se as interações, foram não significativas, o que corresponde a dizer que as cultivares tiveram o mesmo comportamento de resposta em perfilho produtivo com as aplicações de Mn.

As médias da relação panícula/perfilho, que fornece o índice de perfilho produtivo, são apresentadas na Tabela 3.13, e comparadas pelo teste de Dunnett.

TABELA 3.13 Valores do índice de perfilho produtivo, comparadas pelo teste de Dunnett, entre as aplicações de doses de Mn⁺² via solo e via foliar, no arroz.

Adubações de manganês	Planta de arroz
	Índice de perfilho produtivo
Aplic. Foliar 3 x (4 g Mn/L)	0,934
Solo (0,0 mg Mn/dm ³)	0,856**
Solo (4,0 mg Mn/dm ³)	0,925ns
Solo (8,0 mg Mn/dm ³)	0,981**
Solo (16,0 mg Mn/dm ³)	0,926ns

**D.M.S. a 1% = 0,04 (*D.M.S. a 5% = 0,03)

O mais alto índice de perfilho produtivo (0,981) foi obtido no tratamento de solo com 8,0 mg Mn/dm³, significando que praticamente todo perfilho produziu panícula neste tratamento. Este, por sua vez, diferiu significativamente, ao nível de 1% de probabilidade, das aplicações de Mn via foliar, que apresentaram um índice menor e igual estatisticamente aos tratamentos de solo com 4,0 e 16,0 mg Mn/dm³.

O mais baixo índice de perfilho produtivo (0,856) foi observado no tratamento sem aplicação de Mn, e diferiu ao nível de 1% de significância das

pulverizações foliares com este nutriente; estando de acordo com os relatos de Campbell e Nable (1988) sobre o rendimento de muitos cereais, inclusive o arroz, notadamente quanto ao número de perfilhos quando a nutrição de manganês não for adequada.

A Figura 3.6 ilustra as relações, através da análise de regressão, entre as doses de manganês aplicadas ao solo e o índice de perfilho produtivo nas plantas de arroz testadas, já que a interação doses via solo x cultivar (DS x C) foi não significativa.

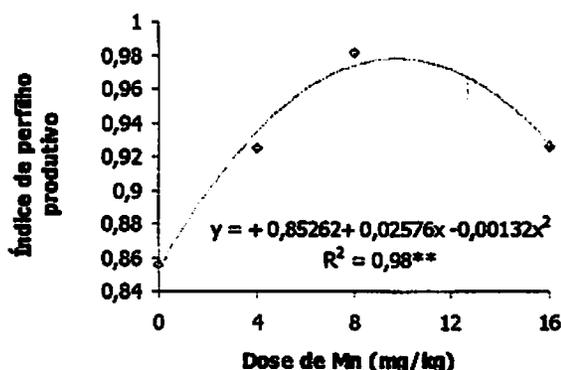


FIGURA 3.6 Relações entre as doses de manganês aplicadas ao solo e o índice de perfilho produtivo, nas plantas de arroz.

Fica evidente que com doses crescentes de manganês adicionadas ao solo, nas condições deste estudo, há um estímulo das plantas de arroz em produzirem perfilhos produtivos, que atingem um máximo (dose de 9,76 mg Mn/dm³) e depois tendem a diminuir a emissão de perfilhos produtivos; permanecendo obscura a questão que intriga cientistas como Campbell e Nable (1988) se o Mn tem efeito direto sobre a iniciação de perfilho ou se o seu efeito é mediado via assimilado disponível.

Longnecker, Graham e Card (1988) observaram, em cevada, que a deficiência de Mn prolonga o período de perfilhamento, mas o resultado é que a maioria são improdutivos.

A Tabela 3.14 traz o resumo da análise de variância para a porcentagem de grãos cheios nas cultivares de arroz testadas.

Para a variável avaliada porcentagem (%) de grãos cheios, houve diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade entre as cultivares, entre as adubações com manganês e no desdobramento das doses via solo.

Entre as cultivares, a Confiança (82,83 %) superou a Canastra (75,52 %) em grãos cheios, permanecendo a tendência verificada para as outras variáveis estudadas como nos teores foliares (N, Ca, Fe e Mn) e na relação panícula/perfilho, em que a cultivar Confiança teve sempre seus valores médios superiores aos da Canastra.

TABELA 3.14 Resumo da análise de variância para a porcentagem de grãos cheios das cultivares Canastra e Confiança.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Cultivar (C)	1	534,203660	135,659953**
Adubação Mn (A)	(4)	144,165759	36,610607**
Doses Mn solo (DS)	3	186,144369	47,270991**
Foliar vs DS	1	18,229927	4,629454*
C x A	(4)	13,633743	3,462262*
DS x C	3	16,477656	4,184468*
(Foliar vs DS) x C	1	5,102003	1,295643ns
Resíduo	30	3,937814	---
Média	79,18		
C. V. (%)	2,51		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade e ns não significativo.

Significativa a 5% foi a interação cultivar x adubação (C x A) de Mn, assim como o seu desdobramento de doses crescentes aplicadas ao solo, onde as cultivares testadas tiveram comportamento diferenciado expressado através da porcentagem de grãos cheios. Já o desdobramento complementar da interação foi não significativo.

Igualmente significativo a 5% foi o desdobramento complementar das adubações com Mn. As plantas que receberam aplicações via foliar apresentaram maior porcentagem de grãos cheios (80,60%) quando comparadas com a média das aplicações via solo (78,82%), sendo significativo ao nível de 5% de probabilidade.

A aplicação foliar de Mn em dose única no final do estágio de perfilhamento provocou aumentos de 10% na produção de aveia, resultado que Karamanos, Kruger e Henry (1984) atribuíram também ao aumento do número de grãos pela maior disponibilidade de fotoassimilados com a recuperação da cor verde das folhas após a aplicação de Mn.

As médias da porcentagem de grãos cheios nos tratamentos realizados neste estudo são mostradas na Tabela 3.15, comparadas através do teste de Dunnett.

A aplicação de Mn via pulverizações foliares em ambas as cultivares, embora apresente-se, em termos de valores absolutos, com porcentagem de grãos cheios superiores aos dos tratamentos de solo com 4,0 e 16,0 mg Mn/dm³, não diferiu estatisticamente destes.

No tratamento via solo com 8,0 mg Mn/dm³ é que se obteve a maior % de grãos cheios para ambas as cultivares, sendo que, na cultivar Canastra, o nível de significância foi maior (1%) que na cultivar Confiança (5%). Já as mais baixas porcentagens de grãos cheios ficaram por conta do tratamento sem aplicação de Mn, sendo que a cultivar Canastra conservou o maior nível de significância (1%) na comparação com as aplicações foliares de Mn e ainda

apresentou o mais baixo valor absoluto de porcentagem de grãos cheios, demonstrando a clara tendência de maior sensibilidade a este nutriente.

TABELA 3.15 Valores da porcentagem de grãos cheios, comparados pelo teste de Dunnett entre as aplicações via foliar e as doses via solo de Mn^{+2} , nas cultivares de arroz Canastra e Confiança.

Adubações de manganês	Canastra	Confiança
	Porcentagem de grãos cheios (%)	
Aplic. Foliar 3x (4 g Mn/L)	77,72	83,49
Solo (0,0 mg Mn/dm ³)	67,70**	79,21*
Solo (4,0 mg Mn/dm ³)	74,28ns	82,48ns
Solo (8,0 mg Mn/dm ³)	82,52**	87,82*
Solo (16,0 mg Mn/dm ³)	75,40ns	81,16ns

*D.M.S. a 5% = 3,62; **D.M.S. a 1% = 4,56 e ns = não significativo.

A Figura 3.7 ilustra, através da representação gráfica e da equação de regressão, a porcentagem (%) de grãos cheios em função das doses de Mn aplicadas ao solo, para as cultivares Canastra e Confiança.

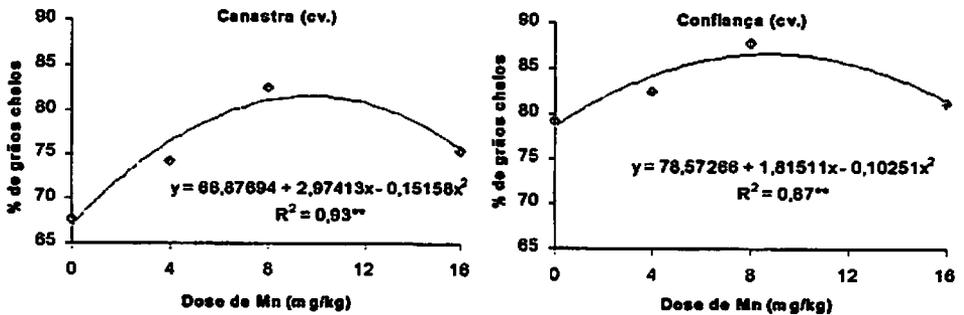


FIGURA 3.7 Relações entre as doses de manganês aplicadas ao solo e a porcentagem de grãos cheios, nas cultivares testadas.

O que fica evidente nas relações apresentadas na Figura 3.7 é que o efeito de doses crescentes de manganês aplicadas ao solo, neste estudo, influenciam sobremaneira a porcentagem de grãos cheios nas cultivares de arroz, estando de acordo com o observado em outros trabalhos desta natureza (Campbell e Nable, 1988), que em cereais o número de grãos por espiga ou panícula é, dos componentes de produção, um dos que mais contribuem para a menor produção das plantas, quando não há uma adequada nutrição em manganês.

A Tabela 3.16 apresenta o resumo da análise de variância para a produção total de grãos cheios das cultivares Canastra e Confiança.

TABELA 3.16 Resumo da análise de variância para a produção total de grãos cheios das cultivares Canastra e Confiança.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Cultivar (C)	1	14,531851	2,786582ns
Adubação Mn (A)	(4)	356,646999	68,389512**
Doses Mn solo (DS)	3	475,332300	91,148234**
Foliar vs DS	1	0,591095	0,113347ns
C x A	(4)	36,626876	7,023455**
DS x C	3	46,368852	8,891546**
(Foliar vs DS) x C	1	7,400947	1,419182ns
Resíduo	30	5,214937	—
Média	40,28		
C. V. (%)	5,67		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade e ns não significativo.

Chama a atenção o fato de não terem ocorrido diferenças significativas entre as cultivares testadas, principalmente devido à característica da cultivar Confiança de ser menos produtiva (tópico 2.3.2), o que de certa forma foi

mostrado no estudo de Atroch (1999), concluindo ser a cultivar Confiança instável quanto à produtividade de grãos.

A explicação para esta igualdade de produção total de grãos cheios entre as cultivares, neste estudo, prende-se ao fato de a cultivar Confiança apresentar, naqueles componentes da produção em que houve diferenças significativas (perfilho produtivo e % de grãos cheios), média superior à cultivar Canastra, o que aparentemente, faz da cultivar Confiança a de menor susceptibilidade à deficiência de manganês.

As causas da variação, adubação com Mn e a interação cultivar x adubação (C x A), assim como seus desdobramentos nas doses deste nutriente aplicadas ao solo, apresentaram diferenças estatisticamente significativas ao nível de 1% de probabilidade para produção total de grãos cheios, como também no comportamento diferenciado entre as cultivares testadas.

Já os desdobramentos complementares, tanto da adubação com Mn como da interação cultivar versus adubação, foram não significativos.

As médias obtidas através da pesagem em gramas da produção total dos grãos cheios das cultivares de arroz, em comparação pelo teste de Dunnett, para cada tratamento de solo, contra as aplicações foliares com o nutriente manganês, são apresentadas na Tabela 3.17

Observa-se que as maiores diferenças entre as aplicações foliares de Mn e as doses crescentes via solo, as quais influenciaram na produção total de grãos cheios, ocorreram na cultivar Canastra, sendo que no tratamento sem aplicação de Mn ao solo, o nível de significância foi de 1%, além de ser o menor valor absoluto encontrado na Tabela 3.17

Por conseguinte, os maiores valores em produção total de grãos cheios foram observados no tratamento via solo com $8,0 \text{ mg Mn/dm}^3$, respectivamente na cultivar Canastra e Confiança, nesta ordem, e diferiram ao nível de 1% das aplicações foliares.

O tratamento via solo com 4,0 mg Mn/dm³, na cultivar Canastra, produziu um valor menor, que diferiu significativamente (nível de 5%) do respectivo tratamento foliar, o mesmo não ocorreu na cultivar Confiança, em que não houve diferenças entre estes tratamentos. Assim como também não houve diferenças entre a dose máxima aplicada ao solo e as respectivas aplicações foliares em ambas as cultivares.

TABELA 3.17 Valores da produção total de grãos cheios, comparados pelo teste de Dunnett entre as aplicações via foliar e as doses via solo de Mn⁺², nas cultivares de arroz Canastra e Confiança.

Adubações de manganês	Canastra	Confiança
	Produção total de grãos cheios (g)	
Aplic. Foliar 3x (4 g Mn/L)	40,30	39,78
Solo (0,0 mg Mn/dm ³)	29,48**	35,56*
Solo (4,0 mg Mn/dm ³)	35,81*	41,29ns
Solo (8,0 mg Mn/dm ³)	52,51**	49,42**
Solo (16,0 mg Mn/dm ³)	40,31ns	38,38ns

*D.M.S. a 5% = 4,17; **D.M.S. a 1% = 5,25 e ns = não significativo.

Como o desdobramento da interação cultivar x adubação (C x A), para as doses crescentes de manganês aplicadas ao solo, foi significativa ao nível de 1% na produção total de grãos cheios das cultivares Canastra e Confiança, nas condições deste estudo, a Figura 3.8 vem apresentar estas relações através da análise de regressão.

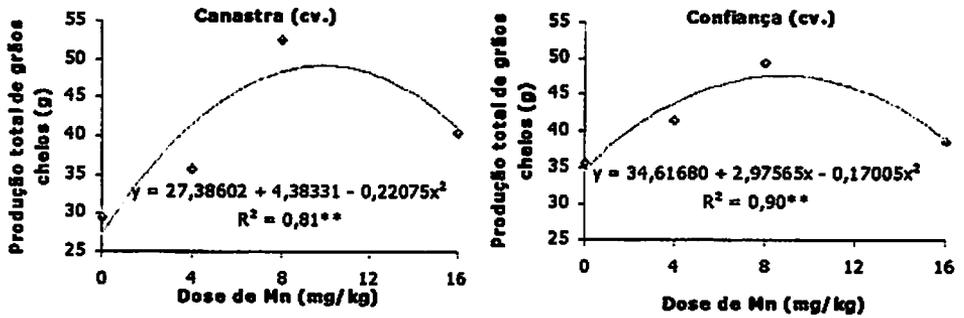


FIGURA 3.8 Relações entre doses de manganês aplicadas ao solo e a produção total de grãos cheios nas cultivares testadas.

As relações mostradas na Figura 3.8 concordam com as citações de Campbell e Nable (1988) sobre a sensibilidade de muitos cereais (inclusive o arroz) a níveis baixos e/ou altos de Mn^{+2} , que influenciam de modo significativo o rendimento produtivo destas plantas.

Observações desta natureza reforçam a idéia da diferença de susceptibilidade a Mn entre as cultivares testadas, muito embora os resultados não sejam tão expressivos, mas vêm de encontro aos relatos sobre variações intraespécies em culturas como: trigo, cevada, ervilha, aveia e soja (Reuter, Alston e McFarlane, 1988).

Quanto às variáveis matéria seca de parte aérea e raiz, apenas esta última foi influenciada pelos tratamentos, e a Tabela 3.18 traz o resumo da análise de variância para a mesma.

Diferenças significativas, ao nível de 1% de probabilidade, são observadas entre as cultivares, sendo que a cultivar Confiança apresentou maior peso médio (70,59 g) de matéria seca de raiz do que a cultivar Canastra (58,74 g).

Com igual nível de significância (1%), as causas da variação adubação com manganês e os seus desdobramentos, ou seja, doses crescentes aplicadas ao

solo e o da comparação entre os modos de aplicação via foliar contra via solo, influenciaram a variável peso seco de raiz.

TABELA 3.18 Resumo da análise de variância para matéria seca de raiz das cultivares Canastra e Confiança.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Cultivar (C)	1	1402,955426	129,140383**
Adubação Mn (A)	(4)	1053,721488	96,993813**
Doses Mn solo (DS)	3	1336,235493	122,998893**
Foliar vs DS	1	206,179473	18,978576**
C x A	(4)	22,104913	2,034731ns
DS x C	3	29,018937	2,671159ns
(Foliar vs DS) x C	1	1,362843	0,125448ns
Resíduo	30	10,863801	—
Média	64,66		
C. V. (%)	5,10		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade e ns não significativo.

No desdobramento de comparação entre os modos de aplicação, a média do peso seco de raiz das aplicações foliares foi maior (69,21 g) que a média das aplicações via solo (63,54 g). Resultado que chegou a ser surpreendente devido à baixa redistribuição de Mn via floema (Loneragan, 1988), mas até certo ponto explicável pelo fato de os mais baixos valores de peso seco de raiz serem obtidos com os tratamentos em que não se aplicou nenhum Mn ou mesmo a menor dose (4,0 mg/dm³), o que conseqüentemente forçou para baixo a média do modo de aplicação de Mn ao solo.

A interação cultivar x adubação (C x A), bem como os seus desdobramentos, foram não significativos.

A Tabela 3.19 mostra as médias do peso seco de raízes obtidas nos tratamentos deste estudo.

TABELA 3.19 Valores da matéria seca da raiz, comparados pelo teste de Dunnett, entre as aplicações via foliar e as doses via solo de Mn^{+2} , nas plantas de arroz.

Adubações de manganês	Planta de arroz
	Matéria seca da raiz (g)
Aplic. Foliar 3 x (4 g Mn/L)	69,21
Solo (0,0 mg Mn/dm ³)	51,66**
Solo (4,0 mg Mn/dm ³)	60,44**
Solo (8,0 mg Mn/dm ³)	81,94**
Solo (16,0 mg Mn/dm ³)	60,10**

**D.M.S. a 1% = 5,36 (*D.M.S. a 5% = 4,25)

Ressalta-se o fato de que todos os tratamentos com Mn aplicados ao solo diferiram significativamente, ao nível de 1% de probabilidade, das pulverizações foliares com este nutriente. Em três tratamentos de manganês aplicados ao solo (0,0; 4,0 e 16,0 mg/dm³), o peso médio da matéria seca da raiz foi menor do que o da aplicação via foliar que, por sua vez, foi superado pelo tratamento de solo com 8,0 mg Mn/dm³.

Como neste estudo, independentemente do crescimento da parte aérea, Nable e Loneragan (1984) demonstraram que o Mn teve alguma função específica no crescimento de raiz de trevo subterrâneo. As possíveis funções para o Mn no crescimento de raízes são creditados ao metabolismo da auxina, às



interações entre auxina e outros hormônios vegetais e a várias reações que levam à síntese de fenóis e lignina (Campbell e Nable, 1988).

A Figura 3.9, através da análise de regressão, mostra as relações entre as doses crescentes de manganês aplicadas ao solo e o peso, em gramas, da matéria seca da raiz das plantas de arroz testadas neste estudo, haja visto que a interação doses x cultivar (Ds x C) foi não significativa.

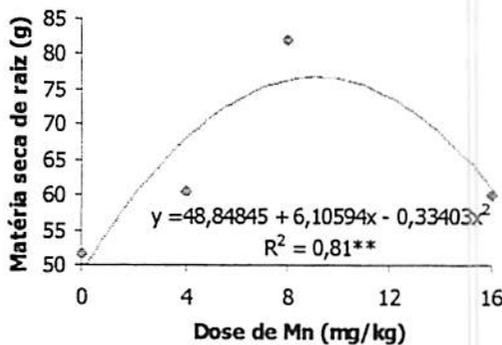


FIGURA 3.9 Relações entre as doses de manganês aplicadas ao solo e o peso da matéria seca da raiz, nas plantas de arroz testadas.

O que fica demonstrado nesta figura, e por extensão aos outros resultados verificados neste trabalho, é que no tratamento em que não se aplicou manganês obteve-se o pior desempenho das plantas de arroz com relação à variável em questão avaliada, e que na dose de 8,0 mg Mn/dm³ o desempenho esteve próximo de um ótimo desejável.

Os resultados deste trabalho vêm, de certa forma, apontar a maior responsividade da cultivar Canastra à deficiência de manganês e corroborar as observações de Reuter, Alston e McFarlane (1988) quanto às variações intraespécies; de Marschner (1988) no tocante às diferenças genéticas na

aquisição de Mn e principalmente de Campbell e Nable (1988) em relação à influência dos níveis baixos e/ou altos de Mn^{+2} sobre o rendimento de cereais.

4 CONCLUSÕES

A aplicação de manganês influenciou de maneira semelhante, entre cultivares, os teores de nitrogênio, cálcio, ferro e manganês na parte aérea das cultivares de arroz de sequeiro testadas;

A cultivar Confiança apresentou, dentre os componentes de produção, maior número de perfilho produtivo e porcentagem de grãos cheios que a cultivar Canastra.

Independentemente de não terem ocorrido diferenças na matéria seca da palha na parte aérea, elas ocorreram para a matéria seca da raiz, e a cultivar Confiança superou a Canastra em mais esta variável avaliada;

Há diferença, embora não muito acentuada, entre as cultivares testadas no tocante à susceptibilidade à deficiência de manganês, sendo que a cultivar Canastra se mostrou mais sensível e mais responsiva quando da aplicação da dose mais adequada encontrada neste estudo que foi de 8 mg Mn/dm^3 de solo, a qual propiciou os maiores valores das variáveis estudadas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATROCH, A. L. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de arroz de sequeiro avaliadas em Minas Gerais no período de 1993/94 a 1995/96. Lavras: UFLA, 1999. 67p. (Tese – Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. Experimentação agrícola. Jaboticabal:UNESP, 1992. 247 p.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K. Ocorrência, diagnose e correção da deficiência de zinco na cultura de arroz de sequeiro. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1980. 18p. (Circular Técnica, 4).
- BERTONI, J. C.; HOLANDA, F.S.R.; CARVALHO, J.G.; PAULA, M.B.; ASSIS, M.P. Efeito do cobre na nutrição e crescimento do arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado em solos de várzea sob inundação – teores e acúmulo de nutrientes. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.23, n.3, p.547-559, jul./set. 1999.
- BOWEN, J. E. Absorption of copper, zinc and manganese by sugarcane leaf tissue. *Plant Physiology*, v.44, p. 255-261, 1969.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas :IAC, 1986. 94 p.
- CAMPBELL, L. C.; NABLE R. O. Physiological Functions of Manganese in plants In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N.C.(eds.). *Manganese in soils and plants*. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 10 p 139-154.
- CLARKSON, D. T. The Uptake and translocation of Manganese by Plant Roots. In: GRAHAM R. D.; HANNAM R. J.; UREN N. C. (eds.). *Manganese in soils and plants*. Netherlands: Kluwer Academic,1988. Cap. 7, p 101-111.
- DUARTE, A. P.; VOLTAN, R. B. Q.; FURLANI, P. R. Amarelecimento do arroz-de-sequeiro sob condições de encharcamento em solo de baixa fertilidade. *Bragantia*, Campinas,v.52, n.2, p. 139-152, 1993.

- DYNIA, J. F.; MORAES, J. F. V. Calagem, adubação com micronutrientes e produção de arroz irrigado e feijoeiro em solo de várzea. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n.6, p. 831-838, jun. 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos e análises de solos*. Rio de Janeiro, 1979. 79p.
- FAGERIA, N.K.; FERREIRA, E.; PRABHU, A.S.; BARBOSA FILHO, M.P.; FILIPPI, M.C. *Seja doutor do seu arroz*. Piracicaba: Potafos, 1995. 20p. (Arquivo do Agrônomo, 9).
- FERGUSON, I. B.; CLARKSON, D. T. Ion transport and endodermal suberization in the roots of *Zea mays*. *New Phytology*, v.75, p. 69-79, 1975.
- GRAHAM, R.D.; DAVIES, W.J.; ASCHER, J.S. The critical concentration of manganese in field-grown wheat. *Australian Journal Agricultural Research*, v. 36, p.145-155, 1985.
- ISHIZUKA, Y. Physiology of the rice plant. *Advance in Agronomy*, New York, v.23, p.241-315, 1971.
- KARAMANOS, R. E.; KRUGER, G. A.; HENRY, J. L. Evaluation of plant tissue criteria for predicting manganese deficiency in oats. *Canadian Journal Plant Science*, v. 64, p. 863-868, 1984.
- LONERAGAN, J. F. Distribution and movement of Manganese in plants In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N.C. (eds.). *Manganese in soils and plants*. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 8, p 113-124.
- LONGNECKER, N. E.; GRAHAM, R. D.; CARD, G. The effect of manganese deficiency on growth and development of barley (*Hordeum vulgare*, L.). *Aust. Soc. Plant Physiol. Annual Meeting*, v.28, p.85-102, Adelaide, May 1988.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. rev. e atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

- MARSCHNER, H. Mechanisms of Manganese acquisition by roots from soils.
In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (eds.). *Manganese in soils and plants*. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 13, p. 191-204.
- NABLE, R. O.; LONERAGAN, J. F. Translocation of manganese in subterranean clover (*Trifolium subterraneum L. cv. Seaton Park*) II. Effects of leaf senescence and of restricting supply to part of a split root system. *Australian Journal Plant Physiology*, v. 11, p. 113-118, 1984.
- NEVES, J. C. L. *Micronutrientes*. Brasília: ABEAS, 1994. 26p. (Curso de Fertilidade e Manejo do Solo).
- PONNAMPERUMA, F. N.; LANTIN, R. S. Diagnoses and amelioration of nutritional disorders of rice. Los Baños: IRRI, 1985. 20 p.
- REUTER, D. J.; ALSTON, A. M.; MCFARLANE, J.D. Occurrence and Correction of Manganese Deficiency in Plants. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (eds.). *Manganese in soils and plants*. Netherlands: Kluwer Academic, 1988. Cap. 14, p. 205-218.
- SALVADOR, J. O.; MURAOKA, T.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Comportamento de mudas de goiabeira sob estresse de manganês. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, Caxambu, 1998. Resumos...Lavras: UFLA/SBCS/SBM, 1998. p.768.
- SOARES, A.A.; VIEIRA, R.V.; SOUZA, A.F.de. et al. Canastra e Confiança: arroz agulhinha para plantio em condições de sequeiro e sob pivô central. [Lavras]: EPAMIG/UFLA/EMBRAPA/UFV, [1999]. 6p. (Folder).
- TANAKA, A.; YOSHIDA, S. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. Los Baños, International Rice Research Institute, 1970. 51p. (Technical bulletin, 10).
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A. Manual do SANEST: sistema de análise estatística para microcomputadores. Pelotas: UFPel, 1991. 102 p.

ANEXO

Anexo A

	Página
TABELA 1A. Resumo da análise de variância para o extrator Mehlich I.....	106
TABELA 2A. Resumo da análise de variância para o extrator HCl 0,1mol L ⁻¹	106
TABELA 3A. Resumo da análise de variância para o extrator Mehlich III.....	106
TABELA 4A. Resumo da análise de variância para o extrator DTPA.....	107
TABELA 5A. Resumo da análise de variância para o extrator Resina.....	107
FIGURA 1A. Vista parcial do experimento mostrando sistema proposto para se evitar compactação pela água de irrigação.....	108
FIGURA 2A. Vista geral de todo o experimento mostrando desenvolvimento das cultivares de arroz aos 27 dias de idade (Estádio E-2, perfilhamento).....	108
FIGURA 3A. Aspecto geral da cultivar Canastra aos 65 dias de idade logo após início dos sintomas visuais de deficiência de manganês, tratamentos via solo.....	109
FIGURA 4A. Detalhes das folhas de arroz (cv. Canastra) aos 65 dias de idade. As duas primeiras à esquerda cultivadas em vaso sem aplicação de Mn ao solo, seguida pelo tratamento com 4,0 mg/dm ³ e a da direita em solo que foi adubado com 8,0 mg/dm ³	109
FIGURA 5A. Aspecto geral da cultivar Confiança aos 65 dias de idade logo após início dos sintomas visuais de deficiência de manganês, tratamentos via solo.....	110

FIGURA 6A. Detalhes das folhas de arroz (cv. Confiança) aos 65 dias de idade. A primeira à esquerda cultivada em vaso com adição de 4,0 mg Mn/dm³, seguida pelo tratamento sem aplicação de Mn ao solo e a folha da direita cultivada em solo que foi adubado com 8,0 mg/dm³.....	110
FIGURA 7A. Aspecto geral aos 65 dias de idade dos tratamentos em que não se aplicou manganês ao solo, à esquerda cultivar Confiança à direita cultivar Canastra.....	111
FIGURA 8A. Detalhes das folhas de arroz aos 65 dias de idade, tratamentos sem adubação com manganês, à esquerda cv. Confiança à direita cv. Canastra.....	111

TABELA 1A. Resumo da análise de variância para o extrator Mehlich I.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Manganês	3	5,329184	74,2794**
Resíduo	12	0,071745	
Média	5,04		
C. V. (%)	5,31		

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 2A. Resumo da análise de variância para o extrator HCl 0,1mol L⁻¹.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Manganês	3	6,283854	7,6751**
Resíduo	12	0,818734	
Média	10,15		
C. V. (%)	8,92		

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 3A. Resumo da análise de variância para o extrator Mehlich III.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Manganês	3	19,814973	103,4100**
Resíduo	12	0,191616	
Média	5,18		
C. V. (%)	8,45		

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 4A. Resumo da análise de variância para o extrator DTPA.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Manganês	3	22,862301	55,6206**
Resíduo	12	0,411040	
Média	6,36		
C. V. (%)	10,09		

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade

TABELA 5A. Resumo da análise de variância para o extrator Resina.

Causas da variação	G. L.	Q. M.	F.
Manganês	3	0,462300	11,2710**
Resíduo	12	0,041017	
Média	0,74		
C. V. (%)	27,28		

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade



FIGURA 1A. Vista parcial do experimento mostrando sistema proposto para se evitar compactação pela água de irrigação.



FIGURA 2A. Vista geral de todo o experimento mostrando desenvolvimento das cultivares de arroz aos 27 dias de idade (Estádio E-2, perfilhamento).

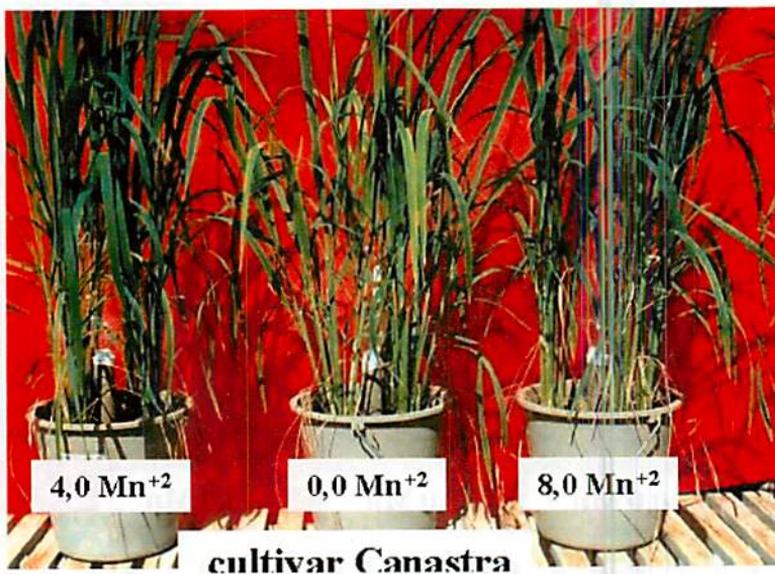


FIGURA 3A. Aspecto geral da cultivar Canastra aos 65 dias de idade logo após início dos sintomas visuais de deficiência de manganês, tratamentos via solo.



FIGURA 4A. Detalhes das folhas de arroz (cv. Canastra) aos 65 dias de idade. As duas primeiras à esquerda cultivadas em vaso sem aplicação de Mn ao solo, seguida pelo tratamento com $4,0 \text{ mg/dm}^3$ e a da direita em solo que foi adubado com $8,0 \text{ mg/dm}^3$

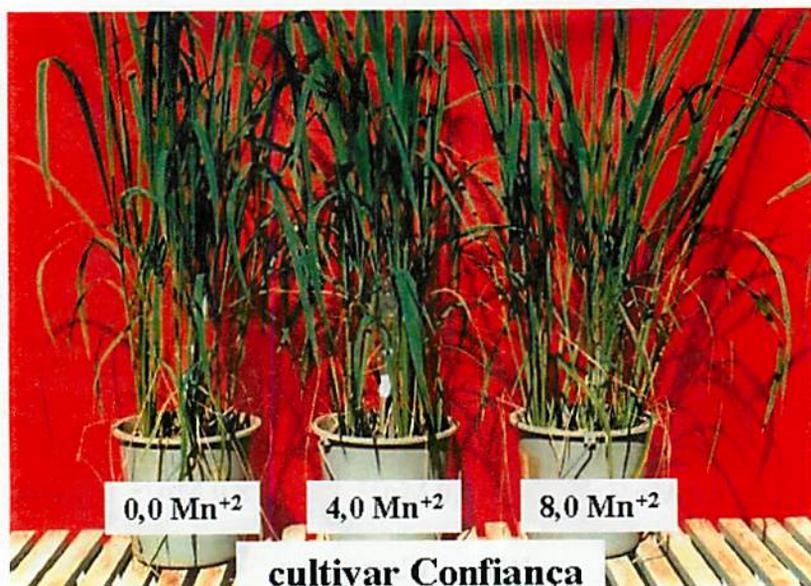


FIGURA 5A. Aspecto geral da cultivar Confiança aos 65 dias de idade logo após início dos sintomas visuais de deficiência de manganês, tratamentos via solo.

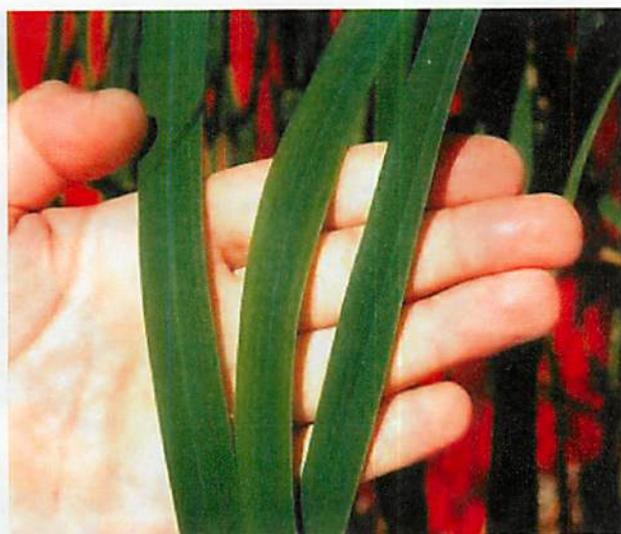


FIGURA 6A. Detalhes das folhas de arroz (cv. Confiança) aos 65 dias de idade. A primeira à esquerda cultivada em vaso com adição de 4,0 mg Mn/dm³, seguida pelo tratamento sem aplicação de Mn ao solo e a folha da direita cultivada em solo que foi adubado com 8,0 mg/dm³.

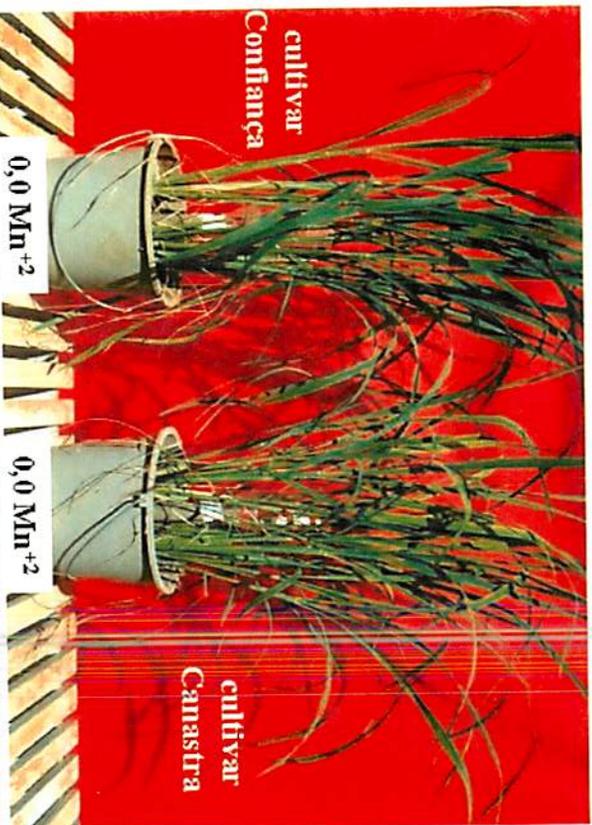


FIGURA 7A. Aspecto geral aos 65 dias de idade dos tratamentos em que não se aplicou mangarês ao solo, à esquerda cultivar Confiança à direita cultivar Canastra.

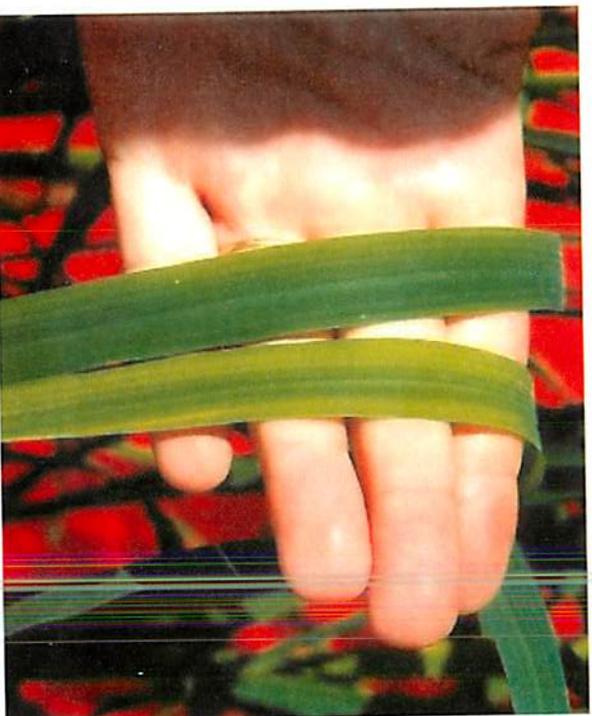


FIGURA 8A. Detalhes das folhas de arroz aos 65 dias de idade, tratamentos sem adubação com mangarês, à esquerda cv. Confiança à direita cv. Canastra.