

ESTUDOS SOBRE A NUTRIÇÃO MINERAL DO ARROZ.
XVIII - EFEITO DAS DEFICIÊNCIAS DE MACRO E MICRONUTRIENTES
E DA TOXIDEZ DE ALUMÍNIO, CLORO E MANGANÊS
NA MORFOLOGIA, CRESCIMENTO, PRODUÇÃO
E COMPOSIÇÃO MINERAL DAS VARIEDADES IAC-164
E IAC-165 CULTIVADAS EM SOLUÇÃO
NUTRITIVA *

E. MALAVOLTA **, E.A. PAULETO ***,
J.H. CAMPELLO Jr. ***,
J.R. FREITAS ***,
L.F. CAVALCANTI ***, M.L. LIVA ***,
M.F. FIORE ***, O. PRIMAVESI ***,
S.M. FONSECA ***, C.P. CABRAL ****.

RESUMO

O arroz das variedades IAC-164 e IAC 165, foi cultivado em solução nutritiva (Hoagland nº 2) completa, com deficiência de N, P, K, Ca, Mg, S, B,

* Entregue para publicação em 23/12/1982.
Com ajuda da FAPESP, CNEN e CNPq.

** Departamento de Química, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

*** Estudantes de Pós-Graduação.

**** Aux. de Laboratório, CENA/USP.

Cu e Zn e com excesso de Al, Cl e Mn. Foram observados sintomas associados aos desequilíbrios nutricionais provocados pelos tratamentos. A produção de matéria seca na var. IAC-164 foi afetada pelos tratamentos na seguinte ordem: -N, -K, -P, -Mg, -B, -Ca = -Zn, -S e -Cu; no caso da var. IAC-165 observou-se: -B, -N, -P, -K, -Mg, -Ca, -S e -Zn. Não houve produção de grãos nos tratamentos -Ca e -B. Os excessos Al, Cl e Mn afetaram significativamente a produção de matéria seca, sendo o efeito prejudicial do Mn maior que o do Al. A variedade IAC-164 foi mais afetada pela toxidez de Al e Cl. Consideram-se adequados os seguintes teores, encontrados na lâmina das folhas medianas por ocasião do perfilhamento pleno, respectivamente para as variedades IAC-164 e IAC-165: N -2,32 e 2,70%; P -0,28 e 0,49; K -2,83 e 4,21; Ca -0,94 e 0,94; Mg -0,93 e 0,88; S -0,13 e 0,16%.

INTRODUÇÃO

Generalidades

A diagnose visual é um dos métodos mais simples e diretos para se avaliar o estado nutricional de uma cultura qualquer e, até certo ponto, para se estimar a necessidade de adubos (MALAVOLTA, 1981, págs. 441-7).

Está baseada no princípio de que um dado elemento exerce sempre as mesmas funções em todas as espécies de plantas. Consequentemente, sua falta ou excesso provoca eventualmente a mesma anormalidade visível o que

permite o diagnóstico desde que o padrão da deficiência ou excesso seja conhecido.

A anormalidade visível representa o final de uma série de eventos:

lesão molecular → modificação → alteração → modificação
subcelular celular no tecido

Embora exista, por definição, um denominador comum para a deficiência ou para o excesso de um dado elemento - sem o que a diagnose visual não seria viável - pode haver semelhança entre os sintomas, particularmente nos casos de falta aguda ou toxidez.

Nesses casos pode-se recorrer à análise de folha (ou de outro órgão adequado) para se fazer o diagnóstico do estado nutricional: aqui também entretanto, é necessário conhecer-se a composição mineral de plantas "padrão" para se fazer a comparação com a da "amostra".

REVISÃO DE LITERATURA

A avaliação do estado nutricional do arroz pela diagnose visual e pela diagnose foliar e o efeito de deficiências e excessos minerais no crescimento e produção do arroz foram discutidas, entre outros por: ANÔNIMO (1964), FAGERIA (1976), KARIM & VLAMIS (1962), MALAVOLTA (1979), MEDEIROS (1980), MURAYAMA (1965), TANAKA & YOSHIDA (1970).

Objetivos

No presente trabalho procurou-se estudar:

- (1) o efeito da omissão de macronutrientes e de alguns micronutrientes e do excesso de Al, Cl e

Mn no crescimento e produção de duas variedades de arroz desenvolvidas pelo Instituto Agrônomo de Campinas, S. Paulo;

- (2) a influência das deficiências e excessos minerais no aspecto e na composição mineral das plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

Cultivares e preparo das mudas

Sementes de dois cultivares de arroz, IAC-164 e IAC-165, foram desinfectados em solução de "Q-Boa" a 10% durante cinco minutos; depois foram lavados em água destilada e colocados em bandejas rasas de plástico com vermiculita. As sementes, distribuídas uniformemente, receberam uma camada de 1 cm de espessura de vermiculita e foram umedecidas com uma solução de sulfato de cálcio 10^{-4} molar em 25.01.82. Posteriormente, essas bandejas foram cobertas com plástico transparente até iniciar a germinação, que se deu em 01.02.82. Em 04.02.82 a germinação estava completada, quando então as plantas foram levadas para casa de vegetação.

Quando as plantinhas alcançaram 5 a 10 cm de altura, foram transplantadas para as bandejas de 30 litros de capacidade, contendo a solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950) diluída 1 + 5, com arejamento contínuo. Esse transplante foi efetuado em 15.02.82.

A partir de 02.03.82, as mudas foram transferidas para vasos com capacidade de 1,0 litro, contendo a mesma solução referida, e após 2 a 3 semanas estavam prontas para o início do tratamento. Cada vaso continha duas mudas de arroz, fixadas na região do colo com ajuda de espuma plástica.

Instalação e condução

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação localizada no Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA, em Piracicaba (SP), e em 16.03.82, iniciaram-se os tratamentos. As plantas permaneceram nesses vasos durante todo o transcorrer do experimento, sendo periodicamente renovada a solução nutritiva.

As plantas receberam arejamento constantemente, através de arejador constituído de tubo de vidro com 0,5 cm de diâmetro com um capilar central de 0,5 mm de diâmetro enfiado em tubo de plástico e ligado à tubulação de ar comprimido através de Kitasato. Diariamente era restituída a água perdida em cada vaso, completando-se com água destilada, e a cada duas semanas renovadas a solução nutritiva.

Em algumas ocasiões se verificou a presença de ácaro rajado (*Tetranychus urticae*), que foi controlado com aplicações de Metasistox em pulverizações, na base de 2 ml do produto/l de água. Somente o tratamento "menos P" não foi pulverizado, sendo o pulgão controlado manualmente.

Soluções utilizadas

A composição detalhada da solução completa e das soluções com deficiências de macronutrientes (N, P, Ca, Mg e S), de alguns micronutrientes (B, Cu, Zn) e excessos de cloro, manganês e alumínio está contida nas Tabelas 1 e 2.

Em 16/03/82 nos tratamentos -Ca, -Mg e -B modificou-se a solução nutritiva, omitindo-se totalmente aqueles elementos (nitrato de cálcio, sulfato de magnésio e ácido bórico), induzindo assim, até o final do ciclo a deficiência dos referidos elementos.

Tabela 1 - Composição das soluções nutritivas (ml/l) - deficiência de macronutrientes

Solução estoque	Completa	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S
NH ₄ H ₂ PO ₄ M (115 g/l)	1	0,1	0,1	1	1	1	1
KN ₃ M (101 g/l)	6	0,6	6	0,6	6	6	5
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O M (236 g/l)	4	0,4	3	4	0,4	4	3
MgSO ₄ · 7H ₂ O M (246 g/l)	2	2	2	2	2	0,1	0
K ₂ SO ₄ 0,5 M (87 g/l)	0	3	0	0	0	1	0
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O 0,05 M (12,6 g/l)	0	10	0	0	0	0	0
CaSO ₄ · 2H ₂ O 0,01 M (1,7 g/l)	0	200	0	0	0	0	0
Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O M (256 g/l)	0	0	0	0	0	0	2
NH ₄ NO ₃ M (80 g/l)	0	0	1	3	4	0	0
Solução a (1)	1	1	1	1	1	1	1
Solução Fe-EDTA (2)	1	1	1	1	1	1	1

(1) Dissolver e completar a 1 litro: 2,86 g H₃BO₃; 1,81 g MnCl₂; 0,22 g ZnSO₄·7H₂O; 0,08 g CuSO₄ · 5H₂O; 0,02 g H₂MoO₄ · H₂O.

(2) Em 700 ml H₂O destilada dissolver: 26,1 g EDTA (ou quantidade correspondente do sal sódico do ácido etileno diaminotetraacético), 268 ml NaOH N (40 g/l) e 24,9 g FeSO₄ · 7H₂O; arejar uma noite protegendo da luz; completar a 1 litro; frasco escuro; e geladeira.

Tabela 2 - Composição das soluções nutritivas, ml/l de solução de trabalho - deficiências de micronutrientes e excessos de Cl, Mn e Al.

Solução estoque	-B	-Cu	-Zn	+Cl	+Mn	+Al
NH ₄ H ₂ PO ₄ M	1	1	1	1	1	0,1
KNO ₃ M	6	6	6	6	6	6
Ca(NO ₃) ₂ M	4	4	4	4	4	4
MgSO ₄ M	2	2	2	2	2	2
Solução a	0	0	0	1	1	1
Solução Fe-EDTA	1	1	1	1	1	1
2,86 g H ₃ B ₃ O ₃ /l	0,1	1	1	0	0	0
1,81 g MnCl ₂ · 4H ₂ O/l	1	1	1	0	49	0
0,22 g ZnSO ₄ · 7H ₂ O/l	1	1	0	0	0	0
0,08 g CuSO ₄ · 5H ₂ O/l	1	0	1	0	0	0
0,02 g H ₂ MoO ₄ · H ₂ O/l	1	1	1	0	0	0
NaCl M	0	0	0	50	0	0
21,42 g AlCl ₃ · 6H ₂ O/l	0	0	0	0	0	10

Colheitas e análises

No estágio de perfilhamento foram colhidas as repetições dos tratamentos completo, deficiência de N, deficiência de P e deficiência de K, foram reservadas para essa finalidade. Depois de colocadas em sacos de papel devidamente etiquetados, foram levadas à estufa para serem secadas a 70-80°C até peso constante, após o que foi determinada a matéria seca.

Quando se verificam sintomas bem acentuados de carência de N, P e K, algumas plantas foram levadas para laboratório a fim de que fossem realizados os testes rápidos. Foram utilizadas as folhas medianas de cada planta, de acordo com MALAVOLTA (1982).

Quando as plantas demonstraram acentuados sintomas de carência de N, P e K, o que se deu em 15.06.82, foram levadas para laboratório e colhidas. Foram separadas raízes, caule, folhas e panículas. As raízes foram lavadas por três vezes em água destilada, e após se retirar toda a água possível com folhas de papel toalha, foram colocadas em sacos de papel e levadas para secar em estufa a 70-80°C até peso constante, junto com os demais sacos de papel contendo cada um as outras partes da planta.

Determinou-se o peso da matéria seca para cada parte da planta do tratamento completo, e se fez a análise mineral.

Nas folhas das plantas dos demais tratamentos foram efetuadas as análises indicadas na Tabela 3.

Métodos analíticos

Os métodos analíticos que foram utilizados na determinação de minerais nas diferentes partes das plantas das cultivares IAC-164 e IAC-165 constam da Tabela 3.

Tabela 3 - Métodos analíticos empregados

Mineral	Método
N	Semi-micro Kjeldahl
P	Colorimetria do metavanadato (em extrato nítrico perclórico)
K	Fotometria de chama (em extrato nítrico perclórico)
Ca, Mg, Cu, Fe Mn, Zn, Al	Espectrofotômetro absorção atômica (em extrato nítrico perclórico)
B	Colorimetria de curcumina (nas cinzas)
Mo	Colorimetria do tiocianato (nas cinzas)
Cl	Titulometria com nitrato de prata (extrato aquoso)
S	Espectrofotometria diferencial de absorção atômica (extrato nítrico perclórico).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sintomas

As plantas com deficiência de **nitrogênio** mostraram coloração amarelada, com crescimento reduzido e perfilhos pequenos.

Como o nitrogênio é elemento móvel, as folhas mais baixas apresentaram efeito mais intenso da deficiência. As folhas mais velhas tornaram-se de um verde relativamente mais claro que progrediu para um amarelo intenso. A lâmina das folhas mais baixas começou então a morrer, a partir da ponta posterior em direção à base da folha, ficando o tecido morto com coloração marrom chocolate.

O suprimento diminuto de **fósforo** através da solução nutritiva causou atrofiamento nas plantas e reduziu o perfilhamento. Os sintomas da deficiência apareceram nas folhas mais velhas, que apresentam coloração bronze nas pontas. As pontas das folhas tornaram-se amarelo - alaranjado, logo após amarelo claro e depois murcharam e morreram completamente. As folhas mais novas apresentaram-se, na ocasião, com um verde mais escuro que as plantas do tratamento completo.

A **deficiência de potássio** resultou no atrofiamento das plantas durante o crescimento vegetativo. Os sintomas apareceram primeiro como clorose nas pontas das folhas mais velhas, progredindo através das margens, a pequena distância da ponta. Na medida em que a deficiência avançou, o tecido se tornou marrom e necrótico na ponta e margem da folha, em especial na sua metade superior. O tecido morreu e as margens enrolaram-se para cima. O tratamento completo se mostrava numa tonalidade verde escuro e as folhas mais eretas. As raízes mostravam-se mais grossas e as folhas mais quebradas em comparação ao tratamento completo.

As folhas terminais das plantas **deficientes em Ca** morreram causando severo atrofiamento das plantas por causa do terminal morto. A panícula se apresentou ao

final do ciclo sem produção de grãos em ambas as variedades estudadas. À medida em que a deficiência persistiu, as folhas mais velhas desenvolveram uma necrose marrom avermelhada nas nervuras. As folhas mais novas apresentavam uma necrose marrom próximo das pontas. O crescimento da raiz foi muito diminuído.

As folhas mais velhas deficientes em Mg desenvolveram necrose internervural, com aparência da ferrugem. A necrose internervural marrom avermelhada apareceu nas pontas e margens das folhas. Os sintomas progrediram pela planta acima, nas folhas mais novas. Posteriormente, as plantas se enrolaram fortemente para dentro, fazendo com que a planta parecesse fortemente afetada pela seca.

Os sintomas de **carência de enxofre** assemelharam-se pouco aos de carência de nitrogênio. As folhas mais jovens tornaram-se amarelo-esverdeadas.

Já aos 60 dias após a germinação os sintomas de **deficiência de boro** estavam presentes nas duas culturas.

O tamanho da planta foi muito reduzido. As pontas das folhas emergentes mostraram faixas brancas tanto longitudinais (com ou sem fendilhamento) e transversais e enrolaram-se como no caso da deficiência de cálcio.

As folhas deficientes em Cu apareceram azuis - esverdeadas e tornaram-se cloróticas junto das pontas. A clorose desenvolveu-se para baixo ao longo de ambos os lados da nervura principal. As plantas do cultivar IAC-165 apresentaram sintomas mais precocemente do que as plantas da cultivar IAC 164.

O primeiro sintoma de **falta de Zn** foi a clorose verde esbranquiçada, que se desenvolveu no tecido na parte superior da folha, de cada lado da nervura central e se estendeu até a metade, em direção à ponta. À medida em que a folha tornou-se mais velha, o tecido clorótico adquiriu coloração ferrugem, que se estendeu da base até a

metade da lâmina, ficando a metade superior normal. As margens da folha ficaram geralmente verdes na zona da cor de ferrugem. Posteriormente, as plantas com deficiência de zinco mostraram marcante coloração marrom-ferrugem no tecido de cada lado da nervura das folhas adultas. Seu crescimento foi atrofiado pela deficiência, e já aos 90 dias após o início da germinação as plantas do cultivar IAC 165 demonstravam este sintoma, enquanto que as da IAC-164, só foram acusa-lo mais tarde.

As folhas adultas das plantas com **excesso de Al** desenvolveram cor internerval esbranquiçada na metade superior, que logo mudou para marrom-ferrugem. Na medida em que a toxidez se intensificou, o tecido afetado morreu. O desenvolvimento da planta foi atrofiado, tanto na parte aérea quanto na raiz. Houve influência maior nas folhas mais velhas, que morreram a partir da ponta.

A **toxidez de Cl** provocou clorose e necrose das folhas e nítida queda da produção. Os primeiros sintomas, para as duas cultivares, apareceram aos 70-75 dias após o início da germinação e aos 90 dias as plantas se mostravam bastante debilitadas.

Os primeiros sintomas de **toxidez de Mn** surgiram em ambas as cultivares aos 60-65 dias após a germinação. O excesso de manganês traduziu-se em um ressecamento rápido das folhas, da extremidade até a sua base, e um branqueamento. A produção foi nula porque as plantas morreram antes de emitirem panícula.

Na 17ª. semana após a germinação, todas as plantas exibiam panículas, com exceção do tratamento "mais Mn", que fora colhido prematuramente devido aos efeitos drásticos da toxidez, e do tratamento "menos B", para os dois cultivares em estudo. Ao final do ciclo, os tratamentos "menos B" e "menos Ca" não produziram grãos, como era de se esperar, pois a falta desses nutrientes provocou completo chochamento.

Crescimento e produção de grãos

As Figuras 1, 2 e 3 demonstram que desde o início do ciclo até 106 dias após a germinação as plantas submetidas ao tratamento completo se mostraram diferentes, ou seja, o cultivar IAC 164 sempre apresentou maior número de folhas em relação ao IAC 165. Após os 106 dias, os dois cultivares permaneceram com o mesmo número de folhas até a época de colheita (média de 13,5 folhas/planta).

Pela Figura 1 nota-se que o tratamento "menos B" provocou um desenvolvimento foliar menor que o tratamento completo até por volta dos 90-99 dias, quando então, para ambos os cultivares, suplantou, neste aspecto, o tratamento completo, devido ao grande número de perfilhos que surgiram, em detrimento da produção de grãos, que foi nula. O que se conclui é que as plantas sob deficiência de boro em lugar de produzirem grãos, converteram suas energias para a produção de perfilhos e folhagem, em consequência da cessação da dominância apical.

Quanto aos outros micronutrientes apontados na Figura 1 (cobre e zinco), suas deficiências causaram diminuição acentuada das folhas em relação ao tratamento completo.

Analisando-se a Figura 2, nota-se que houve diferença entre os cultivares, no que diz respeito ao número de folhas para o tratamento "menos Cálcio", demonstrando que a deficiência desse nutriente provocou no cultivar IAC 164 certa inibição no perfilhamento, enquanto que o outro cultivar IAC 165, perfilhou bastante, superando, inclusive o tratamento completo.

Para o tratamento "menos Mg" houve uma tendência, ao final do ciclo, do cultivar IAC 165 perfilhar mais que o IAC 164; daí possuir número mais elevado de folhas.

Quanto ao tratamento "menos S", os cultivares se comportaram de forma parecida, ou seja, praticamente pro

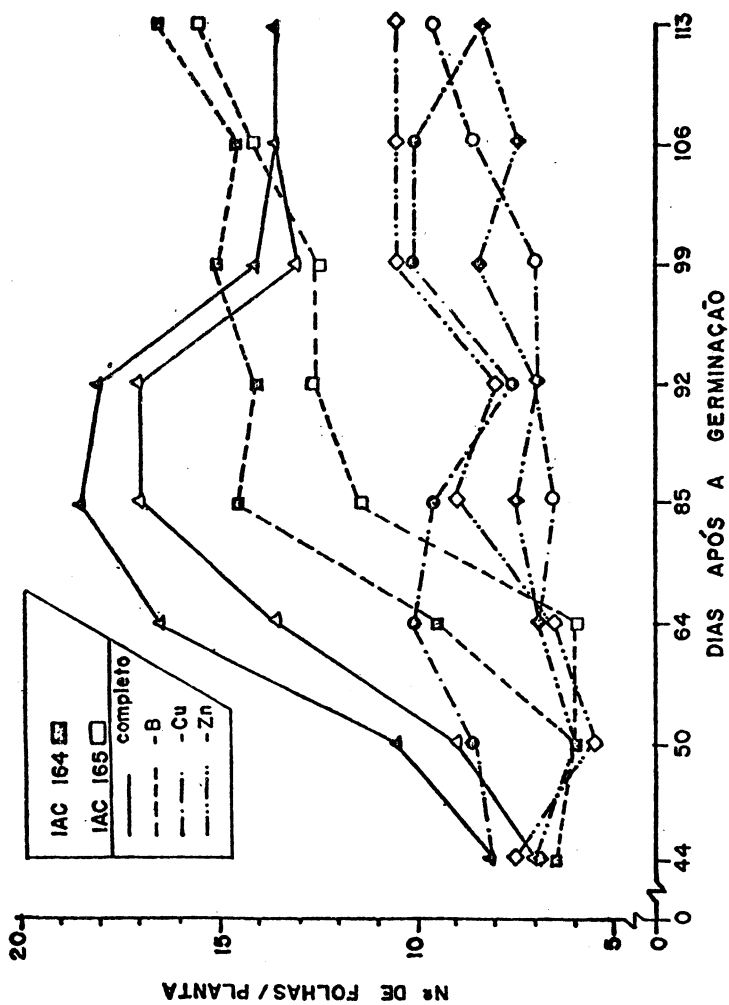


Figura 1 - Número de folhas por planta de duas variedades de arroz, IAC 164 e IAC 165 ao longo do ciclo em função de tratamentos deficientes em B, Cu e Zn comparados ao completo.

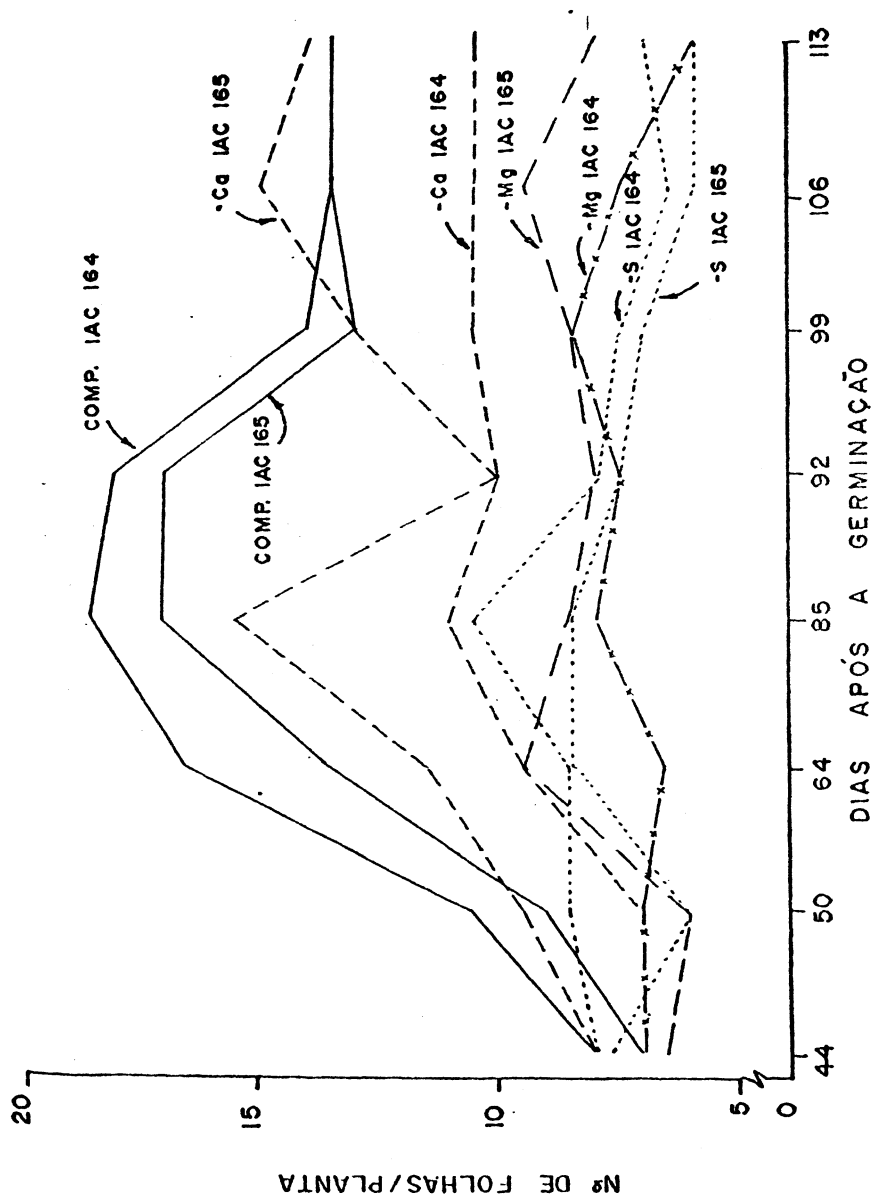


Figura 2 - Número de folhas por plantas por variedades de arroz, IAC 164 e IAC 165 ao longo do ciclo em função de tratamentos deficientes em Ca, Mg e S comparados ao completo.

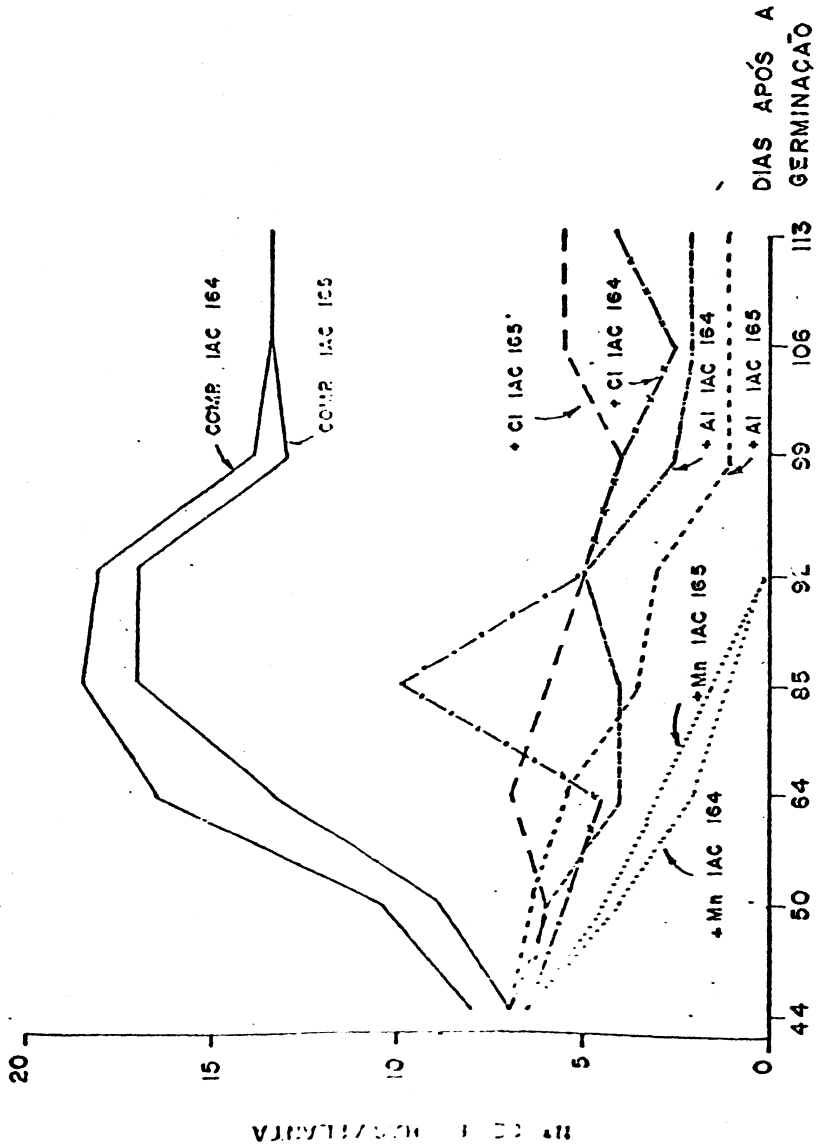


Figura 3 - Número de folhas por plantas por variedades de arroz, IAC 164 e IAC-165, ao longo do ciclo, em função de tratamentos com excesso de Al, Mn e Cl em relação ao completo.

duziram metade da folhagem, em relação ao tratamento "completo", após o estágio de "início do perfilhamento", o que se situou por volta de 65 dias após a germinação.

Observa-se através da Figura 3 que o cultivar IAC 165 teve ao longo do ciclo menos massa vegetativa em comparação ao cultivar IAC 164. Essa diferença entre cultivares não é muito marcante.

Entretanto, é visível a diferença entre o número de folhas dos tratamentos "completo" e dos tratamentos "mais alumínio", "mais manganês" e "mais cloro".

Parece não haver diferença entre variedades, no que diz respeito aos tratamentos "mais alumínio" e "mais cloro". As plantas que receberam o tratamento "mais manganês" morreram antes de completar o ciclo.

Como se pode observar na Figura 4, o cultivar IAC 164 apresentava aos 64 dias após a germinação maior volume de folhas, em comparação o outro cultivar IAC 165. O comportamento dos dois cultivares se mostrou diferente, conforme o tratamento recebido, ou seja: sob deficiência de Ca, P, K, Mg, Zn, N e toxidez de Cl, Al, e Mn, o cultivar IAC 165 mostrou maior número de folhas, embora com pequenas diferenças na maioria dos tratamentos. A outra variedade mostrou maior vegetação sob deficiência de B e Cu. No tratamento -P observou-se maior diferença no número de folhas entre variedades. Ambos os cultivares apresentaram o mesmo número de folhas sob deficiência de S.

Cabe ainda ressaltar que na época em que foram feitas essas observações algumas plantas se apresentavam com menos de 30% do total de folhas em relação ao tratamento completo, o que aconteceu com o cultivar IAC 164, quando submetido à deficiências de P e N e toxidez de Cl, Al e Mn, e com o cultivar IAC 165, quando submetido à deficiência de N e toxidez de Mn. Em resumo pode-se afirmar que a deficiência de N e toxidez de Al, Mn e Cl prejudicaram sensivelmente o número de folhas das variedades em relação ao tratamento completo.

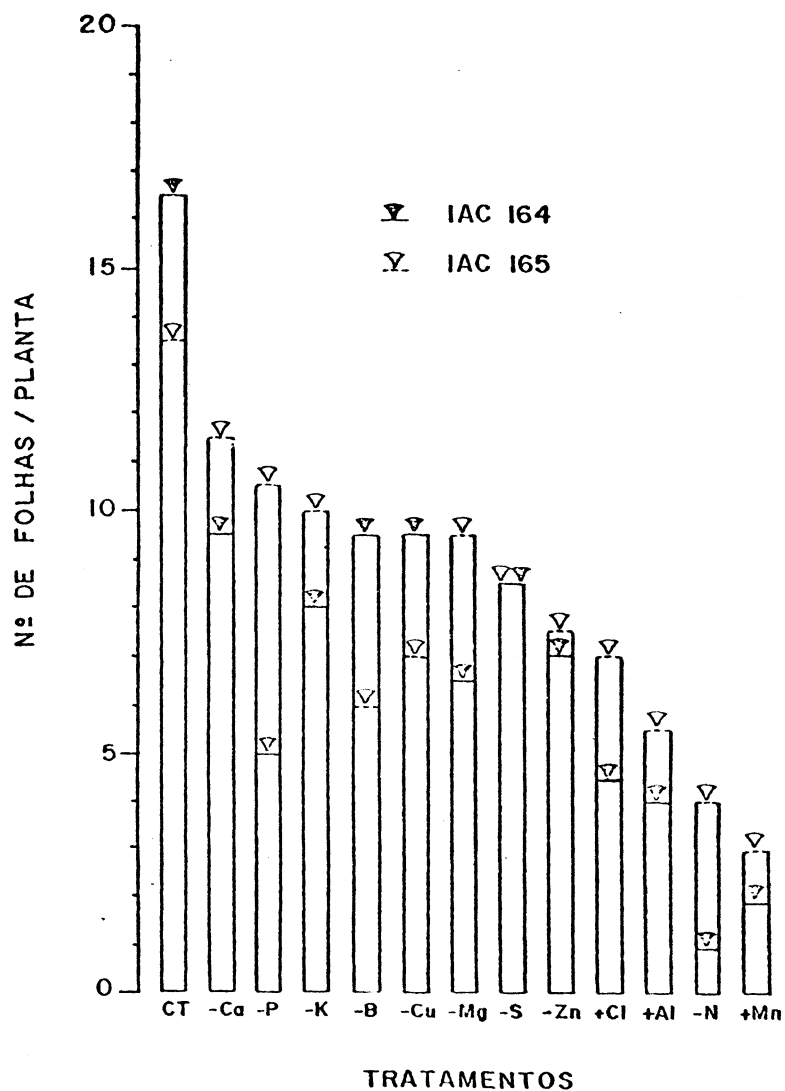


Figura 4 - Número de folhas por plantas nos tratamentos com duas variedades de arroz, IAC 164 e IAC 165, 64 dias após a germinação

Observando-se a Tabela 4, onde estão os dados de produção de matéria seca das diferentes partes da planta de arroz dos cultivares IAC 164 e IAC 165, acumulados durante todo o ciclo, verifica-se que, em comparação com o tratamento completo, todos os tratamentos apresentaram menor quantidade de matéria seca (g/planta), como era de se esperar.

Com base somente nos dados apresentados na Tabela 4 não é possível discriminar as variedades com respeito à exigência nutricional, pelo fato da proximidade dos dados (plantas inteiras) quando se comparam as variedades.

Para o cultivar IAC 164 a omissão dos nutrientes N, K, P, Mg, B, Zn e Ca provocaram uma redução de 62% em média em relação à produção de matéria seca do tratamento "completo". As diferenças foram menores para os tratamentos "menos S" e "menos Cu". Os tratamentos com excesso de Al e Cl provocaram significativa diminuição (77%) de matéria seca em relação ao tratamento "completo". O tratamento "mais Mn", cujas plantas foram colhidas prematuramente, por volta dos 65 dias de seu ciclo já apresentavam graves sintomas de toxidez.

Com respeito à matéria seca dos grãos, observou-se nula nos tratamentos "menos B" e "menos Ca". Além destes dois tratamentos as maiores reduções de matéria seca nos grãos ocorreram nos tratamentos: "menos N", "menos Mg", "menos K", "menos Zn" e "menos P". Da mesma forma que na planta inteira, a quantidade de matéria seca nos grãos dos tratamentos "menos S" e "menos Cu" foi pouco menor do que o tratamento "Completo".

Para o cultivar IAC 165, os nutrientes que mais interferiram na diminuição da matéria seca, considerando a planta inteira, foram N, B, P, K, Mg, Cu, reduzindo em média 50% a matéria seca, quando omitidos. Sob condições de toxidez, os maiores efeitos foram provocados pelos tratamentos "mais Al" e "mais Cl", provocando redução de 67% na matéria seca das plantas inteiras. Nos grãos, a produção de matéria seca foi mais afetada nos

Tabela 4 - Produção de matéria seca (g) das diferentes partes da planta de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivar IAC 164 e IAC 165, cultivadas em solução nutritiva (média de 2 repetições), acumuladas durante o ciclo

Tratamentos	IAC 164						Planta inteira
	Raiz	Colmo+ Perf.	Folhas	Casca	Grão	Matéria seca (g/planta)	
"Completo"	3,59	4,32	5,54	1,50	4,70		19,55
"Menos N"	0,53	0,88	1,15	0,18	0,55		3,29
"Menos P"	1,05	1,35	2,20	0,54	2,04		7,18
"Menos K"	0,83	1,11	2,83	0,52	1,68		6,97
"Menos Ca"	1,65	2,75	4,75	0,25	0,00		9,40
"Menos Mg"	1,20	1,15	3,23	0,58	1,46		7,62
"Menos S"	2,63	3,05	3,95	0,85	3,43		13,91
"Menos B"	0,97	2,97	3,93	0,06	0,00		7,93
"Menos Cu"	2,58	2,71	5,30	1,14	3,99		15,72
"Menos Zn"	2,09	1,80	3,05	0,63	1,78		9,35
"Mais Al"	1,25	0,70	1,40	0,15	0,82		4,32
"Mais Mn"	0,07	-	0,58*	-	-		-
"Mais Cl"	0,94	0,74	1,55	0,36	0,97		4,56

(*) Os dados referem-se à parte aérea (folhas + colmos)

Tabela 4 - Continuação

Tratamentos	IAC 165					
	Raiz	Colmot+ Perf.	Folhas	Casca	Grão	Planta inteira
Matéria seca (g/planta)						
"Completo"	2,45	3,41	4,08	1,15	4,59	15,68
"Menos N"	1,05	0,73	1,50	0,33	1,96	5,57
"Menos P"	1,28	1,66	2,29	0,36	1,32	6,91
"Menos K"	1,30	1,73	3,03	0,57	1,73	8,36
"Menos Ca"	2,10	2,60	5,25	0,09	0,00	10,04
"Menos Mg"	1,65	1,48	3,55	0,58	1,29	8,55
"Menos S"	1,65	2,65	3,08	0,90	3,70	11,98
"Menos B"	0,73	1,66	3,21	0,00	0,00	5,60
"Menos Cu"	1,39	1,99	3,54	0,86	1,91	9,69
"Menos Zn"	1,89	2,85	4,80	1,00	3,05	13,59
"Mais Al"	1,06	0,81	1,11	0,24	1,29	4,51
"Mais Mn"	0,09	-	0,68*	-	-	-
"Mais Cl"	1,16	1,01	2,09	0,40	1,20	5,86

(*) Os dados referem-se à parte aérea (folhas + colmos)

tratamentos "menos Ca" e "menos B", da mesma forma que na cultivar IAC 164.

A deficiência de enxofre causou menores efeitos na produção de matéria seca, talvez pelo fato de fazer parte das soluções a e Fe-EDTA, usadas no tratamento "menos S", que o possuem em sua composição na forma de $ZnSO_4$, $CuSO_4$ e $FeSO_4$ (ver Tabela 1).

Diagnose foliar e teste rápido

Os resultados das análises foliares são mostrados na Tabela 5.

Houve variações nos teores dos macronutrientes nos tratamentos com omissão, quando comparados com o tratamento completo. Observa-se que no tratamento completo, os teores de nutrientes analisados nas folhas recém maduras do cultivar IAC 164 são inferiores aos verificados no cultivar IAC 165, com exceção de Ca, que foi o mesmo para os dois cultivares.

Ainda na Tabela 5 verifica-se que os teores foliares dos macronutrientes mais exigidos pelas plantas (N, P e K), determinados nos tratamentos nos quais os mesmos elementos foram omitidos, foram muito reduzidos, como era de se esperar. No entanto, a magnitude das diferenças entre o tratamento completo e os tratamentos deficientes foi maior no caso do P cuja omissão provocou uma redução no teor foliar de 7 vezes para a variedade IAC 164 e 24 vezes para a variedade IAC 165.

O maior teor de P revelado no tratamento com deficiência em nitrogênio foi cerca de 2 a 3 vezes maior em relação ao tratamento completo. Tal fato é explicado por EPSTEIN (1975), com base no chamado efeito da compensação, ou seja, há uma maior absorção de outros elementos quando algum está deficiente.

Tabela 5 - Teores de macronutrientes (%) na matéria seca de folhas recém maduras de arroz no perfilhamento.

Teores	N		P		K		Ca		Mg		S	
	IAC	165	IAC	165	IAC	165	IAC	165	IAC	165	IAC	165
Tratamentos	IAC	165	IAC	165	IAC	165	IAC	165	IAC	165	IAC	165
Completo	2,32	2,70	0,28	0,49	2,83	4,21	0,94	0,94	0,73	0,88	0,13	0,16
- N	0,97	1,05	1,04	0,92	3,57	3,27	-	-	-	-	-	-
- P	2,00	1,76	0,04	0,02	4,24	3,60	-	-	-	-	-	-
- K	-	-	-	-	0,81	0,62	0,70	0,81	0,79	0,87	-	-

No tratamento -K, comparado ao completo, enquanto os teores de Ca pouco diminuíam, os de Mg praticamente não se alteraram.

Quanto ao tratamento com excesso de Mn (Tabela 6), os valores obtidos demonstraram uma maior concentração de Mn e Zn na parte aérea.

A Tabela 7 expressa o peso da matéria seca da parte aérea e raiz em função da deficiência de N, P e K e excesso de Mn, além do tratamento completo. Observa-se que o excesso de Mn foi mais severo que as deficiências de N, P ou K independente da variedade ou parte da planta considerada, produzindo apenas 13 a 20% de matéria seca (parte aérea) em relação ao tratamento "completo". Dos macronutrientes, a deficiência de N provocou a maior redução de matéria seca (cerca de 40 a 60%) tanto na raiz quanto da parte aérea nas duas variedades. A omissão de P foi, entre estes elementos essenciais o que menor efeito causou na redução da matéria seca, com valores de 16 a 28% (raiz e parte aérea), assim mesmo somente para a variedade IAC 164. Na IAC 165 chegou mesmo a produzir mais matéria seca que o tratamento "completo".

Tabela 6 - Teores foliares de micronutrientes (ppm) no tratamento "mais Mn".

Micronutrientes	Raiz		Parte aéres	
	IAC 164	IAC 165	IAC 164	IAC 165
Cu	102	98	63	71
Fe	432	376	110	128
Mn	809	610	7969	8508
Zn	36	26	195	165

Tabela 7 - Peso da matéria seca (g/planta) da raiz e parte aérea de duas cultivares de arroz no perfilhamento, cultivadas em solução nutritiva completa.

Tratamento	Raiz		Parte aérea	
	IAC 164	IAC 165	IAC 164	IAC 165
"Completo"	1,19	0,77	4,50	3,25
"Menos N"	0,67	0,69	1,82	1,91
"Menos P"	1,00	1,52	3,23	3,44
"Menos K"	0,80	0,76	2,40	2,49
"Mais Mn"	0,07	0,09	0,58	0,68

O teste rápido foi realizado pela técnica de Silva Fernandes, modificada por MALAVOLTA (1982); no "completo", "menos N", "menos P" e "menos K". Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Teores de macronutrientes (ppm) obtidos no teste rápido.

Tratamentos	N	P	K
Completo	250-100	100	1000-2000
"Menos N"	30	-	-
"Menos P"	-	15-50	-
"Menos K"	-	-	1000

Vê-se que o teste rápido foi positivo (indicou deficiência) para N e P sendo pouco sensível para K, se comparado ao limite inferior do elemento revelado pelo tratamento completo.

Composição mineral

Observa-se nas Tabelas 9 e 10, em função dos tratamentos empregados:

- tratamento "menos nitrogênio": em relação ao tratamento "completo", as raízes contêm menos K, e isso foi válido para os dois cultivares.
- tratamento "menos fósforo": verificou-se uma diminuição no teor de K nas raízes de ambos os cultivares;
- tratamento "menos potássio": houve uma aparente diminuição nos teores de Ca também nas raízes e um aumento nos teores de N no colmo para os dois cultivares;

Tabela 9 - Teores de nutrientes em diferentes partes da planta de arroz, cultivar IAC 164 por ocasião da colheita em função dos tratamentos adotados.

Tratamentos	Parte planta	Macronutrientes (%)							Micronutrientes (ppm)							Toxidez (ppm)		
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Cl				
Completo	Raiz	2,05	0,48	1,84	0,74	0,12	0,19	21,5	114,5	80,0	664,0	14,5	192,2	2667,5				
	Colmo+ perfilho	1,72	0,27	4,55	0,18	0,20	0,10	22,0	28,0	40,0	94,0	21,0	29,5	1982,5				
	Folhas	2,33	0,20	2,34	1,35	0,76	0,17	44,5	31,0	35,0	217,0	108,0	118,0	1818,5				
	grãos s/ casca	2,29	0,38	0,32	0,03	0,19	0,13	2,5	6,5	30,5	9,0	8,0	18,5	1339,5				
	Casca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4001,0				
-Nitrogênio	Raiz	0,82	0,25	0,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Colmo	0,74	0,60	3,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Folhas	0,61	0,84	2,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Grãos s/ casca	1,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
-Fósforo	Raiz	1,65	0,12	0,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Colmo	1,46	0,07	4,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Folhas	1,26	0,08	3,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Grãos s/ casca	1,90	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
-Potássio	Raiz	1,91	0,22	0,20	0,09	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Colmo	3,02	0,72	0,88	0,13	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Folhas	2,56	0,78	0,40	1,12	0,79	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Grãos s/ casca	-	-	0,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				

Cont.

Tabela 9 - Continuação.

Tratamentos	Parte planta	Macronutrientes (%)							Micronutrientes (ppm)							Toxidez (ppm)		
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Cl				
-Cálcio	Raiz	-	-	2,14	0,04	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Colmo+ perifilhos	-	-	3,48	0,04	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Folhas	-	-	3,10	0,14	0,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Grãos s/ casca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-Magnésio	Raiz	-	-	1,32	0,27	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Colmo+ perifilhos	-	-	7,28	0,44	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Folhas	-	-	5,23	1,42	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Grãos s/ casca	2,86	-	-	-	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-Enxofre	Raiz	3,29	0,25	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Colmo+ perifilhos	2,22	0,52	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Folhas	1,98	0,36	-	-	-	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Grãos s/ casca	1,72	-	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-Boro	Raiz	-	-	-	-	-	-	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Colmo+ perifilhos	-	-	-	-	-	-	10,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Folhas	-	-	-	-	-	-	28,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Grãos s/ casca	-	-	-	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Cont.

Tabela 9 - Continuação.

Tratamentos	Parte planta	Macronutrientes (%)							Micronutrientes (ppm)							Toxidez (ppm)	
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Cl			
-Cobre	Raiz	-	-	-	-	-	-	-	146,0	32,0	597,0	10,0	-	-			
	Colmo+ perifilhos	-	-	-	-	-	-	-	24,0	14,0	84,0	15,0	-	-			
	Folhas	-	-	-	-	-	-	-	28,0	16,0	199,0	142,0	-	-			
	Grãos s/ casca	1,99	-	-	-	-	-	-	8,0	-	-	-	-	-			
-Zinco	Raiz	-	-	-	-	-	-	-	152,0	62,0	542,0	26,0	-	-			
	Colmo+ perifilhos	-	-	-	-	-	-	-	26,0	24,0	80,0	18,0	-	-			
	Folhas	-	-	-	-	-	-	-	32,0	16,0	230,0	134,0	-	-			
	Grãos s/ casca	2,25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
+Cloro	Raiz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2781,0			
	Colmo+ perifilhos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29192,0			
	Folhas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43430,0			
	Grãos s/ casca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2860,0			
+Alumínio	Raiz	-	0,09	1,25	0,02	0,04	-	-	-	-	-	-	5336,0	-			
	Colmo+ perifilhos	-	0,06	5,51	0,09	0,21	-	-	-	-	-	-	138,0	-			
	Folhas	-	0,06	3,37	0,97	0,53	-	-	-	-	-	-	794,0	-			
	Grãos s/ casca	1,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56,0	-			

Observação: 0 tratamento +Mn já havia sido colhido

Tabela 10 - Teores de nutrientes em diferentes partes da planta de arroz, cultivar IAC 165 por ocasião da colheita em função dos tratamentos adotados.

Tratamentos	Parte da planta	Macronutrientes (%)							Micronutrientes (ppm)							Toxidez (ppm)		
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Cl				
Completo	Raiz	2,33	0,29	2,38	0,25	0,13	0,17	20,0	112,0	67,0	484,0	42,0	121,5	2182,0				
	Colmo	1,69	0,27	4,98	0,14	0,27	0,10	23,5	28,0	42,0	77,5	16,5	28,5	2182,0				
	Folhas	2,24	0,30	2,06	1,32	0,81	0,08	45,5	23,5	27,5	169,0	103,5	112,5	2808,5				
	Grãos s/casca	2,39	0,44	0,34	0,02	0,20	0,12	2,0	6,5	33,5	11,5	8,5	10,0	1697,0				
	Casca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3395,0				
-Nitrogênio	Raiz	1,12	0,23	0,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Colmo	0,41	0,70	5,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Folhas	0,77	0,98	2,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Grãos s/casca	1,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
-Fósforo	Raiz	2,09	0,11	0,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Colmo	1,46	0,10	4,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Folhas	1,48	0,08	3,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Grãos s/casca	1,80	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
-Potássio	Raiz	1,59	0,26	0,16	0,07	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Colmo	3,06	0,58	0,81	0,12	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Folhas	2,98	0,66	0,36	1,65	1,06	-	-	-	-	-	-	-	-				
	Grãos s/casca	-	-	0,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				

Cont.

Tabela 10 - Continuação.

Tratamentos	Partes da planta	Macronutrientes (%)							Micronutrientes (ppm)							Toxidez (ppm)		
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	Cl				
-Cálcio	Raiz	-	-	1,74	0,11	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Colmo+ perifolhos	-	-	4,16	0,04	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Folhas	-	-	3,11	0,19	0,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Grãos s/ casca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-Magnésio	Raiz	-	-	1,53	0,33	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Colmo+ perifolhos	-	-	7,24	0,53	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Folhas	-	-	5,00	1,58	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Grãos s/ casca	2,80	-	-	-	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-Enxofre	Raiz	2,89	0,28	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Colmo+ perifolhos	1,86	0,48	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Folhas	2,08	0,36	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Grãos s/ casca	1,74	-	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-Boro	Raiz	-	-	-	-	-	-	12,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Colmo+ perifolhos	-	-	-	-	-	-	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Folhas	-	-	-	-	-	-	28,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Grãos s/ casca	-	-	-	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Cont.

- tratamento "menos cálcio": houve um aumento nos teores de K nas folhas, para os dois cultivares;
- tratamento "menos mangêso": para o K, encontrou-se um aumento acentuado no colmo + perfilho e nas folhas, nos dois cultivares;
- tratamento "menos enxofre": verificou-se, em todas as partes das plantas dois dois cultivares, um aumento nos teores de N;
- tratamento "menos cobre": obteve-se uma grande diminuição nos teores de Mn nas raízes do cultivar IAC 165, enquanto que no outro cultivar essa diminuição foi pequena em relação ao tratamento "completo". Houve um aumento nos teores desse elemento nas folhas, sendo maior no cultivar IAC 164. Com o Zn houve em todas as partes da planta, notável diminuição de teores nas duas variedades;
- tratamento "menos boro": não foram analisados os teores de macronutrientes, micronutrientes ou de elementos tóxicos
- tratamento "menos zinco": foi verificado um aumento nos teores de Cu nas raízes e folhas das plantas deficientes em Zn dos dois cultivares estudados. Aconteceu também que as folhas dessas plantas apresentaram teor mais elevado de Fe e de Mn;
- tratamento "mais cloro": obteve-se um significativo aumento nos teores de Cl no colmo + perfilho, assim como nas folhas e na casca para os dois cultivares, cujas plantas foram submetidas à toxidez desse elemento. Houve pequeno aumento no teor contido nos grãos sem a casca, e nas raízes os teores praticamente não se alteraram;

- tratamento "mais alumínio": as plantas desse tratamento apresentaram baixíssimos teores de P e Ca, verificando-se ligeiro aumento nos teores de K nos colmos + perfilhos e nas folhas.

SUMMARY

STUDIES ON THE MINERAL NUTRITION OF THE RICE PLANT. XVIII. EFFECTS OF THE DEFICIENCIES OF MACRO AND MICRONUTRIENTS AND OF THE TOXICITY OF ALUMINUM, CHLORINE AND MANGANESE ON MORPHOLOGY, GROWTH, YIELD, AND MINERAL COMPOSITION OF THE VARIETIES IAC-164 AND IAC-165 GROWN IN NUTRIENT SOLUTION.

Rice, varieties IAC-164 and IAC-165, both upland, were grown in nutrient solution (Hoagland's n° 2) complete, with deficiency of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu and Zn, and with excess of Al, Cl, and Mn. Symptoms of deficiency and toxicity were observed according to the treatments. Dry matter production by var. IAC-164 was affected by the treatments in the following order: -N, -K, -P, -Mg, -B, -Ca = -Zn, -S, and -Cu; in the case of var. IAC-165, the sequence was -B, -N, -P, -K, -Mg, -Ca, -Cu, -S, and -Zn. There was no grain yield in treatments -Ca and -B. The toxicity of Al, Cl, and Mn significantly decreased dry matter formation; Mn was more detrimental than Al. Variety IAC-164 was more sensitive to the toxic levels of Al and Cl. At full tillering the following tissue levels in the freshly mature leaves are considered as adequate, respectively the varieties IAC-164 and IAC-165. N - 2.32-2.70%, P - 0.28-0.49, K - 2.83-4.21, Ca - 0.94-0.94, Mg - 0.73-0.88, S - 0.13-0.16%.

CO-AUTORES

Estudante de pós-graduação: A.B. Vecchiato, A.C.S. Medeiros, H.W. Takahashi, H.J. Kliemann, J.A. Azevedo,

M.D. Thomazi, P.J.C. Genú, S.R.F. Leão, A. Parada, G.G. Martins, J.C. Gonçalves, J.F. Centurión, L.A.B.C. Vasconcellos, M. Almeida, M.E. Marchetti, O.A.P. Pereira, P.F.S. Martins, S. Buzetti.

LITERATURA CITADA

ANÔNIMO, 1964. Sintomas de las deficiencias de algunos mineralides en plantas de arroz cultivadas en solución nutritiva. Min. Agr. y Ganaderia de Costa Rica, Bol. Tec. 48.

FAGERIA, N.K., 1976. Identificação de distúrbios nutricionais do arroz e sua correção. EMBRAPA, Bol. Tec. nº 2.

KARIM, A.Q.M.B.; VLAMIS, J., 1962. Micronutrient deficiency symptoms of rice grown in nutrient culture solutions. Plant and Soil 16(3): 347-360.

MALAVOLTA, E., 1979. Nutrição mineral e adubação do arroz de sequeiro, Publ. pela Ultrafertil S.A., São Paulo.

MALAVOLTA, E., 1981. Manual de Química Agrícola - Adubos e Adubação, 3a. ed., Livraria Agronômica Ceres Ltda., São Paulo.

MALAVOLTA, E., 1982. Testes rápidos em tecido vegetal, postila mimeo.

MEDEIROS, A.A., 1980. Exigências nutricionais e correção de deficiências minerais em dois cultivares de arroz (*Oryza sativa* L., cv. IAC 47 e IAC 435), ESALC/USP, Diss. de Mestrado.

MURAYAMA, N., 1965. The influence of mineral nutrition on characteristics of plant organs. Em: The mineral nutrition of the rice plant, págs. 147-172, The Johns Hopkins Press, Baltimore.

TANAKA, A.; YOSHIDA, S., 1970. Nutritional disorders of rice in Asia. IRRI Tech. Bull. 10.