

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

EFEITOS DO MANEJO DA ÁGUA E ALTAS DOSES DE NITROGÊNIO
SOBRE O TEOR DE FERRO E A PRODUÇÃO DO ARROZ

SAU

JOSÉ AMÉRICO DE LIMA

BCT/UFC CATIVO

TESE
631.4
L698e
1993

FORTALEZA-CEARÁ

1993

UFC/BU/BCT

14/03/1996



R474860
C201472
T631.4

Efeitos do manejo de água e
altas doses

L698e

C 201472

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

EFEITOS DO MANEJO DA ÁGUA E ALTAS DOSES DE NITROGÊNIO
SOBRE O TEOR DE FERRO E A PRODUÇÃO DO ARROZ

TESE
631.4
L698e
1993

JOSÉ AMÉRICO DE LIMA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM AGRONOMIA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE
PLANTAS COMO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA-CEARA

1993

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L698e Lima, José Américo de.
Efeitos do manejo da água e altas doses de nitrogênio sobre o teor de ferro e a produção do arroz /
José Américo de Lima. – 1993.
73 f. : il.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 1993.
Orientação: Prof. Dr. Boanerges Freire de Aquino.

1. Submersão. 2. Capacidade de campo. 3. Uréia. 4. Sulfato de amônio. 5. Arroz. I. Título.

CDD 630

Esta Dissertação foi submetida à julgamento como fazendo parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

✓ José Américo de Lima

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 25 / 06 / 93

Profº Boanerges Freire de Aquino
Orientador da Dissertação

Profº Vera Lúcia Baima Fernandes

Profº Fernando Felipe Ferreyra Hernandez

Profº Lindbergue Araújo Crisóstomo

Aos meus pais,
Climério Rodrigues Lima e
Maria Menilza Lima pelo o
exemplo de vida, humildade;
pelo sacrifício e amor em
prol da minha felicidade.

A minha esposa Jeanne Mary
Alves Lima e filha
Cibeli Oliveira Lima pelo
amor, incentivo, dedicação,
companheirismo e por
continuarem sendo sempre a
minha fortaleza.

Ao trabalhador do campo que
sustenta com o seu suor a
agricultura brasileira.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

O autor deseja registrar seus sinceros agradecimentos às seguintes pessoas e instituições.

Aos Professores Boanerges Freire de Aquino e Vera Lúcia Baima Fernandes, pela orientação e dedicação dispensada.

Ao CNPq-Conselho de Desenvolvimento Técnico e Científico, pelo auxílio financeiro concedido através de bolsa de estudo.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Ceará, pelos ensinamentos ministrados.

Ao Professor Mário Bezerra Fernandes da Escola Superior de Agricultura de Mossoró-ESAM, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Aos colegas do Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, pelo companheirismo e colaboração no decorrer do curso.

Aos amigos Robson Rui Cotrim Duete, Célida Socorro Vieira dos Santos e Ana Lúcia Tersariol pela colaboração.

Aos laboratoristas Fátima da Silva Rego, Antônio Luiz de Oliveira e Ademir Alves de Macedo pela ajuda nas análises.

Aos pesquisadores da EPACE-Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará, Raimundo Nonato de Lima e Jane Portela e Silva, pela colaboração nas análises estatísticas.

À EMATERCE - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

Às funcionárias Sayonara Almeida de Oliveira e Fátima Maria Pereira Marques de Oliveira pela ajuda no decorrer do curso.

Aos meus irmãos Francisco de Assis de Lima, Maria Clenilza de Lima e Maria Diones Ferreira Lima pelo carinho fraternal.

À todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMARIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	4
2.1 Aspectos Gerais da Agua na Cultura do Arroz	4
2.2 Manejo da Agua e Características de Crescimento do Arroz	5
2.3 Manejo da Agua e Absorção de Nitrogênio e de Ferro	7
2.3.1 Nitrogênio	7
2.3.2 Ferro	9
2.4 Aspectos Nutricionais do Nitrogênio e do Ferro em Arroz	11
2.4.1 Nitrogênio	12
2.4.2 Ferro	14
3 - <u>MATERIAL E MÉTODO</u>	17

3.1	Caracterização Geral do Experimento	17
3.1.1	Solo.....	17
3.1.2	Cultivar	19
3.1.3	Delineamento experimental e análise estatística.....	19
3.1.4	Tratamento	21
3.1.5	Instalação, condução e colheita	23
3.2	Características Avaliadas.....	23
3.2.1	Peso de Matéria seca da parte aérea	24
3.2.2	Produção de grãos	24
3.2.3	Teores de Nitrogênio e Ferro na matéria seca	24
4	- <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	26
4.1	Características Relacionadas ao Crescimento e Desenvolvi- mento do Arroz	26
4.1.1	Peso de Matéria seca da parte aérea	26
4.1.2	Produção de grãos	29
4.2	Características relacionadas à absorção de Nitrogênio e Ferro	40
4.2.1	Nitrogênio	40
4.2.2	Ferro	48
5	- <u>CONCLUSÃO</u>	58
6	- <u>SUGESTÕES</u>	60
7	- <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS</u>	61

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS

PÁGINA

- 1 Efeitos dos níveis de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio, sobre a produção de grãos da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em condições de submersão.39
- 2 Efeitos dos níveis de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio, sobre a produção de grãos da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em condições de capacidade de campo.41
- 3 Efeitos dos níveis de nitrogênio, na forma de uréia, sobre o teor de ferro na parte aérea da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em condições de submersão.55
- 4 Efeitos dos níveis de nitrogênio, na forma de uréia, sobre o teor de ferro na parte aérea da cultivar BR-IRGA 414, cultivada em condições de capacidade de campo.56

LISTA DE TABELAS

TABELAS	PAGINAS
1	Algumas características físicas e químicas do solo utilizado no experimento.....18
2	Principais características agronômicas da cultivar BR - IRGA 414, recomendada para cultivo irrigado.....20
3	Tratamentos utilizados no modelo experimental, para testar os efeitos do manejo da água e dos níveis de nitrogênio sobre o teor de ferro e a produção do arroz, cultivar BR - IRGA 414.....22
4	Resumo da análise de variância (quadrados médios) para os pesos da matéria seca da parte aérea(palha) e dos grãos (g) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo, duas fontes e três doses de nitrogênio..27
5	Valores médios de peso (g) da matéria seca na parte aérea(palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, em função das fontes de nitrogênio e dos

	sistemas de cultivo.....	28
6	Valores médios de peso (g) da matéria seca na parte aérea(palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo, duas fontes e três doses de nitrogênio	30
7	Valores médios de produção de grãos (g) da cultivar de arroz BR - IRGA 414, em função das doses de nitrogênio relacionadas com as fontes e os sistemas de cultivo.....	32
8	Valores médios de produção de grãos (g) da cultivar de arroz BR - IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo, duas fontes e três doses de nitrogênio.....	34
9	Coeficientes das equações de regressão polinomial, segundo o modelo $Y = a + b_1x + b_2x^2$, para a produção de grãos (g) da cultivar de arroz BR - IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo e duas fontes de nitrogênio.....	38
10	Resumo da análise de variância (quadrados médios) para os teores de nitrogênio (%) e ferro (ppm) da matéria seca na parte aérea	

	(palha) da cultivar de arroz BR - IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo, duas fontes e três doses de nitrogênio.....	42
11	Valores médios do teor de nitrogênio(%) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, em função das doses de nitrogênio relacionadas com as fontes e os sistemas de cultivo.....	43
12	Valores médios do teor de nitrogênio (%) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, em função das fontes e dos sistemas de cultivo	45
13	Valores médios do teor de nitrogênio (%) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo, duas fontes e três doses de nitrogênio	47
14	Valores médios do teor de ferro(mg/Kg) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo	50

- 15 Valores médios do teor de ferro(mg/Kg)da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo, duas fontes e três doses de nitrogênio51
- 16 Valores médios do teor de ferro(mg/Kg)da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, em função das doses de nitrogênio relacionadas com as fontes e os sistemas de cultivo53
- 17 Coeficientes das equações de regressão polinomial, segundo o modelo $Y = a + b_1x + b_2x^2$, para o teor de ferro (mg/Kg) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo e duas fontes de nitrogênio.....54

RESUMO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com o objetivo de verificar os efeitos, na cultura do arroz, de fontes e doses crescentes de nitrogênio, em solo submetido as condições de submersão e capacidade de campo, sobre o teor de ferro na planta e a produção de grãos. O cultivo foi realizado em vasos de plástico contendo 5,5kg de solo, e os tratamentos consistiram na combinação de dois níveis de água, duas fontes de nitrogênio (uréia e sulfato de amônio) e três doses de nitrogênio (2,4 e 8g/vaso). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 12 tratamentos principais e 4 adicionais (testemunhas absoluta e sem nitrogênio), com 3 repetições, dispostos em arranjo fatorial 3x2x2.

A produção da matéria seca, na parte aérea do arroz, foi superior na presença do sulfato de amônio nas condições de capacidade de campo. A maior produção de grãos, ocorreu no tratamento com duas gramas de nitrogênio, sob a forma de uréia, em condições de submersão. O teor mais elevado de nitrogênio, na matéria seca da parte aérea foi alcançado com a aplicação de oito gramas de nitrogênio, sob a forma de sulfato de amônio, em condições de submersão. O menor teor de ferro, na matéria seca da parte aérea, foi obtido com a aplicação de duas gramas de nitrogênio independente da fonte, nas condições de capacidade de campo.

PALAVRAS CHAVE: Submersão, capacidade de campo, uréia, sulfato de amônio, arroz.

ABSTRACT

The experiment was carried out under greenhouse conditions in order to evaluate the effect of sources and increasing doses of nitrogen on rice tillage under submerged soil and field capacity on the Iron level in the plant and the seeds production. The plants were raised in pots both 5,5g of soil each one, and the treatment consisted of the combination of two levels of water, two nitrogen sources (urea and ammonium sulphate) and three doses of nitrogen (2,4 and 8g/pot). A completely randomized design with 12 treatments and 4 controls, with 3 replicates each one in a 3x2x2 factorial model was used.

The shoot dry matter production was higher under field capacity with ammonium sulphate as nitrogen source. The highest seeds production was observed in the treatment with urea as nitrogen source (2g) under submerged conditions. The highest nitrogen level in the shoots dry matter was reached with 8g of nitrogen as ammonium sulphate under submerged conditions. The lowest Iron level in the shoot dry matter was reached with 2g of nitrogen no matter the nitrogen source under field capacity.

Key words: submerged, field capacity, urea, ammonium sulphate, rice.

1 - INTRODUÇÃO

A desnutrição é uma das principais causas do elevado índice de mortalidade em regiões pouco desenvolvidas. Daí a importância de que se reveste os trabalhos que visam aumentar a quantidade e melhorar a qualidade dos alimentos produzidos. O crescimento exponencial da população do planeta obriga a expansão da produção de alimentos e, neste contexto, o arroz se destaca pelo fato de ocupar o segundo lugar em importância na alimentação humana, sendo superado apenas pelo trigo.

A área cultivada com arroz em termos mundiais, gira em torno de 145 milhões de hectares com produção de 470 milhões de toneladas. A Ásia contribui com 92% da produção, em 90% da área cultivada; enquanto a América do Sul participa com 3,1% da produção total e 4,6% da área. O Brasil participa com 62% desta produção e 78,6% da área cultivada (FAO, 1974).

No Brasil a produção de arroz ocupa o terceiro lugar em área e o quinto, em valor de produção entre os cultivos temporários, constituindo cerca de 13,5% do valor total da produção dessas culturas (TEIXEIRA, 1990).

No Ceará a área cultivada com arroz gira em torno de 62 mil hectares para uma produção de 120 mil toneladas, com rendimento médio de 4,5t/ha para o cultivo irrigado e 1,1t/ha para o cultivo de sequeiro, o que ainda é insuficiente para alimentar uma população aproximada de 7 milhões de

habitantes. Por esta razão, necessário se faz expandir a área cultivada com o arroz irrigado(atualmente 27%), especialmente nas margens dos grandes rios (Jaguaribe) onde existe um grande potencial de produção (solo e água), além do uso racional do solo, da água, dos fertilizantes e do controle de possíveis efeitos tóxicos do Fe^{2+} com a submersão contínua do solo. Desta forma, é possível proporcionar um aumento na produção e produtividade do arroz cultivado no Ceará e com isto reduzir as importações.

O consumo de água pelas comunidades vegetais é um fator importante a ser considerado em estudos de zoneamento agrícola, bem como em estimativa de produtividade; pois, entre outras funções, a água no solo serve como meio de transporte dos elementos nutritivos e dos componentes que se formam durante o metabolismo da planta, além de ser necessária aos processos de crescimento e transpiração. A disponibilidade de água é um fator ecológico dos mais importantes para a produção econômica da cultura do arroz; por esta razão, especial atenção deve ser dada as práticas culturais concernentes ao manejo da água de irrigação para o cultivo do arroz. Como a planta de arroz extrai grandes quantidades de nutrientes do solo, necessário se faz repor estes nutrientes através da fertilização química ou orgânica. O nitrogênio é responsável por altos rendimentos na cultura do arroz irrigado porém, obtem-se melhores resultados quando empregado em quantidades e épocas determinadas visto que, o

seu aproveitamento está estreitamente ligado a fatores climáticos, especialmente a temperatura e radiação solar.

O objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos, na cultura do arroz, de duas fontes e três de doses de nitrogênio, em solo submetido as condições de submersão e capacidade de campo, sobre o teor de ferro na planta e a produção de grãos.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos Gerais da Água na Cultura do Arroz

O arroz requer alto teor de umidade no solo para um bom desenvolvimento e produção. No entanto, aproximadamente 65% das lavouras de arroz no Brasil são conduzidas sob regime de sequeiro, sendo extremamente dependentes da precipitação pluvial (STONE, 1983 ; GOMIDE, 1979).

Apesar das taxas de transpiração do arroz serem semelhantes as de outras culturas (400g de água/g de matéria seca), ele sofre "stress hídrico" em tensão de umidade tão baixa quanto 0,33bars (SANCHEZ, 1976). Essa deficiência hídrica nas plantas é caracterizada por uma redução do seu conteúdo hídrico e do seu potencial osmótico total, acompanhada pela perda de turgescência, pelo fechamento dos estômatos e pela redução do crescimento (KRAMER, 1974).

Para vários autores (SANCHEZ, 1976; STONE, 1979; FAGERIA, 1984; BRUNINI, 1981) o período em que o arroz apresenta maior sensibilidade as variações de umidade no solo abrange toda a fase reprodutiva. Segundo HERNANDEZ (1969) esse período compreende entre cinco e dez dias antes do emborrachamento e floração, enquanto para DAKER (1976), abrange vinte dias antes até vinte e cinco dias após a

floração.

O arroz é a única cultura importante capaz de crescer em solos inundados por causa da sua habilidade em oxidar a sua própria rizosfera (SANCHEZ, 1976). De acordo com GOMIDE (1979) a irrigação por inundação (permanente ou periódica) tem sido objeto de estudo, sendo que alguns autores recomendam a inundação permanente pela facilidade de manejo da água e maior controle de plantas daninhas. Outros autores são adeptos da modalidade periódica por esta exigir menor volume de água e promover maior aeração do solo estimulando o perfilhamento e o maior desenvolvimento do sistema radicular. Vale salientar que as cultivares modernas se adaptam melhor às condições de solo inundado, enquanto que as cultivares tradicionais (de sequeiro) se adaptam melhor às condições de solo mais seco (ENYI, 1968; MORAES, 1979; ; GRIST, 1982; BARBOSA FILHO, 1987).

2.2 Manejo da Água e Algumas Características de Crescimento do Arroz

O manejo eficiente da água compreende a manutenção de uma quantidade de água necessária ao crescimento e desenvolvimento das plantas e a máxima absorção de nutrientes além do seu uso econômico (CHEANEY, 1973), que deve vir associado à capacidade genética de produção da cultivar (MORAES & FREIRE, 1974; SACHET, 1981; DEL GUIDICE et alii,

1983).

As plantas de arroz sob condições de baixa disponibilidade de água têm a sua atividade metabólica afetada (KRUPP, 1972). SIAO (1973) acredita-se que essa baixa atividade é decorrência de uma série de modificações morfológicas e bioquímicas dado que a planta é um organismo que funciona a base de sistemas altamente interdependentes. O manejo da água no solo afeta de diversas maneiras a produção de matéria seca total e da parte aérea do arroz que, por sua vez, aumentam com o aumento do teor de umidade do solo (HALM, 1967; ENYI, 1968; PATRICK Jr. & FONTENOT, 1976; GANGWAR & MAN, 1972; HAIRE, 1979 e STONE, 1983).

Segundo HOFFMAN et alii (1975) e BEGG & TURNER (1976), durante um período de deficiência hídrica, o crescimento radicular é geralmente favorecido em relação ao crescimento do colmo, embora o crescimento total da planta seja reduzido. Esse aumento no peso da matéria seca das raízes pode indicar uma maior densidade e aprofundamento do sistema radicular. Ambos são importantes adaptações morfológicas à deficiência hídrica, pois favorecem a absorção de água e nutrientes (MENGEL & KIRKBY, 1978; CHEEMA et alii, 1982). De um modo geral, a limitação de água além de afetar a produção de matéria seca e altura das plantas, retarda a floração e proporciona alta esterilidade nas espiguetas, e conseqüentemente, menor produção (CHAUDHRY & McLEAN, 1965).

2.3 Manejo da Água no Solo e Absorção de Nitrogênio e Ferro

A absorção de nutrientes por uma cultura refere-se a quantidade total de cada elemento absorvido pela cultura em dado estágio do seu desenvolvimento (FARHOOMAND & PETERSON, 1968).

Embora a absorção de nutrientes e a absorção de água sejam processos independentes na raiz, a necessidade de água disponível na planta e no solo, para a absorção e transporte de nutrientes, torna-os intimamente relacionados, pois as taxas de difusão e fluxo de massa, decrescem à medida que a umidade do solo é reduzida (STONE, 1983). No entanto Viets citado por STONE (1983) afirma que não se sabe se a mudança na concentração de vários íons na solução do solo, ao reduzir-se a umidade é realmente de muita significância para a absorção de nutrientes. Porém, vários autores (SAHA, 1973; PATRICK, 1976; SANCHEZ, 1976 e DAS & JAT, 1977) relataram que a absorção de nutrientes em arroz aumenta com o aumento da umidade.

2.3.1. Nitrogênio:

Tem sido, juntamente com a umidade do solo, o fator limitante para a produção de arroz (BRANDÃO, 1974; RAMOS, 1981 e CRIST, 1982). Contudo a resposta do arroz a esse nutriente varia grandemente com o tipo de planta, clima, manejo da água e propriedades do solo (FAGERA & WILCOX, 1977; SCALCO, 1983 e MACHADO, 1985).

O nitrogênio juntamente com o potássio são os macronutrientes absorvidos em maior quantidade pela planta de arroz (GOMIDE, 1979; SIMS & PLACE, 1968). É o quarto elemento mais abundante na planta após o carbono, oxigênio e hidrogênio (EPSTEIN, 1975). Uma vez absorvido, transloca-se por toda a planta, sendo que, na maturação, a sua concentração é maior nos grãos (GARGANTINI e BLANCO, 1965; FURLANI et alii, 1977).

O nitrogênio pode ser absorvido, pela planta de arroz, tanto na forma nítrica como amoniacal. A forma amoniacal constitui a principal fonte de nitrogênio para o arroz irrigado (WELLS, 1962; SANCHEZ, 1976). A inundação dos solos arroseiros, produz modificações nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas. A predominância da anaerobiose diminui a disponibilidade de nitratos na zona radicular devido as perdas por desnitrificação e lixiviação (PATRICK Jr. & MAHAPATRA, 1968; MALAVOLTA, 1978). A incapacidade do arroz em reduzir o nitrato foi admitida por Bonner citado por MALAVOLTA (1980) como sendo a causa do nitrato não ser eficiente na nutrição do arroz. Por sua vez, Kelly, citado por PATRICK Jr. & MAHAPATRA (1968) e MALAVOLTA (1968) atribuiu as condições cloróticas das plantas de arroz no estadio nascidiva e que receberam nitrato como única fonte de nitrogênio à sua incapacidade em assimilar bem o nitrato e o efeito tóxico do mesmo. Por esta razão, a uréia e o sulfato de amônio são consideradas as fontes de nitrogênio mais vantajosas para o arroz irrigado. Porém em solos com baixos

teores de ferro desaconselha-se o uso do sulfato de amônio devido a formação de H_2S que além de tóxico, inibe a absorção de alguns elementos (MACHADO, 1985).

Como a planta de arroz é capaz de transferir o oxigênio atmosférico para as raízes via colmo, por intermédio do tecido aerenquimático, ela pode crescer em meios anaeróbicos. Isto é possível por sua capacidade em oxidar o meio vizinho, diminuindo o efeito tóxico das substâncias e íons produzidos pelos microrganismos em condições de redução (VLAMIS e DAVIS, 1944; BARBER, 1962; ISHIZUCA, 1971). A absorção do nitrogênio pelas plantas de arroz parece ser mais favorecida em condições de solo saturado, em comparação com solo totalmente submerso (PANDE & MITTRA, 1970; EPSTEIN, 1975; SUBRAMANIAN & RAJAGOPALAN, 1980).

2.3.2. Ferro:

A maior absorção de ferro, em solos altamente úmidos, é devido à redução da forma férrica (Fe^{+3}) a forma ferrosa (Fe^{+2}), chegando a ser cerca de três vezes maior na condição de solo inundado do que em solo seco (OBERMUELLER & MIKKELSEN, 1974; PATHAK et alii, 1975; SANCHEZ, 1976; TIWARI et alii, 1976). A redução do ferro tem importantes consequências químicas, tais como: aumento da concentração de ferro solúvel na água, aumento do pH, deslocamento de cátions dos sítios de troca para a solução do solo, aumento da disponibilidade do fósforo e da sílica e formação de novos minerais (PONNAMPERUMA, 1972). Em solos muito ácidos, a

concentração de ferro poderá atingir níveis tóxicos para o arroz ou induzir a deficiência de potássio e fósforo (TERSARIOL, 1992).

A cinética de transformação das diversas formas de ferro presente no solo, em ferro solúvel em água, segue uma curva assintótica; a concentração do Fe^{+2} na solução do solo aumenta com o tempo de submersão, alcança um máximo e cai bruscamente até atingir um nível de estabilização que persiste por vários meses. O comportamento dessa curva depende do pH, do teor de matéria orgânica do solo, da temperatura, da natureza e do teor de óxido e do seu grau de cristalização (IRRI, 1962 e 1963). As propriedades do solo influenciam mais a dinâmica do ferro solúvel em água do que o teor de ferro total. Solos ácidos, ricos em matéria orgânica e ferro, atingem concentrações de até 600ppm de ferro solúvel, dentro de uma a três semanas de submersão e em seguida decrescem até um nível de 50 a 100ppm. Os solos ricos em matéria orgânica, mas com baixo teor de ferro, apresentam altas concentrações de ferro solúvel, que persistem por vários meses. Em solos neutros e calcários, a concentração de ferro solúvel raramente excede a 20ppm (IRRI, 1962; PONNAMPERUMA, 1972; TERSARIOL, 1992).

Alguns autores relacionam a maior produção de matéria seca em plantas de arroz com altas concentrações de ferro na palha, (OBERMUELLER & MIKKELSEN, 1974; KHAIRE & SONAR, 1979). A duração da saturação ou submersão de um solo aumenta a disponibilidade de ferro e, conseqüentemente, sua

maior absorção (KHAIRE & SONAR, 1979). Entretanto PATRICK JUNIOR & FONTENOT (1976) afirmaram que a solubilidade do ferro em condições de solo reduzido não aumentou a absorção desse nutriente pela planta. O ferro, quando em altas concentrações no solo, pode ser tóxico à planta. SAHRAWAT (1979) relata que a secagem e reinundação de solos ácidos aumenta a quantidade de ferro em solução e agrava a acidez pela produção de ácido sulfúrico que impede o crescimento do arroz.

2.4 Aspectos Nutricionais do Nitrogênio e do Ferro em Arroz

Uma planta de arroz em estado vegetativo é composta de matéria orgânica, água e minerais; cerca de 70 a 90% do seu peso é constituído de água. Na matéria seca (orgânica), cerca de 90% corresponde ao peso de carbono, hidrogênio e oxigênio, e apenas 10%, aproximadamente, corresponde aos demais nutrientes. Do ponto de vista quantitativo, esses nutrientes são menos importantes, pois contribuem com apenas 10% da matéria seca; entretanto, esta contribuição tem tanto significado prático e fisiológico quanto a do carbono, do hidrogênio e do oxigênio (BARBOSA FILHO, 1987).

O conhecimento da absorção e da acumulação de nutrientes nas diferentes fases do crescimento e desenvolvimento da planta de arroz é importante porque permite determinar as épocas em que os elementos são mais exigidos, facilitando assim a correção de possíveis

deficiências.

A marcha de absorção dos nutrientes pelo arroz pode ser afetada pelo clima, pelos cultivares e pelo sistema de cultivo (MALAVOLTA e FORNASIERE, 1983). Em geral os nutrientes são absorvidos durante todo o ciclo da cultura; a diferença está na velocidade de absorção e na translocação das folhas e dos colmos para os grãos. A relação entre o peso de grãos produzidos e a quantidade de nutrientes absorvida durante o ciclo da cultura, nos fornece como parâmetro a eficiência de utilização (FAGERIA et alii, 1982).

2.4.1. Nitrogênio:

O nitrogênio aumenta o número de perfilhos e, com isso, o número de panículas; aumenta também, o número e o peso dos grãos e o seu teor de proteínas. Por outro lado, sabe-se que o nitrogênio estimula o crescimento das plantas de arroz mas nem sempre aumenta a produção de grãos. Altas doses de nitrogênio acarretam certos problemas, pois podem induzir à formação de grande número de perfilhos e de folhas novas, provocando sombreamento, acamamento e, conseqüentemente, queda na produção (STONE et alii, 1979).

A deficiência de nitrogênio acarreta distúrbios na planta de arroz, afetando o desenvolvimento geral e a produção de grãos. Devido a sua extrema mobilidade na planta, os sintomas de deficiência de nitrogênio ocorrem inicialmente nas folhas mais velhas, que se tornam cloróticas e, em seguida secam a partir das pontas. Não sendo corrigida a carência, os

sintomas progridem para as folhas mais novas e, finalmente, toda a planta adquire uma coloração verde-pálido (RAMOS, 1981); o crescimento é drasticamente reduzido, quase não ocorre emissão de folhas novas e o perfilhamento cessa. Se ocorrer deficiência marcante na fase reprodutiva, ocorrerá atraso na emissão da panícula que será menor e apresentará grande número de espiguetas estéreis, além de menor peso dos grãos formados (DEL GIUDICE, 1979; LOPES, 1990).

A planta jovem de arroz absorve o nitrogênio na forma amoniacal e a quantidade absorvida sob esta forma decresce à medida que a planta se desenvolve; na fase final de crescimento ela passa a absorvê-lo também sob a forma nítrica. A absorção do amônio ocorre independente da presença de nitratos ou de outros íons. Nas raízes, o amônio é sintetizado em aminoácidos, translocando-se nesta forma até as folhas, onde é sintetizado em proteínas, vitaminas, carboidratos, fosfolipídios, coenzimas e pigmentos (RAMOS, 1981).

O nitrogênio é um elemento de suma importância para a planta de arroz, pois faz parte das moléculas de inúmeros compostos orgânicos, tais como: aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, enzimas e coenzimas, vitaminas, glico e lipoproteínas e pigmentos; além de participar de vários processos vitais da planta; tais como: absorção iônica, fotossíntese, respiração, sínteses, multiplicação e diferenciação celular e herança (MALAVOLTA, 1989).

2.4.2 Ferro:

O ferro é um micronutriente essencial ao arroz que, a baixas concentrações, promove o desenvolvimento do sistema radicular; além de exercer várias funções importantes no metabolismo total das plantas. Entretanto, no arroz, o excesso de ferro solúvel retarda o seu crescimento, além de promover uma alta percentagem de espiguetas estéreis.

A solubilidade do ferro para as plantas de arroz é controlada pelo potencial de oxido-redução e pelo pH que determina a estabilidade dos seus quelatos (LINDSAY e SCHWAB, 1982). Alguns íons inibem a eficiência da absorção do ferro, dentre eles, os mais eficazes são: o fosfato, o cobre, e as hidroxilas (FAGERIA et alii, 1990). Além destes, o manganês compete com o ferro por certos sítios nos sistemas enzimáticos. A maior parte do ferro absorvido encontra-se nas raízes devido à sua lenta translocação para a parte aérea e a presença de competidores no sistema condutor (EPSTEIN, 1975; CLARK, 1983).

Por serem menos eficientes na absorção de ferro, quando comparadas com as dicotiledôneas, as monocotiledôneas desenvolveram diferentes mecanismos para absorção de ferro, dentre eles, a liberação de substâncias orgânicas, formando quelatos, que mobilizam e transportam o ferro para dentro das células radiculares (CRIST, 1974).

O transporte de ferro após a sua absorção se dá na corrente transpiratória, na forma ferrosa (Fe^{+2}). No exsudato do xilema, o ferro encontra-se largamente como quelato de

ácido cítrico, que é o seu carregador natural nas plantas de arroz (TIFFIN, 1972; SANTOS FILHO, 1988).

O sintoma visual mais facilmente observado de deficiência de ferro nas plantas de arroz é uma clorose nas folhas mais novas, dada a sua baixa mobilidade no floema. O ferro é essencial para a síntese de clorofila e, por esta razão, 75% do ferro total das folhas encontra-se nos cloroplastos. Quando ocorre deficiência de ferro o teor de clorofila e o número de cloroplastos diminuem, bem como a quantidade de grana nos mesmos (MALAVOLTA, 1980).

A toxidez do ferro é uma desordem nutricional que ocorre no arroz irrigado e está associada ao excesso de ferro solúvel em água. Esse problema tem sido observado em solos ácidos com valores de pH inferiores a 5,0 (IRRI, 1962). Vale salientar que a toxidez é um problema complexo que resulta da interação de uma série de fatores envolvendo o solo e a planta de arroz. A amplitude de variação dos níveis de ferro observado na solução do solo, evidencia a dificuldade de se estabelecer um critério específico para a determinação da toxidez e do nível crítico de ferro (TERSARIOL, 1992). O nível crítico nas plantas varia de acordo com a cultivar, idade do tecido, interações nutricionais e efeitos do meio ambiente (BATES, 1971). Níveis de ferro entre 10 e 1000mg/l, podem ser tóxicos para o arroz cultivado em solução nutritiva (TANAKA, 1966).

O ferro é um elemento importante para a planta de arroz, pois faz parte das moléculas de vários compostos

orgânicos, tais como: quelatos, fitoferritina e enzimas; além de participar de vários processos vitais da planta, tais como: fotossíntese, respiração, fixação biológica do nitrogênio, assimilação do nitrogênio e do enxofre.

3 - MATERIAL E MÉTODO

3.1 Caracterização Geral do Experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Estado do Ceará, constando de um ensaio onde se comparou o desempenho da cultivar de arroz BR- IRGA 414, cultivada em solo submetido a diferentes condições de irrigação, fontes e doses de nitrogênio.

3.1.1 Solo

O solo utilizado foi um Aluvial de textura franco siltosa, coletado na camada superficial (0-20cm), no município de Limoeiro do Norte-CE. Foi analisado segundo a metodologia descrita em EMBRAPA (1979), cujos resultados encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1 - Algumas características físicas e químicas do solo utilizado no experimento.

Características	Valores
Areia (%)	20
Silte (%)	54
Argila (%)	26
Classe Textural	Franco Siltoso
densidade do solo (g/cm ³)	1,30
densidade da partícula (g/cm ³)	2,60
umidade a 1/3 atm (%)	25
umidade a 15 atm (%)	15
volume total de poros (%)	50
Fósforo extraível (mg/Kg)	17,00
Potássio trocável (mg/Kg)	171,00
Ferro trocável (mg/Kg)	286,32
Manganês trocável (mg/Kg)	168,40
Cobre trocável (mg/Kg)	2,02
Zinco trocável (mg/Kg)	5,14
Cálcio trocável (Cmol(+)/Kg)	11,20
Magnésio trocável (Cmol(+)/Kg)	4,20
Sódio trocável (Cmol(+)/Kg)	1,70
Alumínio trocável (Cmol(+)/Kg)	0,00

3.1.2 Cultivar

No experimento foi utilizado a cultivar de arroz BR-IRGA 414 procedente do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA) e suas principais características agronômicas encontram-se na Tabela 2.

3.1.3 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, constando de 12 tratamentos principais e 4 adicionais (testemunhas), descritos no Quadro 4; foram utilizadas três repetições, num total de 48 parcelas; cada parcela constituiu-se de um vaso plástico contendo 5,5 kg de solo e com quatro plantas de arroz.

Os dados das variáveis analisadas foram submetidos a análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Foram estimados as equações de regressão polinomial para a produção de grãos.

O modelo matemático utilizado foi:

$$Y_{ijklm} = u + F_i + D_j + C_k + FD_{ij} + FC_{ik} + DC_{jk} + FDC_{ijk} + ijklm$$

onde: $i = 1;2$ (fontes); $j = 1;2;3$ (doses); $K = 1;2$ (cultivo); $l = 1;2;3$ (repetições) e $m = 1;2;3;4$ (adicionais).

TABELA 2 - Principais características agronômicas da cultivar BR-IRGA 414, recomendada para cultivo irrigado.

Características	Valores Atribuídos
1- Lançamento (ano)	1973
2- Origem (cruzamento)	P 793-B4-38-1T
3- Planta:	
. vigor inicial	médio
. tolerância ao acamamento	boa
. ciclo de maturação (dias)	110-120
. maturação	uniforme
. inserção de panícula	mediana
. esterilidade floral (%)	15
. produtividade média (grãos c/casca em t/ha)	6,8
. folhas e colmos	lisos
4- Grão:	
. "patna", casca lisa de cor clara	longo
. degranação natural	mediana
. sem arista e apículo descolorido	na floração
. rendimento industrial (%)	65
. aparência do grão polido	vítrea
. teor de amilose (%)	26,9
. temperatura de gelatinização	baixa
. peso de 1.000 grãos c/casca (g)	31
. comprimento do grão polido (mm)	6,90
. largura do grão polido (mm)	2,24
. espessura do grão polido (mm)	1,86
5- Reação a doenças e estresses ambientais:	
. sensibilidade a brusone	pouca
. sensibilidade a doenças secundárias	pouca
. toxicidade por ferro	tolerante
. sensibilidade ao frio na fase reprodutiva	sensível
6- Tratos Culturais:	
. densidade média de sementes (kg/ha)	100-125
. cobertura nitrogenada	início fase reprodutiva

FONTE: EMBRAPA/CPATBA/UFPEL (1987)

3.1.4 Tratamentos

Foram utilizados 12 tratamentos principais e 4 adicionais (testemunhas: absolutas e sem nitrogênio) que se constituíram em variações dos níveis de água e nitrogênio, e das fontes de nitrogênio. Os tratamentos seguiram o arranjo fatorial 3x2x2 para três níveis de nitrogênio, dois níveis de água e duas fontes de nitrogênio (Tabela 3).

Os tratamentos contemplaram dois manejos de água: solo na submersão, (com uma lâmina d'água de 5cm) e solo na capacidade de campo. Como fonte de nitrogênio foram utilizados a uréia e o sulfato de amônio, em três doses: 2, 4 e 8gN/vaso. O tratamento testemunha absoluta não recebeu nenhum tipo de adubo, enquanto a testemunha com supressão apenas do nitrogênio recebeu os demais nutrientes. Exceto a testemunha absoluta todos os demais tratamentos receberam, na fundação, a seguinte adubação básica/vaso: P=0,5g, K=0,5g, Mn=20mg, Zn=40mg, Cu=7mg, B=2,5mg, Mo=2,0mg e Fe=24mg, nas formas de: superfosfato triplo, cloreto de potássio; sulfatos de manganês, zinco e cobre; tetraborato de sódio e molibdato de sódio, respectivamente, na forma de solução. Cada dose de nitrogênio foi parcelada em 4 vezes: na fundação, aos 20, 40 e 60 dias após a germinação, o que corresponde as fases de: plantio, perfilhamento, diferenciação do primórdio floral e floração, respectivamente.

TABELA 3 - Tratamentos utilizados no modelo experimental, para testar os efeitos do manejo da água e dos níveis de nitrogênio sobre o teor de ferro e a produção de arroz, cultivar BR-IRGA 414.

Tratamentos		Variáveis		
Nº	Símbolo	Cultivo	Fonte(N)	Dose (g/vaso)
1	T01	submersão	-	0
2	T02	submersão	-	0
3	T03	c. campo	-	0
4	T04	c. campo	-	0
5	T1	submersão	uréia	2
6	T2	submersão	uréia	4
7	T3	submersão	uréia	8
8	T4	submersão	s.amônio	2
9	T5	submersão	s.amônio	4
10	T6	submersão	s.amônio	8
11	T7	c. campo	uréia	2
12	T8	c. campo	uréia	4
13	T9	c. campo	uréia	8
14	T10	c. campo	s.amônio	2
15	T11	c. campo	s.amônio	4
16	T12	c. campo	s.amônio	8

T01 e T03 = testemunha absoluta

T02 e T04 = testemunha com supressão do nitrogênio

c. campo = capacidade de campo

s. amônio = sulfato de amônio

Os tratamentos com submersão contínua foram mantidos com uma pequena lâmina d'água logo após a germinação e que foi elevada até 5cm a proporção que as plantas cresciam. Para os tratamentos com o solo na capacidade de campo o nível de umidade foi controlado através de pesagens diárias. Foram feitas correções nas pesagens obtidas em vários períodos do crescimento, por uma estimativa do peso das plantas, para manter o solo na capacidade de campo.

3.1.5 Instalação, condução e colheita

As sementes foram submetidas a um controle fitossanitário, imersas em solução de hipoclorito de sódio diluída (10%) por 10 minutos e depois lavadas em água corrente e imersas em água por 24 horas, com a finalidade de facilitar a germinação. A seguir, foram semeadas 10 sementes em cada vaso. Sete dias após a germinação foi realizado o desbaste, deixando-se as quatro melhores plantas/vaso. Os adubos foram aplicados sob a forma de solução.

A colheita dos grãos e da matéria seca da parte aérea foi realizada aos 115 dias após a germinação, ocasião em que os grãos apresentavam baixo teor de umidade.

3.2.1 Peso da matéria seca da parte aérea

Entende-se por matéria seca da parte aérea a biomassa das raízes, colmos, folhas e parnículas estéreis seca à estufa e contendo ainda 2% de umidade.

Para a obtenção da matéria seca da parte aérea, as plantas foram cortadas a altura do colo (nível do solo), colocada em saco de papel e levada a estufa de circulação de ar forçada, a 70°C, por 3 dias para a completa desidratação. Após a secagem o material foi pesado e triturado em moinho do tipo Wiley, provido de facas de aço inoxidável e peneiras de 20 malhas por polegada quadrada e acondicionado em sacos de plástico para posteriores análises.

3.2.2 Produção de grãos

Após a colheita os grãos foram colocados em sacos de papel e levados ao sol para completar a secagem; a seguir foram feitas as pesagens.

3.2.3 Teores de nitrogênio e ferro na matéria seca

As amostras moídas foram submetidas a digestão nitro-perclórica para a preparação do extrato destinado a análise do ferro, realizada por espectrofotometria em absorção atômica. Para o nitrogênio as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e a seguir feita a análise pelo método Kjeldahl (semi-micro). Os métodos analíticos utilizados encontram-se descritos em MALAVOLTA (1989).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características Relacionadas ao Crescimento e Desenvolvimento do Arroz

4.1.1 Peso da Matéria Seca da Parte Aérea

Pela análise da Tabela 4, observa-se que houve respostas significativas, com relação ao peso de matéria seca da parte aérea do arroz (palha), nas seguintes fontes de variações: fonte (uréia e sulfato de amônio) e doses de nitrogênio; além da interação de 1ª ordem entre cultivo x fonte. Isso indica que tanto as doses de nitrogênio, como as suas fontes, bem como a interação entre cultivo x fonte, influenciam significativamente o peso de matéria seca da parte aérea das plantas de arroz. A não significância para o cultivo, no caso do solo em submersão, pode estar associada ao efeito tóxico causado pelo excesso de nitrogênio aliado a formação de H_2S . Para o solo na capacidade de campo a maior absorção do NH_4^+ poderá ser explicada pela presença do NO_3^- face ao balanço catiônico (MALAVOLTA, 1989).

Analisando-se os resultados da Tabela 5 constata-se que, em condições de capacidade de campo, o sulfato de amônio foi superior a uréia. Isto pode ser explicado em função do

TABELA 4 - Resumo da análise de variância (quadrados médios) para os pesos da matéria seca na parte aérea (palha) e dos grãos(g) da cultivar de arroz BR-IRGA 414 cultivada em dois sistemas de cultivo, duas fontes e três doses de nitrogênio.

Fontes de Variação	G.L	Quadrados médios	
		Matéria seca	Grãos
Tratamentos	15	-	-
Test. x Fatorial	1	3591,80	2,94 n.s
Entre Testemunha	3	7,41 n.s	3,19 n.s
Dentro do Fatorial	11	-	-
Cultivo	1	5,97 n.s	355,89 *
Fonte	1	189,06 *	4,62 n.s
Dose	2	1629,06 *	532,96 *
Cultivo x Fonte	1	534,53 *	1,02 n.s
Cultivo x Dose	2	4,43 n.s	125,26 *
Fonte x Dose	2	39,30 n.s	29,17 *
Cult. x Fonte x Dose	2	52,11 n.s	6,38 *
Resíduo	32	20,35	1,52
C.V (%)	-	20,80	20,28

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste F.
n.s - não significativo
Test. - Testemunha
Cult. - Cultivo

TABELA 5 - Valores médios de peso (g) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, em função das fontes de nitrogênio e dos sistemas de cultivo.

Fonte de Nitrogênio	Submersão	capacidade de campo
Uréia	27,83 Aa	20,94 Ba
Sulfato de Amônio	24,71 Aa	33,23 Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na mesma coluna e da mesma letra minúscula, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de TUKEY.

menor teor de umidade do solo, ter contribuído para a menor absorção do nitrogênio, e/ou menor redução do ânion $\text{SO}_4^{=}$ em H_2S , diminuindo assim o seu excesso (efeito tóxico).

Os dados referentes aos pesos médios de matéria seca na parte aérea encontram-se na Tabela 6.

De uma maneira geral, nas condições testadas, o peso de matéria seca na parte aérea é diferente dos resultados observados por KHAIRE & SONAR (1979), que ao estudarem o efeito do tempo de saturação do solo sobre a produção de matéria seca do arroz, verificaram um incremento desta, quando se aumentou o período de saturação do solo, e atribuíram este resultado ao maior conteúdo de nutrientes contidos em solos sob estas condições.

4.1.2 Produção de Grãos

Da análise da Tabela 4, pode-se concluir que houve respostas significativas, com relação a produção de grãos no arroz, nas fontes de variações: sistema de cultivo (submersão e capacidade campo) e doses de nitrogênio. Embora a fonte de nitrogênio não tenha influenciado de forma significativa na produção de grãos, as interações de 1ª ordem entre fonte x dose e cultivo x dose e a de 2ª ordem entre cultivo x fonte x dose são significativas, de modo que todos os fatores influenciaram na produção de grãos no arroz. De um modo

TABELA 6 - Valores médios de peso (g) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo, duas fontes e três doses de nitrogênio.

TRATAMENTO	SÍMBOLO	MÉDIAS
C1.F1.D1	T1	38,25
C2.F2.D1	T10	38,08
C1.F2.D1	T4	36,14
C2.F2.D2	T11	36,55
C2.F1.D1	T7	34,87
C1.F1.D2	T2	30,87
C1.F2.D2	T5	26,32
C2.F2.D3	T12	24,47
C2.F1.D2	T8	22,34
C1.F1.D3	T3	14,38
C1.F2.D3	T6	11,68
C2.F1.D3	T9	5,62
C1.F0.D0	T02	7,84
C2.F0.D0	T04	8,08

C1= Submersão;
F1= Uréia;
D1= 2gN/vaso;

C2= Capacidade de Campo;
F2= Sulfato de Amônio;
D2= 4gN/vaso;

F0=ausência de adubo
D0=0gN/vaso
D3= 8gN/vaso.

geral, Tabela 7, observa-se que a produção de grãos decresce, com o aumento das doses de nitrogênio, para os dois sistemas de cultivo; sendo que o sistema de submersão, estes decréscimos foram superiores àqueles na capacidade de campo, nas doses 2 e 4gN /vaso. Esses resultados mostram que o arroz pode sofrer "stress hídrico" em tensão de umidade tão baixa quanto 0,33 bares (capacidade de campo) (SANCHEZ, 1976), especialmente por se tratar de uma cultivar indicada para o cultivo em condições de submersão. Para FAGERIA (1980) é na fase reprodutiva que o arroz apresenta maior sensibilidade às variações de umidade, pois a deficiência de água, nesse período, além de retardar a floração, proporciona alta esterilidade nas espiguetas, com redução na produção de grãos.

Relacionando-se as doses de nitrogênio com os sistemas de cultivo, Tabela 7, observa-se que, para o sistema de submersão, as doses de nitrogênio diferiram significativamente, e que a dose 2g de nitrogênio/vaso foi superior as demais; com relação ao cultivo na capacidade de campo, observa-se que a dose 2g de nitrogênio/vaso difere significativamente das demais doses e que estas não diferem entre si. Como o cultivo em submersão com 2g de nitrogênio/vaso apresentou uma produção superior aos outros tratamentos, pode-se afirmar que este tratamento mostrou-se mais eficiente para a produção de grãos. Comportamento semelhante é verificado, quando se relaciona doses de

TABELA 7 - Valores médios de produção de grãos (g) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, em função das doses de nitrogênio relacionadas com as fontes e os sistemas de cultivo.

Doses de Nitrogênio (g/vaso)	Fonte Nitrogênio		Cultivo	
	Uréia	S. Amônio	Submersão	C. Campo
2	15,58 Aa	11,35 Ab	19,83 Aa	7,09 Ab
4	4,01 Ba	5,74 Ba	8,04 Ba	1,71 Bb
8	0,16 Ca	0,52 Ca	0,24 Ca	0,44 Ba

S. Amônio - Sulfato de Amônio.

C. Campo - Capacidade de Amônio.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na mesma coluna e da mesma letra minúscula, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de TUKEY.

nitrogênio com as fontes deste elemento, pois, independente da fonte, as doses de nitrogênio diferem significativamente, sendo que a dose 2g de nitrogênio/vaso é superior as demais. Como a fonte de nitrogênio na forma de uréia, com 2g de nitrogênio/vaso apresenta uma produção superior aos outros tratamentos, pode-se dizer que este tratamento mostra-se superior aos demais para a produção de grãos.

A elevação das doses de nitrogênio, independente da fonte, reduz a produção de grãos em quaisquer dos dois sistemas de cultivo. É possível que o efeito osmótico, causado pelo excesso de nitrogênio, tenha levado à perda da turgescência e ao fechamento dos estômatos, reduzindo as trocas gasosas, e a taxa de fotossíntese, e contribuiu para a redução do crescimento e da produção de grãos (KRAMER, 1974).

Na Tabela 8, encontram-se os valores médios de produção de grãos, registrados em ordem decrescente e ordenados em 5 grupos, de acordo com as suas semelhanças (segundo o teste Tukey) e assim descritos: Grupo 1{T1}; Grupo 2{T4}, Grupo 3{T2, T5 e T7}, Grupo 4{T2, T7 e T10} e Grupo 5{T3, T6, T8, T9, T11 e T12}. O Grupo 1, constituído pelo tratamento T1 (submersão-uréia-2gN/vaso), é superior aos demais grupos de tratamentos, indicando que, em condições de alta umidade, há maior disponibilidade de nutrientes e por conseguinte uma maior absorção do nitrogênio (HALM, 1967; SUBRAMANIAN & RAJAGOPALAN, 1980; HERNANDEZ, 1969; BARBOSA FILHO et alii, 1983). O Grupo 2, constituído pelo tratamento

TABELA 8 - Valores médios de produção de grãos(g) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo, duas fontes e três doses de nitrogênio.

Tratamento	Símbolo	Grupo	Médias
C1.F1.D1	T1	1	22,79 a
C1.F2.D1	T4	2	16,86 b
C1.F2.D2	T5	3	9,50 c
C2.F1.D1	T7	3;4	8,36 cd
C1.F1.D2	T2	3;4	6,57 cd
C2.F2.D1	T10	4	5,83 d
C2.F2.D2	T11	5	1,97 e
C2.F1.D2	T8	5	1,45 e
C2.F2.D3	T12	5	0,87 e
C1.F1.D3	T3	5	0,32 e
C1.F2.D3	T6	5	0,17 e
C2.F1.D3	T9	5	0,00 e
C1.F0.D0			5,73
C2.F0.D0			6,88

C1= Submersão; C2= Capacidade de Campo; F0=ausência de adubo
 F1= Uréia; F2= Sulfato de Amônio; D0=0gN/vaso
 D1= 2gN/vaso; D2= 4gN/vaso; D3= 8gN/vaso.

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de TUKEY.

T4 (submersão-sulfato de amônio-2gN/vaso), mostra-se inferior ao primeiro grupo e superior aos demais, evidenciando a superioridade da uréia sobre o sulfato de amônio nas mesmas doses e condições de cultivo. MALAVOLTA (1954) verificou que a redução no desenvolvimento das plantas de arroz alimentadas com amônio foi devida, não ao acúmulo de grande quantidade do mesmo, mas sim, a implicações nos mecanismos fotossintético e respiratório. Segundo VIETS (1965) a absorção de nitrogênio na forma de NH_4^+ influi negativamente na absorção dos cátions, particularmente na do K^+ ; além de reduzir o nível de ácidos orgânicos, devido a rápida produção de aminoácidos e amidas. O Grupo 3, constituído pelos tratamentos: T2, T5 e T7 (submersão-uréia-4gN/vaso; submersão-sulfato de amônio-4gN/vaso; capacidade de campo-uréia-2gN/vaso, respectivamente), mostra que ao se elevar a dose de nitrogênio, dentro das mesmas condições de umidade, a produção de grãos é semelhante àquela obtida com um menor nível de nitrogênio e menor teor de umidade no solo, o que demonstra o efeito tóxico do excesso de nitrogênio e/ou elevação do potencial osmótico (T2, T5), bem como o stress hídrico (T7) na produção do arroz. O Grupo 4, constituído pelos tratamentos: T2, T7 e T10 (T10 = capacidade de campo-sulfato de amônio - 2gN/vaso), mostra que ao se elevar a dose de nitrogênio, mesmo mantendo-se o solo submerso ele é equivalente a um cultivo com menor nível de nitrogênio e menor teor de umidade no solo. Este fato vem reforçar o

efeito negativo do excesso de nitrogênio. O Grupo 5, representado pelos tratamentos: T3, T6, T8, T9, T11 e T12 (submersão-uréia-8gN/vaso; submersão-sulfato de amônio-8gN/vaso; capacidade de campo-uréia-4gN/vaso; capacidade de campo-uréia-8gN/vaso; capacidade de campo-sulfato de amônio-4gN/vaso e capacidade de campo-sulfato de amônio-8gN/vaso, (respectivamente), não mostram diferenças significativas, face ao efeito prejudicial do excesso de nitrogênio, mesmo em condições de umidade mais elevada no solo.

Observa-se que o melhor tratamento, para a produção de grãos, é o T1 (solo na submersão e 2gN/vaso sob a forma de uréia); é provável que sua superioridade sobre o tratamento T4 (solo na submersão e 2gN/vaso sob a forma de sulfato de amônio) esteja associada à ausência do ânion $SO_4^{=}$ que, ao se reduzir, favorece a formação do H_2S , podendo alcançar níveis tóxicos ao arroz, além de inibir a absorção de outros elementos, conforme constatado por BARBOSA FILHO (1987). Verifica-se também a ausência de produção de grãos, no tratamento T9 (solo na capacidade de campo e 8gN/vaso sob a forma de uréia). É provável que a interação dos efeitos prejudiciais a cultura do arroz, como: stress hídrico, excesso de nitrogênio e elevação da pressão osmótica da solução, sejam os responsáveis pela ausência de produção.

Estes resultados permitem inferir que, a dose de nitrogênio foi o principal responsável pela variação na produção de grãos. Os níveis de nitrogênio mais elevados são

altamente prejudiciais a cultura do arroz (Tabela 8), independente do teor de umidade do solo e da fonte de nitrogênio utilizada. Trabalhos semelhantes foram desenvolvidos por Mitisui; Baba et alii citados por MORAES (1973), mostrando que a absorção do nitrogênio é a menos afetada pelas condições de oxi-redução.

O estudo da regressão polinomial (Tabela 9), para o sistema de cultivo em condições de submersão, associado a utilização da uréia como fonte de nitrogênio, não apresenta relação funcional com a produção de grãos, face a não significância dos coeficientes de 1º e 2º graus, associados ao alto coeficiente de variação (79,64) e ao baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,48$). Entretanto, para o mesmo sistema de cultivo, associado a utilização do sulfato de amônio como fonte de nitrogênio, ocorre uma dependência significativa ($R^2 = 0,73$), com a produção de grãos, do tipo quadrática e com o coeficiente de 2º grau negativo, representada na Figura 1. Todavia, para o sistema de cultivo em condições de capacidade de campo, utilizando-se a uréia como fonte de nitrogênio, não existe dependência significativa, para a produção de grãos. Este fato não pode ser justificado pelo elevado coeficiente de variação, embora o coeficiente de determinação tenha sido elevado. Contudo, o sistema de cultivo em condições de capacidade de campo, associado a utilização do sulfato de amônio como fonte de de nitrogênio, apresenta uma dependência significativa

TABELA 9 - Coeficientes das equações de regressão polinomial, segundo o modelo $Y = a + b_1x + b_2x^2$, para a produção de grãos (g) da cultivar de arroz BR - IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo e duas fontes de nitrogênio.

Parâmetros	Submersão		Capacidade de Campo	
	Uréia	S. Amônio	Uréia	S. Amônio
a	9,1673	7,3911	7,9363	7,2930
b1	3,3894 n.s	3,6857 *	-1,1725 n.s	-1,4302 *
b2	-0,5798 n.s	-0,5822 *	0,0177 n.s	0,0763 n.s
R2	0,4800	0,7300	0,7200	0,8600
C.V (%)	79,6400	46,2200	52,1900	28,5400

S. Amônio - Sulfato de Amônio

C. Campo - Capacidade de Campo

R2 - coeficiente de determinação

C.V - coeficiente de variação

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste F.

n.s - não significativo

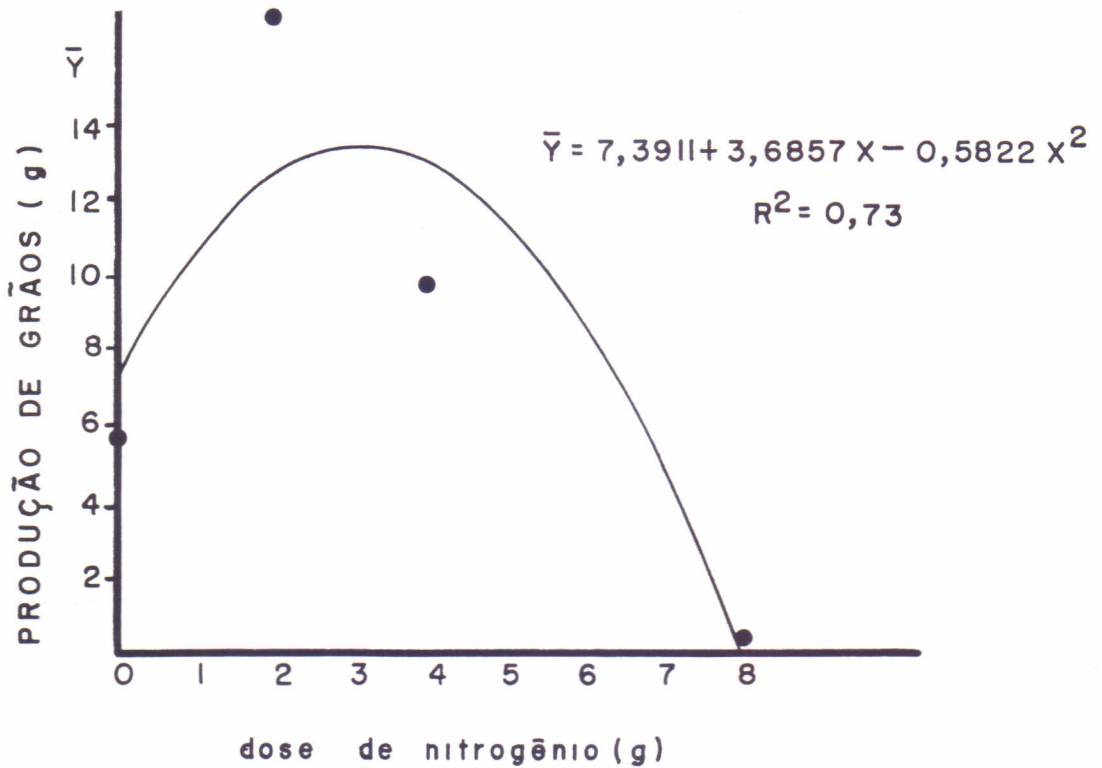


FIGURA 1 - Efeito dos Níveis de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio, sobre a produção de grão da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em condições de submersão.

($R^2=0,86$), com a produção de grãos, do tipo linear decrescente, representada na Figura 2. A relação funcional entre a produção de grãos nos diferentes sistemas de cultivo, só é significativa quando associada ao sulfato de amônio como fonte de nitrogênio. Este fato pode estar associado a presença do enxofre no sulfato de amônio, que, na solução do solo, poderá contribuir como nutriente além de diminuir a concentração do ferro disponível, face a formação de sulfeto de ferro (FeS).

4.2 Características Relacionadas a Absorção de Nitrogênio e Ferro

4.2.1 Nitrogênio

Através da análise da Tabela 10, observa-se que houve respostas significativas, em relação ao teor de nitrogênio da matéria seca na parte aérea do arroz, nas seguintes fontes de variações: cultivo (submersão e capacidade de campo), fonte (uréia e sulfato de amônio), dose, cultivo x fonte, cultivo x dose, fonte x dose e cultivo x fonte x dose.

Analisando-se os resultados da Tabela 11, constata-se que o teor de nitrogênio da matéria seca na parte aérea do arroz cresce significativamente com o aumento das doses de nitrogênio, tanto para as fontes de nitrogênio como

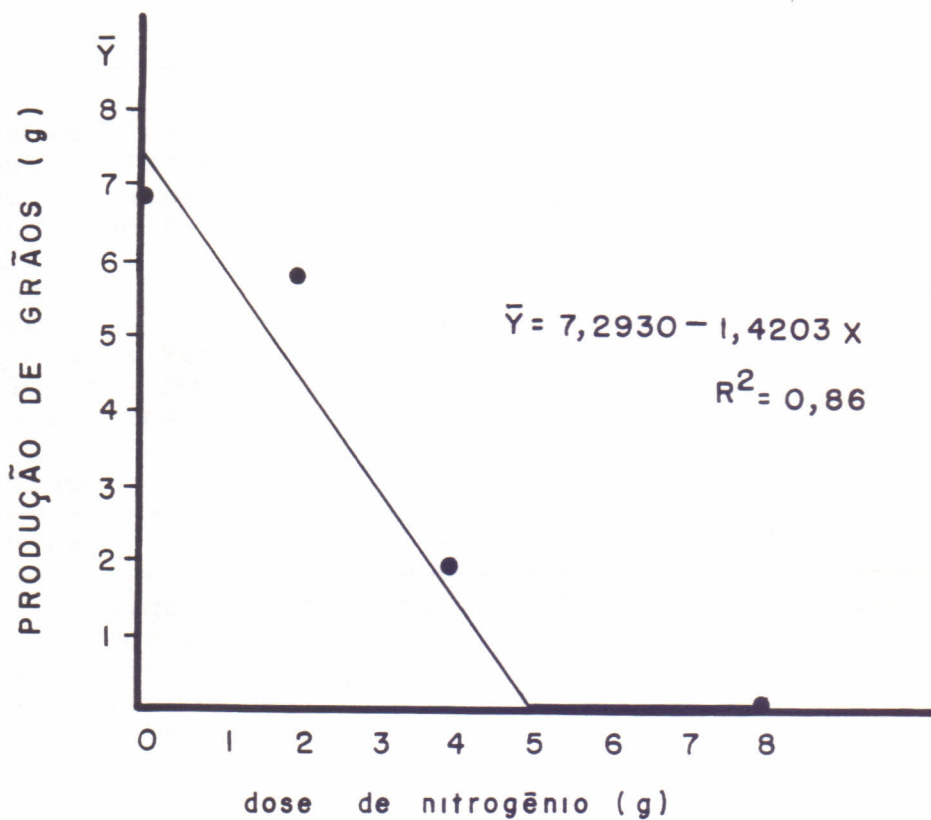


FIGURA 2 - Efeito dos níveis de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio, sobre a produção de grão da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em condições de capacidade de campo.

TABELA 10 - Resumo da análise de variância (quadrados médios) para os teores de nitrogênio (%) e ferro (ppm) da matéria seca na parte aérea (palha), da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo, duas fontes e três doses de nitrogênio.

Fontes de Variação	G.L	Quadrado médio	
		Nitrogênio	Ferro
Tratamentos	15	-	-
Test. x Fatorial	1	42,52 *	605,04 n.s
Entre Testemunha	3	0,01 n.s	185.996,42 *
Dentro do Fatorial	11	-	-
Cultivo	1	0,34 *	501.991,15 *
Fonte	1	1,92 *	150.448,30 *
Dose	2	13,83 *	792.440,39 *
Cultivo x Fonte	1	0,32 *	12.667,50 n.s
Cultivo x Dose	2	1,52 *	12.611,51 n.s
Fonte x Dose	2	0,57 *	303.892,09 *
Cult. x Fonte x Dose	2	0,42 *	1.620,51 n.s
Resíduo	32	0,02	17.336,45
C.V (%)	-	6,31	25,56

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste F.

n.s - não significativo

Test.- Testemunha

Cult.- Cultivo

TABELA 11 - Valores médios do teor de nitrogênio (%) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, em função das doses de nitrogênio relacionadas com as fontes e os sistemas de cultivo.

Doses de Nitrogênio (g/vaso)	Fonte de Nitrogênio		Cultivo	
	Uréia	S. Amônio	Submersão	C.Campo
2	1,54 Cb	1,95 Ca	1,54 Cb	1,95 Ca
4	2,70 Ba	2,75 Ba	2,73 Ba	2,72 Ba
8	3,43 Ab	4,35 Aa	4,38 Aa	3,40 Ab

S. Amônio - Sulfato de Amônio.

C. Campo - Capacidade de Amônio.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na mesma coluna e da mesma letra minúscula, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de TUKEY.

para os sistemas de cultivo. O cultivo em condições de submersão, com a aplicação de 8gN/vaso apresentou os teores mais elevados de nitrogênio na parte aérea. Isto pode ter ocorrido porque a absorção do nitrogênio se dá quase totalmente por fluxo de massa, sendo desta maneira favorecida pelo maior conteúdo de água no solo (HALM, 1967). De acordo com BIWAS & MARAPATRA (1980), a absorção mais elevada de nitrogênio em condições de alta umidade do solo, pode ser devido a maior disponibilidade de outros elementos nestas condições. Maiores valores na absorção de nitrogênio, em solos saturados ou próximos a saturação, são observados por EPSTEIN (1975); HERNANDEZ (1969); PANDE & MITTRA (1970); SUBRAMANIAN & RAJAGOPALAN (1980); MEDEIROS (1980).

A comparação entre fontes e doses de nitrogênio e o seu teor na parte aérea da planta, foi superior na de 8gN/vaso sob a forma de sulfato de amônio. É possível que esta superioridade do sulfato de amônio sobre a uréia, se deva ao seu suprimento em enxofre, além do nitrogênio.

A análise dos teores de nitrogênio da matéria seca na parte aérea contidos na Tabela 12, revela que, em condições de submersão o sulfato de amônio é superior a uréia. Porém, em condições de capacidade de campo as duas fontes de nitrogênio apresentam efeitos semelhantes. Verifica-se ainda que, o sistema de cultivo em submersão é superior a capacidade de campo para o nitrogênio fornecido na forma de sulfato de amônio.

TABELA 12 - Valores médios do teor de nitrogênio (%) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, em função das fontes de nitrogênio e dos sistemas de cultivo.

Fonte de Nitrogênio	Submersão	Capacidade de Campo
Uréia	2,56 Ba	2,55 Aa
Sulfato de Amônio	3,21 Aa	2,82 Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na mesma coluna e da mesma letra minúscula, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de TUKEY.

Na Tabela 13 encontram-se os dados médios dos teores de nitrogênio na parte uréia registrados em ordem decrescente (segundo teste Tukey) e ordenadas em 5 grupos, de acordo com as suas semelhanças e assim descritos: Grupo 1 (T6); Grupo 2 (T3, T9 e T12); Grupo 3 (T2, T5, T8 e T11); Grupo 4 (T10) e Grupo 5 (T1, T4 e T7). O Grupo 1, constituído pelo tratamento T6 (submersão-sulfato de amônio-8gN/vaso), é superior aos demais grupos de tratamentos. Isto demonstra que, em condições de alta umidade e elevada concentração de nitrogênio, há maior disponibilidade de nutrientes e portanto, maior absorção de nitrogênio (BARBOSA FILHO et alii, 1983). O Grupo 2, formado pelos tratamentos T3, T9 e T12 (submersão-uréia-8gN/vaso, capacidade de campo-uréia-8gN/vaso; capacidade de campo-sulfato de amônio-8gN/vaso, respectivamente), mostra-se inferior ao primeiro grupo e superior aos demais, por apresentar uma concentração elevada de nitrogênio (8gN/ vaso). Grupo 3, formado pelos tratamentos T2, T5, T8 e T11 (submersão-uréia-4gN/ vaso, submersão-sulfato de amônio-4gN/vaso, capacidade de campo-uréia-4gN/vaso e capacidade de campo-sulfato de amônio-4gN/vaso, respectivamente) revela que, independente da fonte e do teor de umidade, a dose de nitrogênio (4gN/vaso) é que nivela os tratamentos. O Grupo 4, composto pelo tratamento T10 (capacidade de campo-sulfato de amônio-2gN/vaso), mostrou que, para a menor dose de nitrogênio (2gN/vaso) em condições

TABELA 13 - Valores médios do teor de nitrogênio (%) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo, duas fontes e três doses de nitrogênio.

Tratamento	Símbolo	Grupo	Médias
C1.F2.D3	T6	1	5,15 a
C1.F1.D3	T3	2	3,61 b
C2.F2.D3	T12	2	3,55 b
C2.F1.D3	T9	2	3,25 b
C2.F2.D2	T11	3	2,76 c
C1.F2.D2	T5	3	2,73 c
C1.F1.D2	T2	3	2,72 c
C2.F1.D2	T8	3	2,67 c
C2.F2.D1	T10	4	2,16 d
C1.F2.D1	T4	5	1,74 e
C2.F1.D1	T7	5	1,73 e
C1.F1.D1	T1	5	1,34 e
C1.F0.D0	T02	-	0,64
C2.F0.D0	T04	-	0,57

C1= Submersão; C2= Capacidade de Campo; F0=ausência de adubo
 F1= Uréia; F2= Sulfato de Amônio; D0=0gN/vaso
 D1= 2gN/vaso; D2= 4gN/vaso; D3= 8gN/vaso.

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de TUKEY.

de menor umidade, o sulfato de amônio é superior a uréia. O Grupo 5, constituído pelos pelos tratamentos T1, T4 e T7 (submersão-uréia-2gN/vaso, submersão-sulfato de amônio-2gN/vaso e capacidade de campo-uréia-2gN/vaso, respectivamente), mostra que, mesmo em condições de maior umidade, a menor dose de nitrogênio (2g/vaso) é que nivela os tratamentos.

Da análise dos resultados, verifica-se que o tratamento, que apresentou o maior teor de nitrogênio na parte aérea do arroz, é o T6, solo na submersão e 8g de nitrogênio/vaso sob a forma de sulfato de amônio. Verifica-se também que os tratamentos inferiores (Grupos 4 e 5) estão associados às menores doses de nitrogênio revelando que as baixas concentrações deste elemento na solução (2g/vaso), mesmo em condições de alta umidade, refletem os baixos teores encontrados na matéria seca da parte aérea.

4.2.2 Ferro

Analisando-se a Tabela 10, verifica-se que houve interações significativas com relação ao teor de ferro da matéria seca na parte aérea, nas seguintes fontes de variações: sistema de cultivo (submersão e capacidade de campo), doses e fontes de nitrogênio. Avaliando-se a Tabela 14 observa-se que os sistemas de cultivo diferem significativamente para o teor de ferro na parte aérea, sendo

o cultivo na submersão superior ao na capacidade de campo. Estes resultados revelam que em condições anaeróbicas os óxidos de ferro férrico (Fe^{3+}) são reduzidos a forma ferrosa (Fe^{2+}) que é mais intensamente absorvida pelas plantas de arroz; a maior absorção de Fe^{2+} está relacionada com a capacidade que as raízes possuem de efetuar, na superfície externa do plasmalema, a redução do Fe^{3+} para o Fe^{2+} , onde o elétron é fornecido pelo sistema das flavinas ou dos citocromos (CHEANEY, 1965; OBERMULLER & MIKKELSEN, 1974; SAHRAWAT 1979; MALAVOLTA, 1980; KUMAR et alii, 1981). A saturação do solo também favorece a deposição de óxidos férricos, na superfície das raízes conferindo-lhes uma coloração castanho avermelhada e provocando assim uma desordem fisiológica indireta, induzida por baixos níveis de P, K, Ca e Mg e não por um fluxo excessivo de altas quantidades de ferro móvel (OTTOW et alii, 1982; SANTOS FILHO, 1987; HOWELLER, 1973). A oxidação do ferro a nível de rizosfera (poder de oxidação radicular), contribui para reduzir a sua toxidez; a formação de uma camada de óxido férrico dificulta a absorção de muitos nutrientes e as trocas gasosas das raízes com o meio (TAKIJIMA, 1965; TANAKA et alii, 1966; BACHA & HOSSNER, 1979; CHEN et alii, 1980).

Na Tabela 15, encontram-se registrados os valores médios referentes aos teores de ferro (mg/Kg) na matéria seca da parte aérea.

TABELA 14 - Valores médios do teor de ferro (mg/Kg) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo.

Sistema de Cultivo	Média
Submersão	631,07 a
Capacidade de Campo	394,89 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de TUKEY.

TABELA 15 - Valores médios do teor de ferro (mg/Kg) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo, duas fontes e três doses de nitrogênio.

TRATAMENTO	SÍMBOLO	MÉDIA
C1.F1.D3	T3	1.183,32
C2.F1.D3	T9	922,71
C1.F2.D3	T6	736,58
C1.F2.D2	T5	529,35
C1.F1.D2	T2	504,35
C1.F2.D1	T4	490,99
C2.F2.D3	T12	381,79
C1.F1.D1	T1	343,19
C2.F2.D2	T11	297,40
C2.F1.D2	T8	295,82
C2.F2.D1	T10	255,29
C2.F1.D1	T7	216,37
C1.F0.D0	T02	462,38
C2.F0.D0	T04	251,08

C1= Submersão; C2= Capacidade de Campo; F0=ausência de adubo
 F1= Uréia; F2= Sulfato de Amônio; D0=0gN/vaso
 D1= 2gN/vaso; D2= 4gN/vaso; D3= 8gN/vaso.

Avaliando-se a Tabela 16, verifica-se que, para o teor de ferro da matéria seca na parte aérea, apenas a utilização da uréia como fonte de nitrogênio na dose 8g de nitrogênio/vaso difere significativamente das demais, enquanto que estas não diferem entre si. Quando se utiliza o sulfato de amônio como fonte de nitrogênio, não há diferença significativa entre as doses. É possível também que, a dose mais elevada do nitrogênio (8g/vaso) tenha contribuído para uma maior absorção de ferro, face ao melhor estado nutricional das plantas (CAMARGO & SILVA, 1975; GRAEME, 1978).

No estudo da regressão polinomial (Tabela 17), observa-se que para o teor de ferro da matéria seca na parte aérea do arroz, tanto cultivo em condições de submersão como na capacidade de campo associados a utilização da uréia como fonte de nitrogênio, existe uma resposta quadrática significativa, com coeficiente do 2º grau positivo representada nas Figuras 3 e 4. Todavia, quando o sistema de cultivo (submersão ou capacidade de campo) está associado a utilização do sulfato de amônio como fonte de nitrogênio, a resposta não é significativa.

A relação de dependência funcional, entre nitrogênio aplicado sob a forma de uréia e o teor de ferro da matéria seca na parte aérea do arroz, pode estar associada a ausência do enxofre, na uréia. Este, quando presente na solução do

TABELA 16 - Valores médios do teor de ferro (mg/Kg) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, em função das doses de nitrogênio relacionadas com as fontes e os sistemas de cultivo.

Doses de Nitrogênio (g/vaso)	Fonte de Nitrogênio	
	Uréia	Sulfato de Amônio
2	279,78 Ba	373,14 Aa
4	400,08 Ba	412,68 Aa
8	1.053,02 Aa	559,18 Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na mesma coluna e da mesma letra minúscula, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste de TUKEY.

TABELA 17 - Coeficientes das equações de regressão polinomial, segundo o modelo $Y = a + b_1x + b_2x^2$, para o teor de ferro (mg/Kg) da matéria seca na parte aérea (palha) da cultivar de arroz BR-IRGA 414, cultivada em dois sistemas de cultivo e duas fontes de nitrogênio.

Parâmetros	Submersão		Capacidade de Campo	
	Uréia	S. Amônio	Uréia	S. Amônio
a	477,0431	492,9146	263,6817	257,1622
b1	-91,6088 n.s	-12,3790 n.s	-63,5997 n.s	0,4616 n.s
b2	22,5665 *	5,3519 n.s	18,2335 *	1,9099 n.s
R2	0,8300	0,4300	0,9000	0,3200
C.V (%)	27,0600	24,1000	25,9000	28,0900

S. Amônio - Sulfato de Amônio

C. Campo - Capacidade de Campo

R2 - coeficiente de determinação

C.V - coeficiente de variação

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

n.s - não significativo

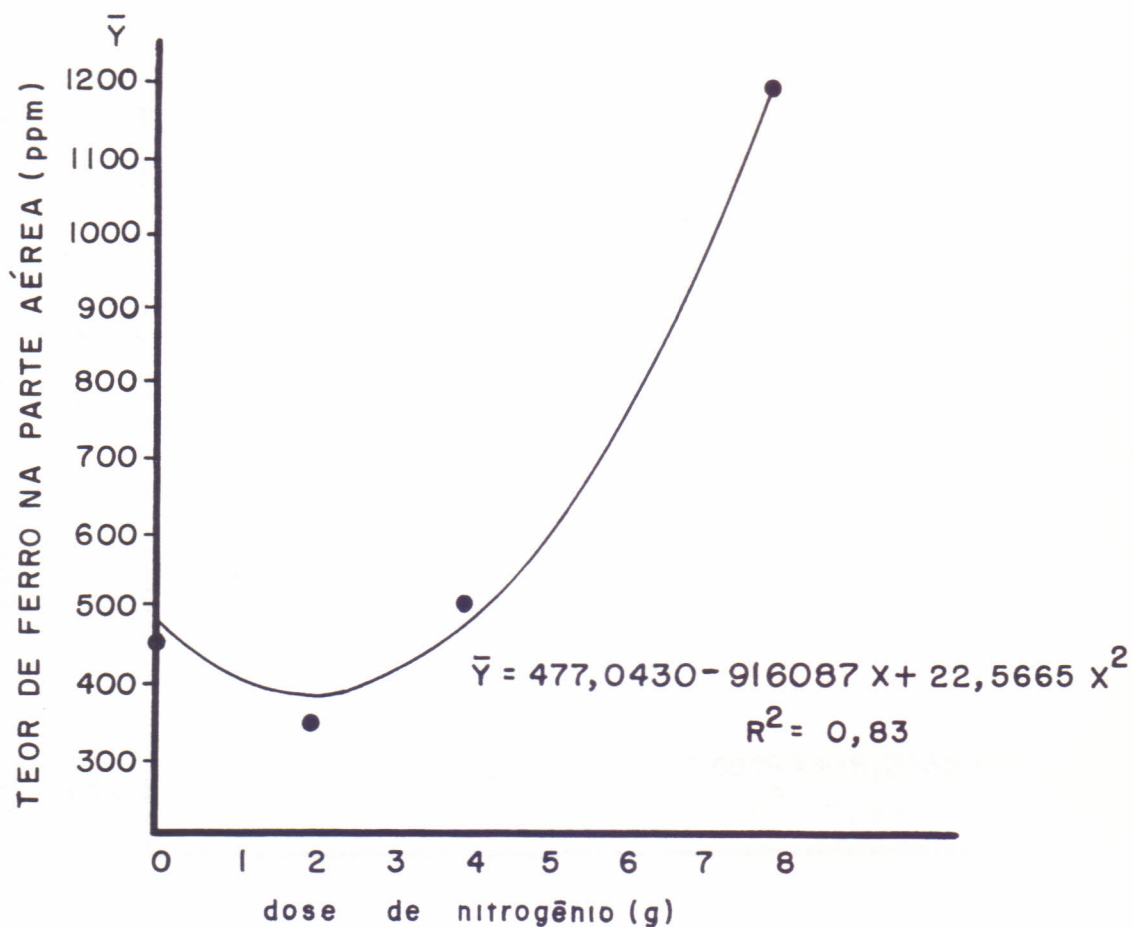


FIGURA 3 - Efeito dos níveis de nitrogênio, na forma de uréia, sobre o teor de ferro na parte aérea da cultivar de arroz BR - IRGA 414, cultivada em condições de submerção.

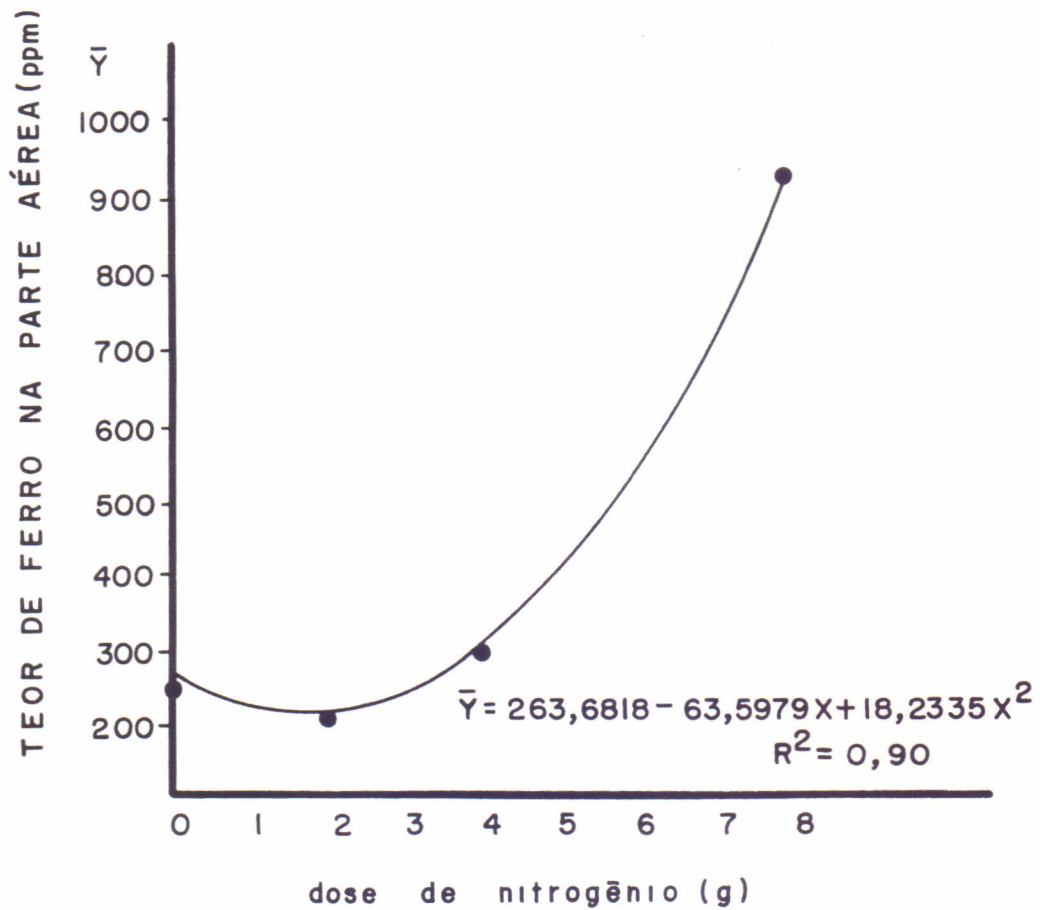


FIGURA 4 - Efeito dos níveis de nitrogênio, na forma de uréia, sobre o teor de ferro na parte aérea da cultivar de arroz BR - IRGA 414, cultivada em condições de capacidade de campo.

solo, poderá reduzir a concentração do ferro, face a formação do sulfeto de ferro (FeS). Diversos fatores tais como o estado nutricional da planta, a atividade fisiológica das raízes e o ambiente, podem também influir na reação das plantas de arroz à toxidez de ferro (TAKIJIMA, 1965; BATES, 1970; EPSTEIN, 1975; TROLIDENIER, 1977; JAYAWARDENA et alii, 1977; YOSHIDA, 1981).

5 - CONCLUSÃO

Levando-se em conta as condições em que foi conduzido o experimento e, com base nos resultados obtidos, pode-se tirar as conclusões seguintes:

1) A produção de matéria seca da parte aérea (palhas) do arroz foi superior quando se utilizou o sulfato de amônio como fonte de nitrogênio, em condições de capacidade de campo.

2) A aplicação de 2 gramas de nitrogênio por vaso, sob a forma de uréia, em condições de submersão, foi o tratamento que proporcionou a maior produção de grãos no arroz.

3) O excesso de nitrogênio afeta negativamente a produção de grãos no arroz, independente da fonte utilizada e do manejo da água.

4) O maior teor de nitrogênio na matéria seca da parte aérea do arroz, foi alcançada com aplicação de 8 gramas de nitrogênio por vaso, sob a forma de sulfato de amônio, em condições de submersão.

5) De um modo geral, a dose 2 gramas de nitrogênio por vaso foi aquela que apresentou maior produção de grãos e menores teores de nitrogênio e ferro na matéria seca da parte aérea do arroz (palha).

6 - SUGESTÕES

Sugere-se repetir este trabalho, em condições de campo; considerando-se os seguintes aspectos:

1) Observar as diferenças entre cultivares tolerantes e sensíveis à toxidez de ferro quando adubadas com diferentes fertilizantes nitrogenados.

2) Trabalhar com níveis mais baixos de nitrogênio, variando-os de 0,1 a 0,5 g/vaso em condições de submersão e capacidade de campo.

3) Avaliar os efeitos do manejo da água sobre a toxicidade de ferro em arroz irrigado, utilizando-se cultivares sensíveis e tolerantes.

4) Verificar os efeitos da toxidez de ferro na produção de grãos e na absorção dos nutrientes em arroz irrigado.

5) Estudar a dinâmica dos nutrientes em solos submersos.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACHA, R.E & HOSSNER, L.R. Efeitos da aplicação de ferro e manganês sobre as raízes do arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado. IN: REUNIÃO DE TÉCNICOS EM RIZICULTURA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1, Campinas, 1979. *Anais...*, Campinas, CATI, 1979, p.201-6.

BARBER, D.A. The movement of 150 though barley and rice plant. *Journal of experimental Botany*. 13(39):397-403, 1962.

BARBOSA FILHO, M.P.; FAGÉRIA, N.K. & STONE, L.F. Manejo d'água e calagem em relação a produtividade e toxicidade de ferro em arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 18(8):903-10, 1983.

BARBOSA FILHO, M.P. Nutrição e adubação do arroz: sequeiro e irrigado. Associação Brasileira para Pesquisa do Potássio e do Fósforo. Piracicaba, *Boletim Técnico*, 9. 1987. 120p.

BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluations a review. *Soil Science*, 112:116-30, 1971.

BEGG, J.E. & TURNER, N.C. Crop water deficits. *Advances in Agronomy*, New York, 28:161-217, 1976.

BRANDÃO, S.S. *Cultura do arroz*. Viçosa, UFV, 1974. 194p.

BRUNINI, O.; GROHMANN, F.; SANTOS, J.M. dos. Balanço hídrico em condições de campo para dois cultivares de arroz sob duas densidades de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 5(1):1-6, jan./abr. 1981.

BIWAS, B.C. & MAHAPAPATRA, I. Uptake of plant nutrients by direct seeded rice (Pusa 2-21) under well-drained and waterlogged conditions. *Indian Journal Agronomy*, New Delhi, 25(3):471-8, sept. 1980.

CAMARGO, P.N. & SILVA, O. *Manual de Adubação foliar*. São Paulo. La Libéria Divulgação de Obras Culturais Ltda. 1975, 255p.

CHAUDHRY, M.S & McLEAN, E.O. Comparative effects of flooded and unflooded soil conditions and nitrogen application on growth and nutrient uptake by rice plants. *Agronomy Journal*, Madison, 55(6):565-7, nov./dic. 1965.

CHEANNEY, R.L. O manejo d'água. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre 26(274):36-48, jul./ago., 1973.

CHEN, C.C; DIXON, J.B. & TURNER, F.T. Iron coating on rice roots mineralogy and quality influencing factors. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 44:635-9, 1980.

CLARK, R.B. Genotypic differences to mineral. *Plant and Soil*, 72:174-8, 1983.

CRIST, D.H. *Arroz*. México, Continental, 1982. 716p.

DAKER, A. Irrigação e drenagem. In: *À água na agricultura*, 5 ed., Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1976. V.3, 453p.

DAS, D.K. & JAT, R.L. Influence of three soil water regimes on root porosity and growth of four rice varieties. *Agronomy Journal*, Madison, 69(2):197-200, mar./abr., 1977.

DEL GIUDICE, R.M. Nutrição mineral e adubação do arroz. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 5(55):40-50, 1979.

DEL GIUDICE, R.M.; HAAG, H.P.; THIÉBAUT, J.T.I.; DECHEN, A.R. Absorção cumulativa de nutrientes minerais em duas variedades de arroz (*Oriza sativa* L.) cultivados em três diferentes níveis de disponibilidade d'água. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 115p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, SNLCS, 1979.

EMBRAPA/CPTABA/UFPEL - Características da cultivar BR-IRGA 414. 1987.

ENYI, B.A. Comparative studies of upland and swamp rice varieties (*Oryza sativa* L.) I. Effect of soil moisture on growth and nutrient uptake. *The Journal Agricultural Science*, New Delhi, 71(3):1-13, 1968.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: Princípios e perspectivas.** Rio de Janeiro, Ed. da Universidade de São Paulo, 1975. 341p.

FAGÉRIA, N.K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz.** Goiânia, EMBRAPA/CNPAF, 1984. 341p.

FAGÉRIA, N.K. Química de solos de várzea. In: **Simpósio Avançado de Solos e Nutrição de Plantas, 2**, Piracicaba, 1989. Fundação Cargill, 1989. p.93-113.

FAGÉRIA, N.K.; BALIGAR, V.C. & WRIGHT, R.J. Iron nutrition of the chemistry and physiology of deficiency and toxicity. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 25(4):553-70, 1990.

FAGÉRIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; CARVALHO J.R.P.; RANGEL, P.H.N.; CUTRIM, V.A. Avaliação preliminar de cultivares de arroz para tolerância à toxidez de ferro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 19(10):1271-8, 1984.

FAGÉRIA, N.K. & WILCOX, G.E. Influência do nitrogênio e fósforo no crescimento do arroz. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, 30(301):24-8, set., 1977.

FAO PRODUCTION YEARBOOK. Roma, V.38, 1984.

FARHOOMAAND, M.D. & PETERSON, L.A. Concentrations and content. *Agronomy Journal*, Madison, 60(6):708-9, nov./dic., 1968.

FURLANI, P.R.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; AZZINI, L.E.; SCHMIDT, N.C. Composição química inorgânica de três cultivares de arroz. *Bragantia*, Campinas, 36(7):109-15, mar., 1977.

GANGWAR, M.S. & MAN, J.S. Zinc nutrition of rice in relation to iron and manganese uptake different water regimes. *The Indian of Agricultural Science*, New Delhi, 42(18):1032-5, nov., 1972.

GARGANTINI, H. & BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do arroz. *Bragantia*, Campinas, 24(38):515-28, set., 1965.

GOMIDE, R.L. Irrigação do arroz. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 5(55):51-60, jul., 1979.

GORANTIWAR, S.M. & JAGGI, I.K. Note on the effect of different water regimes on growth and yield of three varieties of rice (*Oryza sativa* L.). *The Indian Journal of Agricultural Science*, New Delhi, 42(9):866-8, sept., 1972.

GRAEME, J.B. Sulfur nutrition of wet land rice. IRRI. *Bulletin n° 21*. 27p.

GREEN, M.S. & ETHERINGTON, J.R. Oxidation of ferrons iron by rice (*Oryza sativa* L.) roots: A mechanism for waterlogging tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 28(104):678-90, 1990.

HALM, A.T. Effect of water regime on the growth and chemical composition of two rice varieties. *Tropical Agriculture*, Trinidad, 44(1):33-7, jan., 1967.

HERNANDEZ, J.L. Influência del água en el arroz. *Arroz*, Lima, 3:33-6, 1960.

HOFFMAN, G.D.; RAWLINS, S.L.; GARBE, M.J. & CULLEN, E.M.
Water relations and growth of cotton as influenced by
salinity and relative humidity. *Agronomy Journal*, Madison,
1975.

HOWELER, R.H. Iron-induced oranging disease of rice in
relation to physical-chemical changes in aa flooded
oxisol. *Soil Science Society of America Proceeding*,
37:893-903, 1973.

HSIAO, T.C. Plant responses to waater stress. *Annual Review
of Plant Physiology*, Palo Alto, 24:519-70, 1973.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Annual Report*, 1962.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. *Annual Report*, 1963.

ISHIZUKA, Y. Physiology of the rice plant. In: *Advance In
Agronomy*, 23:241-307. Academic Press. New York, 1971.

JAYWARDENA, S.D.G.; WAATABE, T. & TANAKA, K. Relation between
root oxidizing power and resistance to iron in rice.
Resp... Soc. Crop. Sci. Breed. Kenhi Jpn. 22:38-47.

KHAIRE, R.S. & SONAR, K.S. Influence of soil moisture regime
on iron and manganese release in soil and on the growth of
upland rice. *International Rice Research Newsletter*,

Manila, 4(2):21, apr., 1979.

KRAMER, P.J. Tension hídrica y crecimiento de las plantas.
In: **Relaciones hídricas de suelos y plantas una síntesis moderna.** México, EDUTEX e Centro Regional de Ayuda Técnica. Cap. 10, 1974. p.393-443.

KRUPP, H.K.; ABILAY, W.P. & ALVAREZ, E.I. Some water stress effects on rice. In: **INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE. Rice breeding.** Los Baños, 1972. p.663-75.

KUMAR, S.; OMANWAR, P.K.; SACHAN, R.S. & SHARMA, R.B. Changes in some physicochemical properties and activities of iron and zinc on submergence of some rice soils. **The Journal Indian Society Science, New Delhi, 29(2):204-7, feb., 1981.**

LANTIN, R. S. & NEVE, H. U. Toxidez por ferro: desordem nutricional no arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, 42(387):3-8, set./out., 1989.**

LINDSAY, W.L. & SCHWAB, A.P. The chemistry of iron in soils and its availability to plants. **Journal Plant Nutrition, 5:321-40, 1982.**

LOPES, M.S. Solos e adubação da cultura do arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, 43(391):3-7, 1990.**

MACHADO, M.O. Caracterização e adubação do solo. In: Fundamentos para a cultura do arroz irrigado. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.129-79.

MALAVOLTA, E. Studies on the nitrogen nutrition of rice. Plant Physical, 29(1):98-99, 1954.

_____. Nutrição mineral e adubação do arroz irrigado. Utrafértil. São Paulo. 1978. 68p.

_____. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA E. & FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: Cultura do arroz de sequeiro-fatores afetando a produtividade. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1983. p.95-140.

MALAVOLTA E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba. 1989. 175p.

MEDEIROS, A.A. de. Exigências nutricionais e correção de deficiências minerais em duas cultivares de arroz (*Oriza*

sativa L., cv IAC 47 e IAC 435). Piracicaba. Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", São Paulo. 1980, 99p. (Tese de Mestrado).

MENGEL, K. & KIRKBY, A. Principles of plant nutrition. Berne, Switzerland, International Postash Institute. 1978, 608p.

MORAES, J.F.V. Efeitos da inundação do solo. II. Influência sobre a absorção de nutrientes e o crescimento do arroz (*Oryza sativa* L.). Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronômica, Brasília 8(7):103-8, jul. 1973.

MORAES, J.F.V. & FREIRE, C.J.E. Variação do pH, da condutividade elétrica e da disponibilidade dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg em quatro solos submetidos a inundação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronômica, 9(9):35-43, set. 1974.

MORAES, O.P. de; SOARES, P.C.; DEL GIUDICE, R.M. Espécies e cultivares de arroz. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 5(55):28-32, jul. 1979.

OBERMUELLER, A.J. & MIKKELSEN, D.S. Effects of water management and soil aggregation on the growth and nutrient uptake of rice. Agronomy Journal, Madison, 66(5):627-33, set./oct., 1974.

OTTOW, J.C.G.; BENCKISER, G.H.; WATANABE, I.J. & SANTIAGO, S.A. Multiple nutritional soil stress as the prerequisite for iron toxicity of wetland rice (*Oriza sativa* L.). *Tropical Agriculture*. Trindade, 60:102-6, 1983.

PANDE, H.K. & MITTRA, B.N. Response of lowland rice to varying levels of soil, water, and fertility management in different seasons. *Agronomy Journal*, Madison, 62(2):97-199, mar./apr., 1979.

PATHAK, A.N.; TIWARI, K.N. & UPADHYAY, R.L. Studies on Fe and Zn nutrition of rice in saline-alkali soil at different moisture regimes. *The Indian Journal of Agricultural Science*, New Delhi, 45(8):335-9, aug., 1975.

PATRICK JUNIOR, W.H. & MAHAPATRA, I.C. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Advances in Agronomy*, New York, 20:323-59, 1968.

PATRICK JUNIOR, W.H. & FONTENOT, W.T. Growth and mineral composition of rice at various soil moisture tensions and oxygen levels. *Agronomy Journal*, Madison, 68:325-8, mar./apr., 1976.

PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. *Advances*

in *Agronomy*, 24:29-96, 1972.

RAMOS, M.G. *Manual de produção do arroz irrigado*. Florianópolis, EMPASC, 1981. 219p.

SACHET, Z.P. Consumo de água na lavoura de arroz relacionada com a altura da lâmina líquida. *Lavoura Arrozeira*, 34(329):24-29, jul./ago., 1981.

SAHRAWAT, K.L. Iron toxicity to rice in an acid sulfate soil as influenced by water regimes. *Plant and Soil*, Hague, 51(1):143-4, 1979.

SANCHEZ, P.A. Soil management in rice cultivation systems. In: *Properties and management of soils in the tropics*. New York, 1976. p.413-70.

SANTOS FILHO, B.G. dos. Ferro na planta. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1, Goiânia-GO, 1987. *Anais...* Goiânia. EMBRAPA/CNPAF. 1988. p.72-98.

SCALCO, M.S. Efeito do manejo da água no crescimento e absorção de N, P, K, Fe, Mn e Zn pelo arroz (*Oriza sativa* L., cv IAC-25). Lavras, Escola Superior de Agricultura, Minas Gerais. 1983, 90p. (Tese de Mestrado)

SIMS, J.L. & PLACE, G.A. Growth and nutrient uptake of rice

at different growth stages and nitrogen levels. *Agronomy Journal*, Madison, 60(6):692-6, nov./dec., 1968.

STONE, L.F.; OLIVEIRA, A.B. de; STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro ao nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 14(3):295-301, jul., 1979.

STONE, L.F. Produtividade e utilização do nitrogênio pelo arroz (*Oriza sativa* L.): Efeitos de deficiência hídrica, cultivares e vermiculita. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", São Paulo. 1983, 200p. (Tese de Doutorado).

SUBRAMANIAN, S. & RAJAGOPALAN, K. Effect of water management and nitrogen levels on nutrient uptake in rice. *Indian Journal Agronomy*, New Delhi, 25(1):77-82, mar. 1980.

TADANO, T. Devices of rice roots to tolerat high iron concentration in growth media. *JARQ*, 9:34-9, 1975.

TAKIJIMA, Y. Studies on the mechanism of roots damage of rice plants in the paddy fields (part 2). Status of roots in the rhyzosfere and the occurence of root damage. *Soil Science and Plant Nutrition*, 11:20-7, 1965.

TANAKA, A.; LOE, R.A. & NAVASERO, S.A. Some mechanisms

involved in the development of iron toxicity symptoms in the rice plant. *Soil Science and Plant Nutrition*, 12:154-64, 1966.

TEIXEIRA, S.M. Aspectos da conjuntura econômica do arroz. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, III, Goiânia, 1987. *Anais...* Goiânia, EMBRAPA/CNPAF, 1987. p.82-98.

TERSARIOL, A.L. Efeito de fósforo no controle da toxidez de ferro em arroz (*Oriza sativa* L.). Fortaleza. Universidade Federal do Ceará, 1991, 109p. (Tese de Mestrado).

TIFFIN, L.O. Translocation of micronutrients plants. In MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. and LINDSAY, W.L. eds. *Micronutrients in Agriculture*, Madison, WI, Soil Sci. Soc. Amer., 1972. p.199-229.

TIWARI, K.N.; PATHAK, A.N. & UPADHYAY, R.L. Studies on Fe and Zn nutrition of rice at varying moisture regimes in a black clay soil of Uttar Pradesh. *The Journal Indian Society Soil Science*, New Delhi, 24(3):303-7, 1976.

TROLLENIER, G. Mineral nutrition and reduction on processes in the rhizosphere of rice. *Plant and Soil*, 47:193-302, 1977.

VIETS, F.G. The plant need for and use of nitrogen. In: **Soil Nitrogen**. American Society of Agronomy. U.S.A, p.508-48, 1965.

VLAMIS, J. & DAVIS, A.R. Effects of oxygen tension on certain physiological responses of rice, barley and tomato. **Plant Physiol**, 19:35-51, 1944.

WELLS, J.P. Sources of nitrogen for rice. Agriculture Experimental station. **Report Series 115**. Universidad of Arkansas, 1962, 9p.

YOSHIDA, S. Mineral nutrition of rice. In: **Fundamentals of Rice Crop Science**, Los Baños, IRRI, 1981. p.111-176.