DESTINO DO NITROGÊNIO APLICADO EM CULTURAS DE ARROZ .
(*Oryza sativa* L.) INUNDADO EM SOLO DE VÁRZEA DA AMAZÔNIA

MARCELO RANGEL MOTA

Engenheiro-Agrônomo

Orientador: REYNALDO LUIZ VICTORIA

Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz",
da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de Concentração:
Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Maio - 1991

DESTINO DO NITROGÊNIO APLICADO EM CULTURAS DE ARROZ
(*Oryza sativa* L.) INUNDADO EM SOLO DE VÁRZEA DA AMAZÔNIA

MARCELO RANGEL MOTA

Aprovada em: 28/05/91

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Reynaldo Luiz Victória ESALQ/USP
Prof. Dr. Toshiaki Kinjo ESALQ/USP
Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova ESALQ/USP
Prof. Dr. Dinival Martins FCAV/UNESP
Prof. Dra. Janice Guedes de Carvalho ESAL/MG

REYNALDO LUIZ VICTORIA

Orientador

À todos os

meus amigos

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Reynaldo Luiz Victória e Nilson Vila Nova, a orientação.

À Universidade do Amazonas a oportunidade.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" os ensinamentos.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura as facilidades.

Aos amigos: Geraldo José Aparecido Dario, Maria Hercília de Magalhães Cordeiro, Auxiliadora Brito de Lima, Cleamar Sales de Almeida, Carlos Alberto Guimarães de Azevedo, Tarlei Arriel Botrel, João Jurandir Izaqui, Juventino Julho de Souza, Júlio César Teixeira, a ajuda.

Í N D I C E

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xii
SUMMARY	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. A Várzea	4
2.2. A Evapotranspiração	9
2.3. A Transpiração	11
2.4. A evaporação	12
2.5 Experimentos de Evapotranspiração Dentro de Casa de Vegetação	13
2.6. Aspectos Gerais do Nitrogênio	14
2.7. mineralização do Nitrogênio	15
2.8. Nitrificação	16
2.9. Imobilização do Nitrogênio	18
2.10 Denitrificação	22
2.11 Lixiviação do Nitrogênio	26
2.12 Volatilização	29
2.13 Absorção do Nitrogênio	35
2.14 balanço do Nitrogênio no Sistema Solo-Planta .	41
3. MATERIAL E MÉTODOS	48
3.1. Casa de Vegetação	48
3.2. Solo	48

	Página
3.3. Vasos	50
3.4. Enchimento dos Vasos	52
3.5. Calagem	52
3.6. Fontes de Nitrogênio	52
3.7. Adubação Não Nitrogenado	53
3.8. Adubação Nitrogenado	53
3.9. Variedade de Arroz	53
3.10 Plantio	54
3.11 Desbaste	54
3.12 Disposição dos Vasos e Instrumentos	54
3.13 Manejo da Água	56
3.13.1 Irrigação	56
3.13.2 Evaporação	56
3.13.3 Drenagem	57
3.14 Apresentação dos Dados da Evapotranspiração, Evaporação e Transpiração	57
3.15 Temperatura	60
3.16 Coleta do Material	60
3.17 Delineamento Experimental	61
3.18 Análise do Nitrogênio Total	62
3.19 Análise do ¹⁵ N do Solo Antes do Experimento ..	64
3.20 Balanço do Nitrogênio no Sistema Solo-Planta .	65
3.21 Parâmetros Avaliados	67

	Página
3.21.1 Produção	67
3.21.2 Rendimento da Matéria Seca	67
3.21.3 Consumo de Água	67
3.21.4 Perdas de Água	67
3.21.5 Parâmetros Relacionados com o Nitrogênio na Planta	68
3.21.6 Parâmetros Relacionados com o Nitrogênio	70
3.21.7 Parâmetros Relacionados com o Nitrogênio na Água de Drenagem	71
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.1. Demanda Atmosférica de Água ao Longo do Ciclo da Cultura	72
4.1.1. Fluxo da Evapotranspiração	72
4.2. Relações entre Evapotranspiração (ETP), Transpiração (Tr), Evaporação (Ev) e Temperatura do Ar em Condições de Estufa	77
4.3. Regressão ETP x T	77
4.4. Componentes da Produção e Resposta do Arroz à Adubação	79
4.5. Produção de Grãos	79
4.6. Rendimento da Planta Toda	83
4.7. Comparação do Aumento de Massa Seca dos Componentes da Planta	84

	Página
4.8. Teor de Nitrogênio na Planta	85
4.9. Quantidade de Nitrogênio Absorvido Pelas Plan- tas	88
4.10 Quantidade de Nitrogênio na Água de Drenagem .	92
4.11 Peso e Porcentagem de Nitrogênio na Água de Drenagem Proveniente do Fertilizante	96
4.12 Nitrogênio no Solo	98
4.12.1 Porcentagem e Quantidade do Nitrogênio Total no Solo	98
4.13 Quantidade e Porcentagem de Nitrogênio no Solo Proveniente do Fertilizante	100
4.14 Quantidade e Porcentagem de Nitrogênio nas Raízes Proveniente do fertilizante	104
4.15 Quantidade e Porcentagem do Nitrogênio Prove- niente do Fertilizante na Parte Aérea	107
4.16 Quantidade e Porcentagem do Nitrogênio Prove- niente do Fertilizante nos Grãos.....	112
4.17 Eficiência de Utilização do Fertilizante Ni- trogenado	117
4.18 Balanço do Nitrogênio Proveniente do Fertili- zante no Sistema Água-Solo-Planta	122
5. CONCLUSÕES	128
LITERATURA CITADA	131
APÊNDICE	153

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Detalhes da preparação dos vasos.	51
2	Disposição dos vasos e instrumentos.	55
3	Representação esquemática do conjunto de manejo da água.	58
4	Vasos com arroz inundado aparecendo no centro o tanque de nível constante.	59
5	Rede de drenagem dos vasos irrigados	59
6	Representação gráfica das relações: evapotranspiração, transpiração e evaporação (em pântanas).	76
7	Equação de regressão linear entre a ETP x T no período vegetativo.	78
8	Equação de regressão linear entre a ETP x T no período reprodutivo.	78
9	Equação de regressão linear entre a ETP x T no período de maturação.	79
10	Produção da matéria seca das raízes, parte aérea e grãos na testemunha e nos tratamentos.	81
11	Quantidades média de nitrogênio dos tratamentos em mg no solo por vaso proveniente dos fertilizantes uréia (U) e sulfato de amônio (S) nos tempos 0, 35 e 70 dias após o plantio.	103

Figura	Página
12 Quantidades médias de nitrogênio dos tratamentos em mg nas raízes por vaso proveniente dos fertilizantes uréia (U) e sulfato de amônio (S) nos tempos 0, 35 e 70 dias após o plantio.	106
13 Quantidades médias de nitrogênio dos tratamentos em mg na parte aérea por vaso proveniente dos fertilizantes uréia (U) e sulfato de amônio (S) nos tempos 0, 35 e 70 dias após o plantio.	109
14 Quantidades médias de nitrogênio dos tratamentos em mg nos grãos por vaso proveniente dos fertilizantes uréia (U) e sulfato de amônio (S) nos tempos 0, 35 e 70 dias após o plantio.	114
15 Comportamento do conteúdo do ^{15}N nos grãos com o adubo sulfato de amônio e com o adubo uréia em função do tempo após o plantio.	116
16 Eficiência de utilização do fertilizante sulfato de amônio (S) e da uréia (U) na planta toda em porcentagem.	121
17 Destino do nitrogênio aplicado nos vasos, com a média das porcentagens dos tratamentos, encontrado na água de drenagem (A), na raiz, no solo (S), na parte aérea (P:A) e grãos (G).	123

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Médias diárias (médias de 5 dias de leitura consecutivas) da evapotranspiração, evaporação, transpiração em mm, temperaturas e °C e tempo em dias após plantio.	74
2 Médias diárias e acumuladas da evapotranspiração, evaporação e transpiração nas fases vegetativa, reprodutiva e de maturação.	75
3 Peso dos grãos, parte aérea, raízes e da planta total das testemunhas e dos tratamentos em gramas.	80
4 Comparação da massa seca e porcentagem de aumento nos componentes da planta em relação a testemunha.	81
5 Teores médios de nitrogênio em porcentagem na parte aérea, raiz e grãos.	86
6 Quantidade de nitrogênio total em mg na parte aérea, raiz e nos grãos.	89
7 Quantidade de nitrogênio total em mg na planta toda e a relação entre a quantidade de nitrogênio nos grãos e na planta toda.	90
8 Peso e porcentagem do nitrogênio proveniente do fertilizante na água de drenagem com aplicação de sulfato de amônio (S) e uréia (U) no plantio, 35 e 70 dias após o plantio.	96

Tabela	Página
9 Porcentagem e quantidade do nitrogênio total no solo em cada vaso, após a colheita.	99
10 Quantidade e porcentagem do nitrogênio proveniente dos adubos no solo.	102
11 Quantidade e porcentagem do nitrogênio proveniente dos adubos aplicados nas raízes.	105
12 Quantidade e porcentagem do nitrogênio proveniente dos adubos sulfato de amônio (S) e uréia (U) nos tempos 0, 35 e 70 após o plantio na parte aérea.	108
13 Quantidade e porcentagem do nitrogênio proveniente dos adubos aplicados nos grãos.	113
14 Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado em porcentagem em porcentagem na planta toda nas 3 épocas de aplicação.	120
15 Destino do nitrogênio aplicado nos vasos com a média das porcentagens dos tratamentos, encontrado na água de drenagem na raiz, no solo, na parte aérea, nos grãos e total.	122

DESTINO DO NITROGÊNIO E MANEJO DA ÁGUA EM CULTURA DE
ARROZ INUNDADO COM O USO DE SOLO DE VÁRZEA DO AMAZONAS

Autor: MARCELO RANGEL MOTA

Orientador: REYNALDO LUIZ VICTÓRIA

RESUMO

O estudo foi conduzido no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (C.E.N.A.), Piracicaba, SP, de 20 de outubro de 1987 à 03 de maio de 1988, com vasos em condições de casa de vegetação, visando quantificar a eficiência da época de aplicação dos adubos uréia e sulfato de amônio e a demanda hídrica do arroz irrigado, usando solo de várzea do Amazonas.

Nestes testes, procurou-se reprisar uma metodologia já consagrada de irrigação e adubação nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

A calagem e a adubação seguiram as normas ditadas pelo Boletim nº 100, do I.A.C. (Instituto Agrônomo de Campinas) (1987), para arroz irrigado, com exceção feita ao nitrogênio, onde a dosagem aplicada foi equivalente a 100 kg de N/ha com 3 parcelamentos iguais; no plantio 35 e 70 dias após. As fontes usadas: o sulfato de amônio natural e

marcado com 10,137% de ^{15}N e a uréia, também natural, e marcada com 10,772% de ^{15}N . O cultivar escolhido foi o I.A.C. 4440.

Nos testes foram usados 21 vasos de barro, com 3 plantas cada, mantendo-se uma lâmina constante de água de 4 cm e um recolhimento diário da drenagem durante o período compreendido de 22.12.87 a 18.04.88, de onde se extraiu o valor médio da evapotranspiração, ao longo do ciclo fenológico, de 12,62 mm/dia. Em 3 outros vasos, com as mesmas características dos primeiros, mas sem arroz, foi determinada a evaporação média de 3,67 mm/dia e, por subtração, obteve-se o valor da transpiração de 8,95 mm/dia.

A análise estatística, devido a uniformidade do experimento, foi inteiramente casualizada, envolvendo 7 tratamentos com 3 repetições cada, conforme a descrição:

Tratamento 1: Testemunha recebeu calagem e adubação (menos a nitrogenada).

Tratamento 2: A uréia marcada foi aplicada no plantio incorporada ao solo, as adubações em cobertura, com 35 e 70 dias com uréia não marcada.

Tratamento 3: A uréia marcada foi aplicada em cobertura aos 35 dias após o plantio, ficando a primeira adubação incorporada e a última em cobertura com uréia não marcada.

Tratamento 4: A uréia marcada foi aplicada em cobertura aos 70 dias, ficando as duas primeiras adubações com uréia não marcada.

Os Tratamentos 5, 6 e 7 foram repetições dos 2, 3 e 4, substituindo-se a fonte uréia pelo sulfato de amônio.

Foram analisados o solo, a água drenada, as plantas e os grãos. Na condição em que foi feito o experimento, o sulfato de amônio apresentou uma eficiência média de 44,43% e a uréia 30,67%. Quanto à época de aplicação o sulfato projetou uma melhor eficiência aos 35 dias, com um valor médio de 66,57%. Já a uréia deu uma resposta completamente oposta, indicando ser o plantio e os 70 dias como as melhores épocas de adubação, com eficiências médias de 30,81% e 46,99%, respectivamente.

O ^{15}N resgatado da água drenada não ultrapassou a 0,22% do aplicado. As raízes retiveram cerca de 7,07% dos adubos, o solo 14,96% e as perdas médias estimadas para a volatilização foram de 47,63%.

WATER HANDLING AND NITROGEN DESTINATION IN INUNDATED
RICE CULTURE USING THE AMAZON PLAIN SOIL

Autor: MARCELO RANGEL MOTA

Orientador: REYNALDO LUIS VICTÓRIA

SUMMARY

The study was developed at Centro de Energia Nuclear na Agricultura (C.E.N.A.), Piracicaba, S.P, from october 20th 1987 to may 3rd 1988, in vases under green house conditions, the objective was to quantify the efficiency of ammonium sulfate and urea fertilizers applied at different periods, and the flooded rice of demand hydric of using Amazon floodplain (varzea) soil.

The fertilization and irrigation schemes adopted were identical to the ones currently in use in South and Southeastern regions of Brazil.

The Liming and fertilization followed the rules of nº 100 IAC Bulletin, for irrigated rice, with the exception of nitrogen, where the equivalent to 100 kg N/ha was applied split three times: at planting and 35 and 70 days after. The N sources used were ammonium sulfate, (natural and marked with 10,137% of ¹⁵N) and urea (natural

and marked with 10,772% of ^{15}ND . The cultivar used was the IAC 4440.

The experiment consisted of 21 vases with with 3 plants each where a constant head of 4 cm was maintained. Leached water was collected during the period between Dec. /22 nd/87 to april/18 th/88. The average value for evapotranspiration was 12,62 mm/day. With three other vases, under the same conditions, but without plants, the average evaporation was 4mm/day. By subtractin the average value of transpiration was calculated to be 10 mm/day.

Completely randon statistical treatment was used with seven treatments and three replication, as gotlaved:

Treatment 1: control, limed and fertilized (no nitrogen).

Treatment 2: The Labelled urea was applied at planting mixed with soil. From other aplication of N were marche at 35 and 70 days with natural urea

Treatment 3: The labelled urea was applied at 35 days after planting, the other two (planting and 70 days) received natural urea.

Treatment 4: The Labelled was applied at the 70 th day after planting. The other two were done with natural urea

The Treatments 5, 6 and 7 were repetitions of 2, 3 and 4, replacing the urea source by ammonium sulfate.

The soil, the leached water, plants and grain were analysed. Under the experimental condition, used the ammonium sulfate showed an average efficiency of (44,22%) and the urea (30,44%). With regard to the application period, the sulfate showed a better efficiency at 35 days with an average value of (66,20%). The urea showed an opposite trend with better indicating the efficiencies at plantings (28%) and 70 days (34%) with average efficiency of (30,64%) and (46,85%) respectively.

The ^{15}N in the leached water was less than (0,57%) of the applied. The roots recovered around (70,6%) of the fertilizers nitrogen, the soil 16,57% and the average losses for volatilization and denitrification were (47,63%).

1. INTRODUÇÃO

O rio Amazonas possui uma grande potencialidade de solos de várzea com dimensões superiores à 8 milhões de ha, representando só este estado cerca de 32% de todas as várzeas do país, EMBRATER (1979) citada por FAGERIA (1984).

De acordo com VIEIRA (1975) iremos encontrar uma predominância de solos Aluviais, Glei pouco húmico e hidromórficos indiscriminados. Outra característica regional é a sua melhor fertilidade em relação aos solos de terra firme.

Com grande regularidade o rio Solimões expande suas margens todos os anos de janeiro até fins de junho; de julho a novembro ou dezembro tem-se o período de rebaixamento (LOPES, 1983), inundando extensas áreas devido à planitude de seu relevo.

Por uma feliz coincidência o regime pluviométrico de 2101 mm/ano em Manaus, RIBEIRO & VILLA NOVA (1979), tem suas chuvas concentradas nos últimos e primeiros meses do ano, ficando os meses centrais com as menores precipitações, estas diminuições das chuvas vão de encontro às maiores cotas do rio, portanto teremos todo o ano o suprimento hídrico.

O somatório de todos estes fatores concorrem para a idéia de que sob um manejo adequado estes solos seriam talvez no Brasil o lugar mais apropriado para a cultura do arroz.

Para MALAVOLTA (1978) este é o cereal mais importante do globo, mais que o trigo, o milho e o sorgo. Segundo dados de FAO (1985) o Brasil ocupa a 8^a posição mundial em produção e a primeira do ocidente com uma produtividade média de 1684 Kg/ha muito baixo em relação aos países maiores produtores.

Os dados experimentais e observações nos mostram que o arroz cresce melhor e produz mais quando cultivado em condições dos solos inundados, (MORAES, 1984). Com exceção feita ao Rio Grande do Sul em todos os demais estados existe uma predominância do cultivo sob o sistema de sequeiro, perfazendo um total de 77,4% da área nacional, mas responsável apenas por 58,6% da produção (FAGERIA, 1984).

O nitrogênio é o elemento com maior capacidade de aumentar a produção do arroz (MALAVOLTA, 1981).

Devido ao seu alto custo e a sua grande instabilidade quando aplicado ao solo, este elemento deve ser manejado da melhor maneira possível para fornecer as maiores produções. Para tanto se faz necessário o conhecimento de todos os caminhos seguidos pelos adubos nitrogenados quando da sua aplicação ao solo.

O isótopo estável ^{15}N é o mais usado para traçar caminhos (VOSE, 1980). Sem dúvida alguma a forma mais

fácil de se obter estas respostas é através do ^{15}N , e seu emprego, que é além de ser extremamente preciso é também seguro pois não contribui de forma alguma para qualquer dano ecológico.

No presente trabalho, simulando-se condições de plantio e aplicação de adubação pelo boletim n^o 100 do IAC, para arroz irrigado, realizou-se um balanço da distribuição do nitrogênio e água aplicados ao longo do ciclo. Para isto utilizamos como traçador nitrogênio marcado (^{15}N) de acordo com o método de diluição isotópica proposto por BREMNER (1967).

A cultura foi desenvolvida em estufa, tendo sido utilizado solo característico da várzea Amazônica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Várzea

As várzeas dos rios Amazonas e Solimões encontram-se, desde os Andes até o Oceano Atlântico, com uma largura de 20 a 100 km e uma área calculada de 64.000 km² segundo SOARES (1956)*citado por JUNK (1980).

Drenando o escudo Pré-Cambriano Brasileiro ao sul e ao norte e a cordilheira dos Andes a oeste, (SALATI & OLIVEIRA, 1987), suas características são um reflexo desses solos.

Em um extenso trabalho de classificação dos solos da Amazônia Brasileira VIEIRA & SANTOS (1987), concluíram que há uma dominância de Oxissóis (aproximadamente 45%). São seguidos pelos Ultissóis (30%), Alfissóis (7%), onde se inclui principalmente o Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico e pequena quantidade de Terra Roxa. Solos rasos, pedregosos e excessivamente arenosos (Entissóis e Inceptissóis) cobrem 8% da região; áreas de várzeas (Entissóis, Inceptissóis, com 10%) incluindo os Espodissóis e alguns Vertissóis e Molissóis.

Para CORREA (1984), 80% dos solos do Estado do Amazonas são de baixa fertilidade, com baixa saturação de bases, alta saturação de alumínio e reduzida concentração de fósforo.

Se ignorarmos os solos vulcânicos e aluviais podemos afirmar que os solos da Amazônia são geralmente ácidos (pH 4,5 a 5,5) e pobres em nutrientes, (YOUNG, 1978).

Pesquisadores como MARTINELLI (1986), DEMATTE (1988), IRI RESEARCH INSTITUTE (1977), LIMA (1956), JUNK (1980) e VIEIRA (1975) afirmam que, de modo geral, as várzeas são constituídas de solos férteis oriundos da deposição de materiais transportados pelo rio.

PIEIDADE (1988) informa que as áreas inundáveis podem ser divididas em dois grupos em relação à oferta de nutrientes e tipos de sedimentos. Os rios de águas brancas, como por exemplo o Solimões, com pH de 6,2 a 7,2, transportam grandes quantidades de nutrientes o que lhes confere grande fertilidade. Os igapós são áreas de inundação por rios de águas claras e pretas. Em particular as águas pretas, como o rio Negro com pH de 3,8 a 5,2, são extremamente pobres e ácidas. Já os rios de águas claras (rio Tapajós) normalmente apresentam características intermediárias.

Segundo MARTINELLI (1986), o pH dos sedimentos de várzea do rio Amazonas varia entre 5,6 a 7,2 e nas várzeas dos seus tributários o pH é significativamente menor. SIOLI (1975a), citado pelo mesmo autor, entende a várzea como um apêndice fértil, uma prolongação dos Andes, o

qual pode ser visto como um vulcão em erupção e as lavas expelidas invadem a planície Amazônica.

FASSBENDER (1982) encontrou em Fluvissóis Amazônicos teores de C e N no horizonte A de 3,09 e de 0,30% e no horizonte B 1,37 e 0,098% respectivamente. Para MARTINELLI (1986), a concentração de nitrogênio nos sedimentos de várzea do rio Amazonas varia de 0,07 a 0,215% que, de acordo com MELLO *et alii* (1985), se classificam em teores médios a altos, respectivamente.

A permuta de nutrientes das várzeas não se restringe apenas aos rios e à terra firme. De acordo com PRITCHETT (1979), a entrada anual média de nutrientes pelas fontes atmosféricas pode não ser grande, mas, quando vista ao longo de um tempo maior, pode ser significativa. BRINKMANN & GOETHE (1985), em um modelo de ciclo de bioelementos na floresta amazônica central, calculam que existe uma entrada na superfície do solo de N-total de 19.000 kg/ha/ano, sendo que mais de 75% são devidos à decomposição da liteira. Já SHUBART (1977) mensuram em 13,4 kg/ha/ano a quantidade de nitrogênio nas chuvas da Amazonia central.

Através de estudos existentes sobre a lixiviação do solo e o deflúvio na floresta, SCHUBART (1977) verificou que nos ecossistemas não perturbados, a quantidade de elementos minerais que saem dos ecossistemas é semelhante à quantidade que os adentra com águas de chuva.

SANCHES (1976), citado por DEMATTE (1988) calculou o potencial de produção da Região Tropical, equivalen-

do ao dobro da Região Temperada. O potencial de produção média anual para a Região Tropical foi de 60 t/ha de matéria seca. Quase a metade dessa quantidade é considerada econômica. E esse valor teórico já foi obtido nas Filipinas com 24 t/ha/ano de grãos de arroz.

A produção primária nas várzeas, durante a fase aquática, baseia-se principalmente na produção de fitoplâncton e moesófitas. Após o abaixamento do nível da água, se inicia a fase terrestre, onde a produção é dominada por gramíneas do gênero *Paspalum* de rápido crescimento. JUNK & HOWARD (1985) e PIEDADE (1988) encontraram no período baixo das águas uma produção primária no lago Camaleão (AM) de 20 a 60 t/ha e na fase aquática valores similares.

JUNK & HOWARD (1985) estima para alguns capins uma produção ao redor de 50 t/ha/ano, como é o caso do *Paspalum repens*.

Para PIEDADE (1988), tanto a biomassa (80,1 t/ha/ano) quanto a produtividade (108 t/ha/ano) de *E. polystachya* na ilha da Marchantheria (AM) situam-se entre os mais elevados valores registrados.

De acordo com CASTRO *et alii* (1987), DEMATTE (1988) e ROCHA (1982), as várzeas da região Amazônica oferecem condições muito favoráveis à cultura do arroz.

Para DE DATTA (1981), a precipitação com a sua quantidade e distribuição é responsável por 80% da cultura do arroz no sul e sudeste da Ásia e extrapola também este valor para Regiões Tropicais.

DOMINGUES & VERNETTI (1981) afirmam que a água no Rio Grande do Sul, dentre os componentes de custo de produção do arroz irrigado, é o mais elevado, alcançando cerca de 18% do custo total.

A precipitação total na bacia Amazônica varia entre 1.800 a 3.000 mm/ano, chegando em Manaus a cerca de 2.100 mm/ano, onde a soma dos quatro primeiros meses do ano e dos dois últimos correspondem a 73% da precipitação total e um período seco com duração variável nos meses de agosto a outubro, (RIBEIRO & VILLA NOVA, 1979).

O rio Amazonas em janeiro inicia seu período de elevação do nível da água que vai até fins de junho. De julho até novembro ou dezembro tem-se o período de rebaixamento (LOPES, 1983 e JUNK, 1980).

O processo de colmatagem natural se repete todas os anos e a regeneração gratuita da fertilidade é garantida pelas inundações, aliadas a um elevado poder de retenção dos princípios nutritivos de que são dotados estes solos, permitindo a exploração contínua dessas terras por anos seguidos sem que haja uma queda de produtividade capaz de comprometer os resultados econômicos da exploração, (LIMA, 1956).

As alturas de precipitação e do nível da água do rio formam a figura aproximada de uma senóide com os pontos máximos e mínimos respectivamente alternados. Portanto estará sempre resguardado o suprimento hídrico para a cultu-

ra do arroz ou pelas águas do rio ou pelas águas das chuvas de forma gratuita.

2.2. A Evapotranspiração

É indiscutível a necessidade do conhecimento da perda da água por evaporação e transpiração (evapotranspiração) das diferentes superfícies naturais (VILLA NOVA, 1973). Para se planejar qualquer projeto de irrigação, é preciso determinar a intensidade de consumo de água da cultura (SALASSIER, 1986), (WITHERS & VIPOND, 1977) e (VILLA NOVA, 1981).

A evapotranspiração é influenciada por um conjunto de fatores como energia solar, temperatura, vento, umidade do ar e do solo e características das plantas (ISRAELSEM & HANSEM, 1973) e (DE DATTA, 1981).

O Annual Report (1968) do IRRI evidencia uma correlação positiva entre a ETP e a temperatura de $r = 0,91$, entre a evapotranspiração e a radiação solar de $r = 0,81$ e uma correlação negativa com a umidade absoluta do ar de $r = 0,67$.

De acordo com SALASSIER (1986) podemos dividir os métodos de determinação da ETP podem ser divididos em diretos e indiretos; o primeiro caso é quando se mede diretamente o consumo de água pelas culturas, como por exemplo os lisímetros, os métodos gravimétricos, sonda de neutrons, métodos tensiométricos, etc. No segundo caso aqueles que nos

dão indiretamente a ETP e sua utilização implica sempre no uso de coeficientes tanto para a época como para a região, tais como os evaporímetros e as equações de estimativa, empíricas ou teórico-empíricas.

SADD & SCALOPP (1988) analisaram 11 métodos climatológicos para determinar a ETP potencial ou de referência (ET_o) que, comparados com os valores encontrados em lisímetro de balança, demonstraram considerável discrepância entre os valores estimados pelos diversos métodos utilizados e o valor observado em lisímetro. O método de PENMAM-MONTEITH proporcionou o menor desvio (-1,9%) e o maior foi revelado pelo Método de THORNTHWAITE (-45,2%) ambas em relação ao valor médio.

Somente o lisímetro e o método do balanço de energia podem fornecer bons resultados (VILLA NOVA, 1981). DE DATTA (1981) aponta o lisímetro como o método mais correto.

COARACI & INFORZATO (1950) afirmam não existirem métodos para medir a evapotranspiração in loco que não sejam falhos e sujeitos a críticas e os dados obtidos devem traduzir apenas a ordem de grandeza do fenômeno.

SALASSIER (1986) cita para o arroz irrigado por submersão contínua em consumo de 1060 mm de evapotranspiração em 98 dias, o que dá uma ETP média de 10,9 mm/dia. DE DATTA (1982) afirma que nos trópicos a ETP na estação úmida é de mais ou menos 4 a 5 mm/dia e na estação seca 6 a 7 mm/dia, isto em média em grandes áreas irrigadas (sem o

efeito oásis). Em pequenas áreas irrigadas na estação seca a ETP pode ser maior por causa da energia advectiva. SANCHES (1972), em experimento no sudeste da Ásia, encontrou um gasto na ETP de 380 a 930 mm em 4 meses de cultivo.

Para TOMAR & OTOOLE (1979) a principal causa na variação da ETP é o estágio de crescimento da cultura. FAGERIA (1984) indica que o arroz consome 30 % da água na fase vegetativa, 55% na fase reprodutiva e 15% na fase de maturação.

STONE *et alii* (1980) dividem o consumo hídrico em várias fases, sendo o menor na fase leitosa com 1,9 mm/dia e o maior no perfilhamento com 4,1 mmdia. VILLA NOVA (1981) sugere vários coeficientes em relação ao Tanque Classe A, de 1,1 a 1,15 na emergência, 0,95 a 1,05 na maturação, 0,95 a 1,05 na colheita. De acordo com DE DATTA *et alii* (1973), os maiores consumos de evapotranspiração na cultura do arroz foram registrados na diferenciação do primórdio floral, no início da floração e quando os grãos estavam ficando com massa firme, coincidindo com as épocas de maior área foliar.

2.3. A Transpiração

Dos dois componentes da evapotranspiração a quantidade de água perdida por transpiração é diretamente proporcional ao desenvolvimento da cultura (PEDROSO, 1985). A quantidade de matéria seca produzida pelo arroz é proporcio-

nal à água transpirada MATSUSHIMA (1962) e YOSHIDA & PARAÓ (1976).

Para YOSHIDA (1981) a transpiração pode representar até 90% do valor total da evapotranspiração. KUNG (1971) verificou que a necessidade de água para transpiração em 43 localidades diferentes do Japão, Filipinas, Vietnã, Tailândia e Bangladesh varia entre 1,5 a 9,8 mm/dia. SANCHES (1981) constatou uma variação de 380 a 930 mm na transpiração em 4 meses de cultivo no sudeste da Ásia.

A variação da transpiração dentro do ciclo fenológico é mais marcante que a da evapotranspiração. Segundo DE DATTA *et alii* (1973), essas flutuações são devidas ao aumento da área foliar, causado pelo nascimento de novas folhas, ou à diminuição da área foliar causada pela morte de folhas velhas.

Para TOMAR & OTOOLE (1979), de um modo geral, observa-se um aumento na transpiração no decorrer do ciclo fenológico até o início da fase reprodutiva, quando se inicia o seu declínio. O arroz consome a máxima quantidade de água, aproximadamente uma semana antes da floração FAGERIA (1984).

2.4. A Evaporação

O segundo componente da evapotranspiração é a evaporação, que é a perda de umidade pela superfície livre de água.

O ANNUAL REPORT (1968) do IRRI encontrou uma correlação positiva entre a evaporação e a temperatura de $r = 0,70$ e uma correlação negativa com a umidade absoluta do ar com $r = 0,83$.

KUNG (1971) encontrou valores de 1,0 a 6,2 mm/dia na Ásia. SANCHES (1981), em 4 meses de cultivo no sudeste da Ásia, encontrou uma lâmina de 180 a 380 mm. O seu valor é maior nos estágios iniciais do desenvolvimento da planta e declínio, com o desenvolvimento da cultura (DE DATTA, 1981). Segundo KATD *et alii* (1965) observa-se uma diminuição da lâmina evaporada de forma linear durante o ciclo fenológico.

2.5. Experimentos de Evapotranspiração Dentro de Casa de Vegetação

Apesar de serem feitos muitos experimentos com arroz irrigado dentro de casa de vegetação são poucos os dados encontrados quanto ao gasto de água.

KLAR (1974) e COARACY & INFORZATO (1950) consideram possíveis comparações entre dados de ETP obtidas no campo e dentro de casa de vegetação. MEYER (1974) nos alerta para o grande efeito da temperatura, quando operamos com casa de vegetação.

A determinação da ETP em vasos dentro de casa de vegetação tem mostrado valores bastante altos. STONE (1982), com arroz irrigado por inundação, gastou uma lâmina

de 1582,2 mm com a evapotranspiração do início da fase reprodutiva até a colheita. AQUINO (1984), com arroz irrigado, encontrou uma lâmina de 1600 mm para um ciclo de 135 dias.

2.6. Aspectos Gerais do Nitrogênio

Diversos trabalhos têm mostrado a necessidade da aplicação de fertilizantes nitrogenados para sustentar altas produções de arroz em solos tropicais, das regiões úmidas e periodicamente úmidas (EMBRAPA, 1980; FOX *et alii*, 1974; GROVE, 1979; RITCHEY & NADERMAN, 1980). Tal fato é devido, principalmente, à baixa capacidade desses solos em suprir nitrogênio, e à baixa eficiência de utilização tanto do nitrogênio nativo, como do fertilizante aplicado.

Para BARTHOLOMEW (1975), a baixa eficiência dos fertilizantes nitrogenados em condições tropicais tem sido atribuído ao grande potencial de perdas, sendo a desnitrificação e a volatilização da amônia os mecanismos mais importantes, GAMBOA *et alii*, (1971) e OSINAME *et alii* (1983).

Nestas condições, a recuperação aparente do nitrogênio adicionado é da ordem de 30 a 50%, quando doses de 60 a 120 kg N/ha são aplicados (DE DATTA, 1975b; FOX *et alii*, 1974; GROVE, 1979; RITCHEY & NADERMAN, 1980). Recuperação inferior a 40% tem sido observada com aplicação de altas doses de nitrogênio, ou quando o fertilizante foi aplicado em solos com alta capacidade de suprimento de nitrogênio, FOX *et alii* (1974), GROVE (1979).

Considerando a existência de um potencial de grandes perdas de nitrogênio inorgânico, os altos preços dos fertilizantes nitrogenados, o baixo nível econômico dos agricultores e os substanciais investimentos realizados nesses solos, visando a incorporá-las ao processo produtivo, torna-se essencial um manejo eficiente dos fertilizantes nitrogenados.

Informações sobre o manejo adequado dos fertilizantes nitrogenados em solos da região tropical são ainda limitadas GROVE (1979) e PERES & SUHET (1985), assim como estudos do balanço do nitrogênio.

Muitos estudos têm sido desenvolvidos para avaliar o movimento de nitrogênio no perfil dos solos e perdas por lixiviação. Entretanto, antes de se obter os diversos fatores que afetam o balanço do nitrogênio em um determinado sistema, visando a otimizar a produtividade, diminuir as perdas e reduzir os riscos de poluição, REICHARDT *et alii* (1982).

2.7. Mineralização do Nitrogênio

O arroz obtém 40 a 80% do nitrogênio requerido do solo YOUNG (1976) e FOX *et alii* (1974). Mesmo sob um regime de altas doses de fertilizantes nitrogenados, a maior fonte continua sendo a mineralização KOYAMA (1971). Deste modo, o fator mais importante para suprimento de nitrogênio é a mineralização.

Para YOSHIDA & PADRE (1975) & YOSHIDA & HARA (1977), a temperatura do solo, o nível de umidade, a alternância entre secamento e molhamento do solo, a quantidade de matéria orgânica, o teor de argila e a incorporação de nova matéria orgânica são os fatores mais influentes na mineralização.

A maior parte do nitrogênio mineralizado em solos submersos é convertido em amônia e a quantidade produzida nas duas primeiras semanas de submersão está na faixa de 50 a 350 ppm de N na base de solo seco, MATSUSHIMA (1962).

Em média, para PONNANPERUMA (1976) a solução do solo pode conter de 2 a 100 ppm de N, dependendo da textura e do conteúdo de matéria orgânica.

2.8. Nitrificação

Nitrificação é o processo de oxidação da amônia, segundo HAGIN & TUCKER (1982) e JORGE (1969).

A nitrificação é completamente inibida em solos submersos, se não existir oxigênio livre ALIMAGNO & YOSHIDA (1977a). Contudo, ARMSTRONG (1964) e DIGAR (1965) constatarem alguns indícios de nitrificação em certos lugares nos solos submersos onde o oxigênio ainda está presente, como na coluna de água sobre o solo, na interface entre o solo e a água e nas proximidades da rizosfera de plantas aquáticas.

A inevitável produção de H^+ provoca uma acidificação do solo, JORGE (1969) e FASSBENDER (1982).

O pH do solo é geralmente modificado após a inundação, rumo à neutralidade, verificando-se um aumento nos solos ácidos e uma diminuição em solos alcalinos, SANCHEZ (1972), MORAES & FREIRE (1974), PONNAMPERUMA (1964 e 1976).

De acordo com HAGIN & TUCKER (1982), os organismos nitrificantes são mais ativos entre pH 6,6 a 8,4. Se o pH for muito baixo, menor que 4,0 processo para. Os microorganismos responsáveis pela oxidação da amônia a nitrito são menos susceptíveis à alcalinidade que os responsáveis pela oxidação do nitrito a nitrato. Desta forma, em solos com pH superior a 8,0 nitrito produzido pode acumular, e, de forma global, a nitrificação cessa completamente em pH superior a 9,5.

LEON (1981), trabalhando com um solo argiloso siltoso orgânico com pH 7,0 com 50% da capacidade de campo e temperatura variando de 20 a 60°C, observou a máxima nitrificação nas temperaturas de 35°C, declinando posteriormente.

Por ser um processo biológico, a temperatura tem um papel relevante, a faixa ótima para os organismos nitrificantes está entre 24 e 32°C. Com temperaturas inferiores e superiores a sua velocidade é reduzida e, quando atinge os limites de menor que 3°C e maior que 50°C, desaparece o fenômeno, HAGIN & TUCKER (1982).

Diversos pesquisadores, como BROADBENT & REYES (1971), BROADBENT & TUSNEEM (1971), YOSHIDA & PADRE (1974), YOSHIDA & PADRE (1975) têm observado atividades microbiológicas em alguns solos das Filipinas, concorrendo para uma ineficiência dos fertilizantes. Suas funções são, na ordem de importância: nitrificação, desnitrificação e imobilização.

No caso da água, ela exerce dois papéis distintos, o primeiro é de proporcionar a existência da vida. De acordo com HAGIN & TUCKER (1982), a água sob tensões no solo de 15 a 22 bar impede a nitrificação. O segundo caso é quando a água impede a oxigenação do solo. Quando os poros ficam cheios de água e o oxigênio é drasticamente reduzido a níveis inferiores a 0,01 bar, a nitrificação cessa (HAGIN & TUCKER, 1982).

Para BROADBENT & TUSNEEM (1971) evidências de nitrificação em solos submersos são difíceis de se obter, devido à baixa concentração do nitrato, contudo KOYAMA & APP (1979) afirmaram ter observado esta atividade em solos alagados, onde o teor da matéria orgânica era alto.

A nitrificação pode ocorrer na cultura do arroz irrigado por submersão, no início da cultura, quando o solo ainda não foi irrigado e na interface solo água (ERNST & MASSEY, 1960) (KRESGE & SATCHELL, 1960).

2.9. Imobilização do Nitrogênio

A imobilização do nitrogênio dentro do perfil do solo pode ser considerada também outro processo de perda,

haja vista que as culturas, principalmente as de ciclo curto, poderão não ter acesso a ele.

Basicamente podemos atribuir este fenômeno a três diferentes causas: aos microorganismos, às argilas e à matéria orgânica, porém temos que ter em mente que o processo de mineralização e imobilização do nitrogênio no solo ocorre sempre de forma simultânea, BROADBENT (1965), DUPLESSIS & KROONTJE (1964).

Todos os microorganismos necessitam de nitrogênio para a formação de suas proteínas. Como o seu teor na maioria das proteínas é de 16% (CONN STUMPF, 1973), seria impossível qualquer desenvolvimento sem este elemento. Em virtude desta imposição, eles são obrigados a buscá-lo onde for possível. Isto acaba constituindo em imobilização, pelo menos enquanto durar a fase de vida e até a sua decomposição, quando este elemento estará novamente disponível.

A quantidade de nitrogênio requerida pelos microorganismos nos solos submersos geralmente é bem menor que a utilizada pela população microbiana em solos não inundados, BROADBENT & TUSNEEN, (1971) e SANCHEZ (1981). Para WILLIAMS *et alii* (1968), citados por DE DATTA (1981), este valor está em torno de um terço do requerido para a decomposição dos resíduos vegetais em solos drenados. A razão para tão baixa cifra, para BROADBENT (1965) e SANCHES (1981), é baixa eficiência da população microbiana anaeróbica.

Sempre se pode esperar uma alta imobilização do nitrogênio disponível, quando a atividade microbiana é

alta e baixa quando a atividade microbiana é baixa, HAGIN & TUCKER (1982).

BROADBENT (1965), em extensa revisão bibliográfica sobre a mobilização do nitrogênio da palha de arroz incorporada aos solos submersos, concluiu que este valor deve oscilar entre 0,47 e 1,17% do conteúdo do nitrogênio na palha de arroz.

A quantidade de amônia fixada pelas argilas é muito contraditória. Alguns autores acreditam não ser alta, enquanto outros preconizam exatamente o oposto. Isto é demonstrado pela divergência de dados do teor de nitrogênio imobilizado pelas argilas apresentadas por: DE DATTA (1981), 20% em solos argilosos das Filipinas, PATRICK & WYATT (1964) de 15 a 20%, FASSBENDER (1982) 80% e YOSHIDA & PADRE (1977), 51,5. Porém é de consenso geral a habilidade onde a vermiculita é a mais capaz seguida pela ilita e pela montmorilonita.

O caminho de volta do amônio fixado pelas argilas não é tão facilmente realizado, YOSHIDA & PADRE (1977), PATRICK & WYATT (1964). O nitrogênio fixado pelas argilas é muito resistente, entretanto em solos submersos pode ser permutado com uma menor relutância por cátions como o cálcio, magnésio e sódio mas nunca o potássio, (DE DATTA, 1981), configurando uma contradição à série liotrólica. Contudo RAIJ (1981) admite desvios nesta série, principalmente em solos com má drenagem.

Informações sobre os processos de imobilização do nitrogênio em solos inundados são bastante escassas,

principalmente em relação à matéria orgânica (DE DATTA, 1981).

Todos os autores são unânimes em imputar à relação C:N a maior responsabilidade da quantidade de nitrogênio fixado em solos drenados. Para HAGIM & TUCKER (1982) em uma relação C:N superior a 20:1 já começa um superavit da mobilização sobre a liberação e BUCKMAN & BRADY (1983) acredita que, quando o valor da relação ultrapassa 50:1, todo nitrogênio incorporado ao solo irá se tornar indisponível. Para YOSHIDA & PADRE (1975), estes conceitos, com algumas restrições, podem também ser aplicados em solos submersos.

Deve-se ter sempre em mente que a mudança de ambiente dos processos irá, sem dúvida alguma, refletir em uma alteração dos mesmos. Segundo SANCHEZ (1981), a decomposição da matéria orgânica nos solos inundados é mais lenta que em solos com boa aeração.

Para DE DATTA & MAGNAYE (1969) a relação C:N em solos alagados é maior que nos correspondentes bem drenados.

O CO_2 a NH_4 , aminas, mercapitanas, H_2S e resíduos parcialmente humificados são os produtos finais da decomposição da matéria orgânica em solos inundados, enquanto em solos bem drenados predominam o CO_2 , NO_3^- , SO_4^{++} e materiais humificados (PONNAMPERUMA, 1976).

2.10. Denitrificação

A denitrificação é uma adaptação dos microorganismos ao solo, na sua necessidade de conseguir manter a vida.

É inegável que substanciais perdas de nitrogênio são observadas em solos arrozeiros cultivados em regime de submersão. PEARSALL & MORTIMER, em 1939, citados por YOSHIDA & PADRE (1974), foram os primeiros autores a estudarem as diferentes formas de perda de nitrogênio em solos irrigados por inundação.

Existe uma crença generalizada de que o nitrogênio no solo encharcado é todo reduzido a amônia, (DE DATTA, 1981), (MACHADO, 1985) e (HAGIN & TUCKER, 1982), entretanto YOSHIDA & PADRE (1974), trabalhando com ^{15}N , afirmaram que apenas uma sumária quantidade de nitrato adicionado ao solo converte-se em amônia.

Em solos inundados, as perdas por denitrificação podem ser bem substanciais. BROADBENT & TUSNEEN (1971) encontraram perdas em apenas 10 dias de 30 a 40% do fertilizante inorgânico aplicado. KYUMA & KAMAGUCHI (1972), revisando trabalhos conduzidos sobre denitrificação, encontraram perdas estimadas em 20 a 40% na Índia, 30 a 50% no Japão, 37% na Califórnia, 68% na Luziana e 25% nas Filipinas. A sua ocorrência está condicionada a certas situações no solo, como quando há uma diminuição do teor de oxigênio disponível, o que leva as bactérias facultativas a lançarem mão do primeiro composto presente para suprir as suas necessidades,

que, de acordo com MACHADO (1985) e FASSBENDER (1982) é o nitrato. Segundo PATNAIK (1965), este fenômeno já começa acontecer quando a concentração do do oxigênio disponível decresce apenas 5 a 1.0% do seu valor inicial e isto já se observa em uma pequena lâmina na interface água-atmosfera.

Vários outros fatores aliados à deficiência do oxigênio influenciam o processo, tais como a temperatura, o regime de submersão, conteúdo de nitrato, matéria orgânica, fertilidade do solo, manejo do fertilizante nitrogenado, uso de pesticidas, presença de plantas, DE DATTA (1981).

Para JORGE (1969), este é um fenômeno puramente biológico, enquanto FASSBENDER (1982) tem uma visão um pouco diferente, ao dizer que a denitrificação pode ser por processos biológicos ou não biológicos, que atacam tanto o nitrogênio nativo como o fertilizante aplicado. BRADY (1983) cita que os microorganismos envolvidos são formas anaeróbicas facultativas que, na falta do oxigênio livre, lançam mão do nitrato e de alguns de seus produtos finais.

Sendo este um processo biológico, é evidente a importância da temperatura para o desempenho das atividades dos microorganismos. Para HAGIN & TUCKER (1982), a denitrificação cessa, quando a temperatura é menor que 0°C ou maior que 70°C e estimam que cada aumento de 10°C causa uma duplicação na sua atividade.

A alternância entre secamento e molhamento do solo é um fator que muito concorre para o aumento deste fenômeno, YOSHIDA & PARAÓ (1976) e MATSUSHIMA (1962).

O nitrogênio é perdido devido à sequência de nitrificação, quando o solo está drenado, e à denitrificação quando ele volta a ser submerso. REDDY & PATRICK (1976), citados por YOSHIDA & PADRE (1974), observaram perdas de 24,3% do nitrogênio aplicado na forma de sulfato de amônia em apenas 2 dias de submersão, após um período também de 2 dias em que o solo estava drenado.

Diversos pesquisadores como YANAGISAWA & TAKAHASHI (1964), PATRICK & WYATT (1977) e KOYAMA (1971) têm considerado que a porcentagem de denitrificação é independente do teor de nitrato presente no solo, enquanto outros autores como PONNAMPERUMA (1964) e SUZUKI & SAKAI (1968) acreditam haver uma correlação linear. Porém todos são unânimes em afirmar que a quantidade de nitrogênio perdido por denitrificação é diretamente proporcional à quantidade de nitrato presente no solo alagado.

Devido ao fato das bactérias denitrificantes necessitarem de carbono, elas obviamente precisarão de uma fonte deste elemento para o suprimento de suas necessidades e nada melhor que a matéria orgânica, o que torna a denitrificação muito dependente do seu conteúdo no solo. DE DATTA (1981) nos alerta que, além da quantidade, é também muito importante a natureza da mesma. BUFORD & BREMNER (1975) encontraram uma alta correlação ($r = 99$) entre o conteúdo da matéria orgânica no solo e a taxa de denitrificação.

De um modo geral, perdas através da denitrificação não são um problema muito sério em solos de várzea de regiões tropicais em países como a Índia e a Birmânia onde o conteúdo de matéria orgânica é baixo KAWAGUCHI & KYUMA (1977) e também é pouca a condição de redução YAMADA (1973). Já o IRRI RESEARCH INSTITUTE (1977) faz uma declaração mais contundente ao afirmar não existirem perdas por nitrificação ou denitrificação nos solos de várzea do rio Amazonas.

KOYAMA *et alii* (1977) estudaram as mudanças na flora bacteriana em uma camada de 25 cm de água em um sistema incubado de solo submerso. No primeiro estágio de submersão, o nitrato desaparece rapidamente, fenômeno este que é acompanhado por um pronunciado aumento nos organismos denitrificantes, mas não se observou variação da denitrificação na faixa oxidada. No estágio intermediário, a zona oxidada desenvolveu um considerável aumento na denitrificação, mas a população bacteriana não se alterou. No estágio final, o número de organismos nitrificantes permaneceu constante, mas os denitrificantes decaíram muito, presumivelmente devido ao decréscimo do substrato.

Utilizando amônia marcado, PATRICK & REDDY (1976) observaram que o conteúdo de amônia, após 15 dias de aplicado ao solo siltiloso submerso, decresce e começa a aparecer a sua conversão em N_2 , após 30 dias diminui a conversão de NH_4^+ para N_2 , o que leva a crerem os pesquisadores que a importância da denitrificação deve ficar confinada às duas primeiras semanas de submersão do solo.

2.11. Lixiviação do Nitrogênio

Do nitrogênio total na superfície dos solos agrícolas mais de 90% encontram-se em combinações orgânicas, LEON (1981). Enquanto permanece nesta forma, o nitrogênio está relativamente seguro das perdas, exceto por erosão, ALLISON (1965) e BRADY (1983). Entretanto, este estoque de N-orgânico está sujeito ao processo da mineralização, sendo convertido em amônia e, posteriormente, pelo processo de nitrificação, se houver oxigênio, transformado em nitrato e nitrito. Na forma de NO_3^- , o nitrogênio é normalmente pouco retido pelos colóides do solo, ficando livre na solução do solo e sujeito ao movimento da água no perfil, podendo perder-se por lixiviação.

Antes da hidrólise, a uréia é tão móvel como o nitrato, podendo também ser lixiviada BARBOSA (1987). Em solos submersos, onde a concentração de ferro e manganês é alta, a amônia pode sofrer lixiviação mediante a permuta deste íon nos sítios de troca do solo pelo Fe^{2+} e Mn^{2+} MORAES & FREIRE (1974).

De acordo com HAGIN & TUCKER (1982), as fontes de nitrato nos solos são os fertilizantes na forma de nitrato, a oxidação de fertilizantes na forma de amônia ou ainda a oxidação da matéria orgânica. Deste modo, as transformações e movimentos do nitrato no solo têm maior influência que a sua utilização pelas plantas ou a forma como o fertilizante é aplicado.

As perdas de nitrato ocorrem em função da água percolada, JORGE (1969), PRIMAVESI (1986) e DE DATTA (1981).

Segundo MAEDA & ONIKURA (1976) e KOYAMA *et alii* (1977), qualquer metodologia para estudar a percolação dos nitratos tem primeiramente a necessidade de estudar os efeitos e a quantidade de água percolada.

HAGIN & TUCKEY (1982) apresentaram uma equação para o fluxo do nitrato através do perfil do solo, que é:

$$q \text{ NO}_3^- = q \text{ W.C. NO}_3^- - D \alpha \frac{\text{NO}_3^-}{dx}$$

A idéia desta equação é que o fluxo se processa como um pistão: enquanto o movimento do nitrato é reduzido por um fator (D), as mudanças de concentração do nitrato variam de acordo com a profundidade do solo (x).

Os solos de textura grossa em geral perdem mais nitrato que os argilosos, JORGE (1969), BRADY (1986). Como a estrutura do solo desempenha um papel importante na infiltração, MOTA (1978), BAVER & GARDNER *et alii* (1973), ISRAELSEN & HANSEN (1973), será também decisiva na lixiviação. Estudando o movimento de NO_3^- num alfisol argiloso nas Filipinas, SU (1976) encontrou que este íon descia a uma taxa de 0,5 mm/mm de chuva. Trabalhos conduzidos no Japão por TAKAMURA *et alii* (1977), também em solos argilosos, indicaram índices de lixiviação de nitrato através do perfil de 1 a 1,5 mm/mm de chuva.

O movimento de nitrato em solos que apresentam diferenças texturais ao longo do seu perfil difere grandemente. KOYAMA & APP (1979) estudaram a influência do método de aplicação de nitrogênio na produção de arroz de sequeiro em solos barro siltosos que apresentam diferenças texturais em seus perfis. Para o solo "Basile" não houve vantagem da aplicação parcelada de amônia-anidra em relação a toda aplicação antes do plantio, na produção de grãos de arroz, o que não ocorreu com o solo "Thurman", onde aplicações parceladas deram melhores resultados. Os autores determinaram a movimentação de NO_3^- nos perfis dos dois solos até profundidade de 100 cm. Para o solo "Basile" caracterizado por um acúmulo de material argiloso à profundidade de 30-60 cm o movimento descendente do NO_3^- e, conseqüentemente, a perda por lixiviação foi restrita a esta camada, sendo uma importante característica para explicar as diferenças observadas no efeito do método de aplicação do nitrogênio, sobre a produção de arroz, entre os solos.

A quantificação do nitrato lixiviado em solos submersos é difícil de se obter devido a sua baixa concentração, BROADBENT & TUSNEEN (1971). Segundo ENGLER & PATRICK (1974) a sua redução é bem rápida e o NO_3^- desaparece após 10 dias de submersão.

REICHARDT *et alii* (1982) revisaram os trabalhos conduzidos no Brasil sobre o balanço de nitrogênio no sistema solo-planta, utilizando a técnica do isótopo (^{15}N) e discutiram os diferentes componentes do balanço, com ênfase

para as perdas de nitrogênio do solo e fertilizantes por lixiviação. Verificaram que aproximadamente 10 a 20 kg N/ha são perdidos por lixiviação com doses de até 100 kg N/ha, mas somente 20% dessas quantidades foram derivadas do fertilizante, e que 4,5 g de nitrogênio do fertilizante foram perdidos por lixiviação por milímetro de chuva com dose de 90 kg N/ha. Os autores concluíram que perdas de nitrogênio por lixiviação não constituem problemas com doses normais de fertilizantes.

2.12. Volatilização da Amônia

Sob certas condições do solo o nitrogênio pode rapidamente se perder por volatilização na forma de amônio (CHAD & KROONTJE, (1984); ERNEST & MASSEY (1960); FENN & KISSEL (1973); JEWITT (1942); KRESCE & SATCHELL (1960); WAHHAB *et alii* (1957).

Segundo DE DATTA (1981), a volatilização ocupa a segunda posição em perdas do nitrogênio aplicado em arrozais irrigados, enquanto STEVENSON (1982) argumenta ser muito difícil se ter uma posição definida sobre estas perdas devido à amplitude dos dados oferecidos pelas pesquisas.

A importância da volatilização tem crescido devido ao aumento das doses aplicadas, ao uso crescente do amônio anidro e a preferência cada vez maior pela uréia como fertilizante, FASSBENDER (1982).

A volatilização da amônia é função de várias propriedades do sistema solo envolvendo: umidade, pH, C.T.C., cátion trocáveis, texturas, conteúdo de calcário, temperatura, condições atmosféricas e também pelo alto conteúdo de NH_3 na solução do solo.

A importância da evaporação da água na perda de amônia é enfatizada por diversos trabalhos como o de MEYER (1974), MAEDA & ONIKURA (1976), VENTURA & YOSHIDA (1977), porém pesquisas realizadas por CHAD & KROONTJE (1964) mostraram que a taxa de volatilização da amônia e a evaporação da água seguem funções distintas.

ERNST & MASSEY (1960), FENN & KISSEL (1973), JEWITT (1942), WAHHAB *et alii* (1957) encontraram perdas superiores a 25% de volatilização do nitrogênio aplicado em culturas de arroz de sequeiro e BLASCO & CORNFIELD (1966), DUPLESSIS & KROONTJE (1964), ERNST & MASSEY (1960), VOLK (1951) detectaram também perdas superiores a 25% do nitrogênio aplicado por volatilização em arrozais irrigados.

Em solos mal drenados e com pouca incorporação do adubo a base de uréia ou de amônia pode-se perder de 20 a 40% do nitrogênio aplicado BUCKMAN & BRADY (1983).

Os dados apresentados por KRESGE & SARCHELL (1960) de umidade de 1; 5; 21,0 e 37,5% resultaram em perdas de 2,2; 3; 12 e 10,5% de perdas de NH_3 em 14 dias.

Sempre foi reconhecida a influência do pH na volatilização da amônia. Quando o pH é alto, também é alto potencial de perdas. Entretanto em se tratando de solos

inundados, é bastante seguro que o pH estará próximo de 7, SANCHEZ (1972), MORAES & FREIRE (1974), PONNAMPERUMA (1964) e (1976). Segundo BOSWELL *et alii* (1985), o equilíbrio do pH para a maioria dos solos submersos está entre 6,5 e 7,5.

Embora sua faixa de variação seja considerada bem reduzida, VENTURA & YOSHIDA (1977), DUPLESSIS & KROONTJE (1964), MACRAE & ANCAJAS (1970) consideram-no um fator muito importante na volatilização da amônia.

Com dados extraídos do gráfico pH x dias de aplicação, ERNST & MASSEY (1960) encontraram perdas de 25% da uréia aplicada em 10 dias com a variação do pH de 6,5 para 7,5 em solo argiloso na capacidade de campo

Volatilizações da amônia em solos moderadamente ácidos foram verificadas, todavia os maiores incrementos de perdas se fazem sentir quando o pH ultrapassa o valor de 7,4 (DE DATTA, 1981).

HAGIM & TUCKER (1982) acreditam que o equilíbrio das formas $\text{NH}_4^+ = \text{NH}_3 + \text{H}^+$ depende do pH e a presença de grandes quantidades do íon H^+ pode puxar a reação para a esquerda, evitando a dissociação.

A C.T.C. do solo tem influência na volatilização da amônia, KRESBE & SATCHELL (1960). Segundo VENTURA & YOSHIDA (1977), solos com alta C.T.C. são geralmente de baixo potencial de volatilização da amônia. ANJOS & TEDESCO (1973), estudando a influência da C.T.C. do solo, localização do adubo e pH em três solos do Rio Grande do Sul verificaram que as perdas de amônia foram inversamente

proporcionais à C.T.C. dos solos, variando de 15,1 a 27,9% da quantidade aplicada superficialmente nos solos com C.T.C. de 17,4 e 2,6 meq/100 g, respectivamente.

O conteúdo de carbonato no solo, sem dúvida alguma influencia na volatilização da amônia, DE DATTA (1981), JEWITT (1942) e ENGELSTAD (1985) e VITTI *et alii* (1984). Em condições de campo, ENGELSTAD (1985) relata que a perda da uréia aplicada na superfície do arrozal irrigado em solo calcáreo é maior que a do sulfato de amônio, isto porque a uréia hidroliza-se rapidamente formando carbonato de amônio, que é instável, desdobrando-se em NH_3 , CO_2 , e H_2O . JEWITT (1942) sugere serem possíveis também perdas tão grandes de amônio em solos ácidos.

BOULDIN *et alii* (1974), trabalhando no campo perto de New York, no verão, com 6 solos com cultura de arroz, observaram perdas por volatilização de amônio de 2 até 38% ao dia do nitrato de amônio aplicado diretamente sobre a lâmina d'água.

ERNEST & MASSEY (1960), MYRES (1974) e MACRAE & ANCAJAS (1970) consideram que a temperatura e radiação solar altas são elementos capazes de propiciarem situações muito favoráveis à evaporação da amônia. ERNEST & MASSEY (1960) e ACQUAY & CUNNINGHAM (1965) citados por FASSBENDER (1982) mostraram, trabalhando com ^{15}N , que aumentos da temperatura provocam maiores perdas de amônio por volatilização, atribuindo esse fato à maior velocidade de hidrólise da uréia, relatando que a temperatura ótima para essa reação é

de aproximadamente 55°C. Além desse efeito, a temperatura afeta a solubilidade da amônia em água, podendo afetar também o equilíbrio no solo. Em condições de laboratório, MYERS (1974) encontrou uma relação linear positiva entre as temperaturas de 20 até 30°C, e evaporação de NH_3 , isto com um solo argilo siltoso orgânico, com pH 7,0 e na capacidade de campo.

Segundo MIKKELSEN *et alii* (1978) a drenagem de arrozais, onde a população de algas é densa, produz grande incremento na volatilização da amônia.

Sendo a matéria orgânica um fornecedor do nitrogênio no solo, o seu conteúdo e distribuição terão importância na volatilização da amônia. Para SANCHEZ (1981) o carbono da matéria orgânica se decompõe mais que o N nas condições de sequeiro, havendo uma inversão após a inundação, quando a mineralização do N avança mais rápido. A amônia pode ser identificada com um dos produtos da mineralização da matéria orgânica, DE DATTA (1981) e LEON (1981), trabalhando em condições de laboratório com solos com alto teor de matéria orgânica (6,2%), encontraram um rápido aumento na concentração de amônia na solução do solo nos primeiros 50 dias após a inundação, atingindo o valor de 45 ppm e o equilíbrio só foi alcançado após 110 dias, quando se estabilizou em 70 ppm, até o fim do experimento de 200 dias. Em outros dois solos com 3,1 e 1,7% de matéria orgânica, o conteúdo de amônia na solução, após 50 dias, foi de 19 e 14 ppm respectivamente e o equilíbrio foi alcançado para ambos em 60 dias.

Em uma extensa revisão bibliográfica, YOSHIDA (1981) encontrou que a perda média por volatilização dos diversos trabalhos foi de 12%, a menor observada de 0,25% e a maior de 50%.

Na tentativa de quantificar as perdas por volatilização da amônia, geralmente nos baseamos nos dados de laboratório, por serem mais fáceis de se obter e de aparente maior exatidão devido às facilidades de controle sobre o experimento. Porém isto pode nos levar a uma estimativa superior à realidade.

De acordo com CANTARELA & TABATABAI (1985), os dados de campo são, em geral, menores que os observados em casa de vegetação.

Do ponto de vista de manejo da adubação, todos os pesquisadores são unânimes ao afirmar que são as altas concentrações de amônia no solo, a principal causa da sua volatilização, KIEHL (1983). As perdas por volatilização da uréia em relação às doses aplicadas crescem de forma exponencial, sendo que essas perdas são maiores em solos com maior conteúdo de areia. A grandeza das perdas de N é proporcional à quantidade de adubo aplicado. Com 8 kg de N/kg de solo em 7 dias FASSBENDER (1982) encontrou uma volatilização de 50%, caindo para 30% com 4 g de N/kg de solo e por último menos de 10% quando aplicado 2 g de N/kg de solo.

2.13. Absorção do Nitrogênio

Para DE DATTA (1981), em um estudo do balanço do nitrogênio, este elemento, quando absorvido pelas culturas, não deve ser analisado no cômputo geral quando se analisam as perdas, pois ele não foi perdido e sim encontrado.

O nitrogênio é o quarto elemento mais abundante nas plantas, depois do carbono, oxigênio e hidrogênio (EPSTEIN, 1975). Ele e o potássio são os macronutrientes absorvidos em maior quantidade pela planta de arroz (MALAVOLTA, 1981; MEDEIROS, 1980; SIMS & PLACE, 1968). Ele promove um melhor desenvolvimento geral da planta de arroz, aumenta a produção de palha e, como o fósforo, o número de panículas por planta. Uma grande parte do nitrogênio absorvido desempenha papel importante na formação dos órgãos reprodutivos e dos grãos (BRANDÃO, 1974).

MALAVOLTA (1981) afirma que o nitrogênio estimula o crescimento do sistema radicular do arroz, tem um efeito muito forte no perfilhamento, aumenta o número de espiguetas por panículas, bem como a porcentagem de proteína nos grãos. Contudo, para FAGERIA & WILCOX (1977) a resposta do arroz ao nitrogênio varia grandemente com o tipo de planta, clima, manejo de água e propriedades do solo.

O elevado custo dos fertilizantes, principalmente os nitrogenados, e a recente preocupação com a possível presença de nitrato na água do solo e dos rios, o que pode vir a ser um poluente, tem direcionado a atenção para a

eficiência de recuperação do nitrogênio pelas culturas, WESTERMAN & KURTZ (1973). De acordo com HAUCK & BREMNER (1976), o crescente interesse para maximizar a eficiência do uso do fertilizante nitrogenado na produção das culturas pode ser avaliado pelo aumento exponencial do uso do isótopo ^{15}N para estudar a absorção do nitrogênio aplicado.

Experimentos conduzidos para verificar a recuperação do nitrogênio pelas culturas usando o método do isótopo ^{15}N e o método indireto, revisados por ALLISON (1966), indicaram que, para uma simples colheita, sob condições ideais de campo, recuperação máxima variando de 50 a 70%, sendo entretanto, na maioria das vezes inferiores a esses valores.

Os cultivares de arroz comumente utilizam apenas 30 a 40% do fertilizante nitrogenado aplicado (MITSUI, 1956). A eficiência de uso do fertilizante nitrogenado pela cultura de arroz, na Coreia, está estimada na faixa de 30 a 35% (PARK & SHIN, 1973). BROADBENT & TUSNEEM (1971) relatam uma absorção de 56 a 65% do fertilizante nitrogenado aplicado na cultura do arroz. Para PATRICK Jr. & REDDY (1976), este valor variou de 40 a 62% e foi igual a 55% para MORRE *et alii* (1981). CRASWELL & VLEK (1979a) observaram perdas de 30 a 50% quando o nitrogênio foi aplicado como uréia e de 6 a 14% quando foi aplicado como sulfato de amônio. VLEK *et alii* (1979) relataram que a eficiência do fertilizante nitrogenado numa cultura de arroz variou de 31 a 64%. O aumento na eficiência, entretanto, levou necessariamente a

mais altos rendimentos de grão. Segundo REDDY & PATRICL (1976), no início do ciclo, a planta de arroz utiliza mais o nitrogênio do fertilizante e no fim do ciclo absorve mais o nitrogênio do solo.

A eficiência de uso do fertilizante nitrogenado é afetada pelo tipo de planta. TSUNODA (1965) concluiu que as cultivares de folhas eretas utilizam mais eficientemente o fertilizante nitrogenado do que as de folhas decumbentes.

Para o arroz de sequeiro no Brasil, as quantidades ótimas de N oscilam entre 120 a 160 kg/ha devido à baixa eficiência, enquanto que 30 a 60 kg/ha são suficientes para se conseguir colheitas máximas quando é irrigado (PRIMAVESI, 1986).

De acordo com PRIMAVESI (1986), o arroz absorve 50% do N aplicado. Para DE DATTA (1981), este valor varia entre 20 a 50%, e FAGERIA (1984) acredita que em condições muito controladas pode chegar a 65%, mas que na maioria das vezes dificilmente atinge 30 a 40%. Em experimento conduzido no INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (1975), comparando o sistema irrigado como de sequeiro as plantas de arroz cultivadas no solo inundado absorveram 51,7% do fertilizante nitrogenado aplicado e em condições de sequeiro as plantas absorveram somente 26%.

Para se ter uma produção de uma tonelada de arroz existe a exigência aproximadamente constante de que 19 a 21 kg de N sejam absorvidas pelas plantas, TAKAHASHI

(1961) e YAMAZAKI (1965) citados por MURAYAMA (1979). Para MALAVOLTA (1980), a produção de uma tonelada de grão consome 14 kg de nitrogênio.

Segundo SUZUKI *et alii* (1968), KOYAMA (1971), KOYAMA & SHIBUY (1975) e PATRICK & REDDY (1976) mais de dois terços do nitrogênio absorvido pela cultura do arroz vem do solo, enquanto MURAIAMA (1979) informa que atualmente no Japão mais de 80% do nitrogênio absorvido pelo arroz vêm dos fertilizantes.

Para SEINO (1968) a eficiência de absorção do nitrogênio deve ser medida pela alta produção, tendo e encontrado em uma produção de 10,1 t/ha uma eficiência de 57,4 kg de produção/kg de nitrogênio aplicado e para uma produção de 7,5 t/ha uma eficiência de 44,8.

FAGERIA (1984) nos apresenta uma diferente concepção de eficiência para a cultura do arroz, na qual a eficiência seria o elemento absorvido para a produção de grãos e não pela planta toda como tradicionalmente se faz. É o que ele chama de eficiência de utilização.

Uma vez absorvido, o nitrogênio transloca-se por toda as partes da planta. Por ocasião da maturação, a sua concentração é geralmente maior no grão (FURLANI *et alii*, 1977; GARGANTINI & BLANCO, 1965), entretanto, MEDEIROS (1980) verificou maior concentração na folha.

CHIU *et alii* (1963) observaram teores de nitrogênio no grão de arroz, por ocasião da maturação, iguais a 1,16% e 1,28%, em dois cultivos sucessivos. Os teores na

palha foram iguais a 0,75% e 0,91%. GARGANTINI & BLANCO (1965) encontraram os teores de 0,79% nas raízes, 0,47% na parte aérea e 1,29% nos grãos. Analisando a composição química inorgânica de três cultivares de arroz, FURLANI *et alii* (1977) verificaram que a concentração média de nitrogênio variou de 0,72 a 0,82% nas folhas, de 0,62 a 0,69% nos colmos, de 1,3 a 1,6% nos grãos descascados e de 0,67 a 0,78% na casca. MEDEIROS (1980) encontrou, para a cultivar IAC 47, os seguintes teores: 1,30% nas raízes, 1,65% nos colmos e panículas, 2,26% nas folhas e 1,75% nos grãos com casca. Para a mesma cultivar, SILVA *et alii* (1981) encontraram os teores de 1,27% nas raízes, 1,24% nos colmos, 1,89% nas folhas, 1,30% nos ráquis e 1,90% nos grãos.

CRASWELL & VLEK (1979a), citados por STONE (1982), observaram perdas de 30 a 50% quando o nitrogênio foi aplicado como uréia e de 6 a 14% quando aplicado como sulfato de amônio, fato também observado por BASTIDAS *et alii* (1984) que, trabalhando com as mesmas fontes, obteve resultados de perdas de 19 a 61% do total aplicado, sendo maior com a uréia que com o sulfato de amônio.

Ao que tudo indica, o nitrogênio amoniacal é mais eficiente para o arroz irrigado (MELLO *et alii*, 1981) e (SANCHEZ, 1981). Para FAGERIA (1984), em solos inundados, a melhor fonte é a amoniacal e amidica aplicado na zona de redução.

A uréia seguida do sulfato de amônio são os fertilizantes que proporcionam maiores produções de matéria

seca correspondente à parte aérea da planta de arroz, BRANDÃO (1978), citado por AQUINO (1984) e BASTIDAS *et alii* (1984). Para MALAVOLTA (1978) o sulfato de amônio é tido como fonte padrão em todo o mundo.

Em solos deficientes de enxofre, o sulfato de amônio é algumas vezes superior à uréia, mas o contrário acontece em solos muito ácidos com menor conteúdo de ferro, em que pode ocorrer toxidez de H_2S SANCHEZ (1981). Quanto a forma de aplicação, para MALAVOLTA (1981), as formas amoniais ou amidicas podem ser usadas antes do plantio, no plantio ou em cobertura.

Existe uma unanimidade de todos os autores ao imputar o parcelamento como a forma mais eficiente de adubação do arroz. VITTI *et alii* (1984) e PEDROSO (1985) aconselham que o parcelamento deve ser feito de modo que a dose principal coincida com o período de maior exigência da cultura.

O nitrogênio é absorvido mais ativamente pela planta de arroz, do início da fase vegetativa até a floração. O elemento aplicado e acumulado neste período, poderá ser utilizado em parte para o seu crescimento posterior, se o fornecimento não for mantido (MALAVOLTA, 1981), YOSHIDA (1981) também afirma que o nitrogênio é absorvido rapidamente nos estágios iniciais do crescimento e decresce para uma baixa taxa após a floração dos grãos, quando a planta já absorveu mais de 75% do nitrogênio de que necessita.

BROADBENT & REYES (1970), trabalhando em estufa com arroz irrigado, em vasos com dois níveis de sulfato de amônio marcado 50 e 100 ppm e três épocas de aplicação, semeadura 30 dias e 90 dias após, detectaram um incremento na absorção da época de adubação de 30 dias em relação ao efeito na semeadura e um posterior declínio no tempo de 90 dias. Isto nos dois níveis de nitrogênio aplicado, fato também observado por BASTIDAS *et alii* (1984) nas fontes sulfato de amônio e uréia nos tempos de aplicação na semeadura e 30 dias após.

A produção máxima é obtida quando metade do N é aplicado na diferenciação de espiguetas e metade no estágio de divisão-redução, FAGERIA (1984). Em muitos experimentos com arroz irrigado, no Rio Grande do Sul, os resultados têm mostrado uma melhor eficiência quando a aplicação é parcelada em duas etapas: 1/3 do total de N na semeadura mais 2/3 no início de diferenciação de panícula. MACHADO (1985) KUMURA (1960) e MATSUSHIMA & MANA (1961) citados por FAGERIA (1984) advertem que grandes quantidades de N aplicado no final da fase vegetativa provogão um efeito contrário na produção.

2.14. Balanço do Nitrogênio no Sistema Solo-Planta

Dois métodos são geralmente utilizados em pesquisas com balanço do nitrogênio no sistema solo-planta, LEGG & MEISINGER (1982). O primeiro, envolve o balanço

completo do nitrogênio e procura documentar convenientemente o total de ganhos e perdas sem o uso do isótopo (^{15}N). No segundo, o fertilizante nitrogenado enriquecido com ^{15}N é introduzido no sistema e calcula-se o balanço ^{15}N -fertilizante. Estes dois métodos diferenciam-se por enfatizarem diferentes propriedades do sistema.

O balanço do N-total baseia-se no ciclo do nitrogênio no sistema através de várias adições e perdas. De acordo com URQUIAGA (1982) e REICHARDT *et alii* (1982), o balanço do N-total no sistema solo-planta consiste na contabilização das entradas (Ne) e saídas (Ns) do nutriente numa determinada camada do solo (L) (que deve incluir todo sistema radicular), num determinado intervalo de tempo ($T_2 - T_1$), isto é:

$$\Delta N = \sum (N_e - N_s) = N_2 - N_1 \quad [11]$$

onde:

ΔN é a mudança do nitrogênio armazenado em uma determinada camada de solo e N_1 , N_2 são as quantidades de N armazenadas nos tempos T_1 e T_2 , respectivamente, em uma camada de solo.

As quantidades de nitrogênio que entram no sistema podem ser provenientes da matéria orgânica e/ou fertilizantes (Nf), fixação biológica (Nfb), por chuvas e/ou irrigação (Nch). As saídas de nitrogênio podem se processar através da lixiviação (NL), deflúvio superficial (Nd), volatilização (Nv) e colheita (Nc). Portanto, tem-se:

$$N = \frac{(CNf + Nfb + Nch)}{Ne} - \frac{(CNz + Nd + Nv + Nc)}{Ns} \quad [2]$$

Quando se estuda o balanço do nitrogênio em um determinado sistema solo-planta pelo método de N-total (método de diferença), geralmente não se obtém recuperação satisfatória devido à inadequada medida de um ou mais componentes do balanço, incluindo: estimativa indireta do N removido nos grãos, erros nas amostragens de material de solo no início e final do experimento (pequeno número de amostras e/ou amostragens a pequenas quantidades), erros nas análises de N-orgânico ou na determinação do N-total, LEGG & MEISINGER, 1982.

Em experimentos conduzidos em Piracicaba-SP., em Terra Roxa Estruturada (Alfisol), com o objetivo de estudar a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.), LIBARDI & REICHARDT (1978) E URQUIAGA (1982) não detectaram grandes variações na quantidade de N-total armazenado no perfil do solo (0-120 cm) durante o ciclo da cultura, tanto no solo original como no solo das parcelas que haviam recebido 40 e 120 kg N-fertilizante/ha. Para URQUIAGA (1982) as mudanças contraditórias da variação da armazenagem de nitrogênio no solo podem ser devidas a erros que ocorrem na estimativa da quantidade de N-total no solo.

As análises para quantificar as mudanças no N-total do solo têm sido insatisfatórias devido às dificul-

dades de amostragens; e também porque os métodos químicos para determinação de N-total não são suficientemente adequados para medir pequenas perdas na presença de quantidades relativamente grandes de nitrogênio do solo, CARTER *et alii* (1965).

Através do uso do isótopo (^{15}N), é possível medir com satisfatória precisão a quantidade de N-fertilizante adicionado não recuperado na planta ou solo, BURESH *et alii*, (1982). Segundo ALLISON (1966) este método de experimentação aumenta em muito a precisão com que pequenas quantidades de N-fertilizantes podem ser determinadas na presença de grandes quantidades de nitrogênio do solo, e elimina também, alguma possibilidade de interferência como resultado da fixação não simbiótica de nitrogênio, absorção de gases de nitrogênio do ar ou adições pelas chuvas. Por outro lado, o método não possibilita medir perdas totais por volatilização porque este não avalia perdas de nitrogênio do solo.

Entretanto, NÖMMIK (1973) tem proposto que a volatilização de NH_3 pode ser avaliada com precisão sob condições de campo através da adição de uréia marcada com ^{15}N para microparcelas isoladas verticalmente, e subsequente recuperação do ^{15}N -uréia no sistema solo-planta. O método requer que perdas por lixiviação e/ou desnitrificação não ocorram durante o período experimental.

Diversos autores têm revisado e discutido as vantagens e desvantagens do uso do isótopo ^{15}N em estudos do balanço de nitrogênio (CHAUCH & BREMER, 1976) (LEGG &

MEISINGER, 1982). Segundo CARTER *et alii* (1965), a principal vantagem está no aumento da sensibilidade em traçar o destino do nitrogênio do fertilizante no sistema solo-planta. Entretanto, na prática, este aumento na sensibilidade pode ser prejudicado por problemas de amostragens. As principais fontes de erros são freqüentemente associados à estimação da massa de solo por unidades de volume (determinação incorreta da densidade aparente), produção de matéria seca. E essas fontes freqüentemente determinam a precisão nos trabalhos do balanço do nitrogênio se estimativas reais dos vários compartimentos do nitrogênio possam ser obtidos através de coleta de amostras representativas para análises, experimentos com adequado número de repetições e controle local, LEGG & MEISINGER, (1982).

A maior limitação do método do traçador (^{15}N) é o alto custo inicial do material experimental e equipamento envolvido. Entretanto, essas limitações tem sido diminuídas pelos recentes avanços nos processos de separação do isótopo, instrumentação e metodologia, HAUCK & BREMNER, (1976).

O elevado custo do isótopo (^{15}N) limita o seu uso em grande escala a nível de campo ou a alto nível de enriquecimento. Entretanto, é possível utilizá-lo em condições de campo, em pequenas parcelas experimentais, mesmo considerando a influência dos fatores do solo nas perdas de gases, movimento do nitrogênio e absorção pela planta do nitrogênio nativo do solo, se técnicas adequadas

são disponíveis para o uso de fertilizantes com baixo nível de enriquecimento, CARTER *et alii*, (1965).

Um grande número de experimentos tem sido conduzido utilizando-se da técnica do isótopo (^{15}N). Entretanto, de acordo com HAUCK, citado por CAMPBELL & PAUL, (1978), são poucos os trabalhos que dão informações úteis ao cálculo do balanço do nitrogênio. Além disso, a maioria dos estudos do balanço do nitrogênio tem sido conduzido em casa de vegetação e os resultados obtidos em tais estudos podem ser diferentes daqueles encontrados sob condições de campo. Por outro lado, poucos resultados de experimentos de campo, que incluem análises de solo, têm sido publicados, o que impossibilita quantificar perdas de nitrogênio por lixiviação, ALLISON (1966).

Nos estudos do balanço do nitrogênio, as principais culturas testes têm sido: arroz, feijão, aveia, trigo e cevada. Isto deve-se ao fato de que experimentos com essas culturas podem ser conduzidos em pequenas parcelas requerendo assim, menores quantidades de ^{15}N . Experimentos sobre o balanço do nitrogênio na cultura do arroz, usando ^{15}N , não são comuns em condições de campo, visto que a necessidade de parcelas experimentais maiores elevam em demasia os custos do fertilizante marcado, DE DATTA (1981).

As alterações físicas, químicas e biológicas que ocorrem no solo com a cultura de arroz inundado irão, sem dúvida alguma, ter influência nas transformações e destino do nitrogênio. Para COLAÇO & VICTORIA (1988), essas

condições geralmente resultam em um grande potencial de perdas do nitrogênio do solo através dos processos de nitrificação-denitrificação, volatilização de amônio e lixiviação, principalmente após ciclos alternados de secagem e irrigação do solo.

Diversos balanços têm sido realizados com o isótopo enriquecido de ^{15}N como o de STONE (1982) que estudou a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta com a cultura de arroz de sequeiro. Utilizando sulfato de amônio enriquecido em 2,707% de átomos de ^{15}N , conseguiu contabilizar de 78 a 100% do nitrogênio aplicado, ficando o solo com 4,9 a 14,2%, as raízes com 17,2 a 13,2%, as folhas com 24,5 a 43,4%, os colmos com 18,8 a 25,8% e os grãos com 6,5 a 36,7%, BASTIDAS *et alii* (1984), trabalhando com sulfato de amônio 1,82% de átomos de ^{15}N e uréia com 1973% de átomos de ^{15}N em arroz irrigado, conseguiram recuperar de 39 a 81% do fertilizante aplicado, ficando as plantas com 25 a 43% e o solo com 14 a 38%.

Em um solo aluvial na capacidade de campo e inundado, COLAÇO (1988), com uréia 10,839% de átomos de ^{15}N detectou o destino do fertilizante aplicado, ficando as raízes com 0,2 a 9,60%, o colmo de folhas com 1,6 a 41,5% e o solo com 9,5 a 68,44%. Com sulfato de amônio enriquecendo em 7,483% de átomos de ^{15}N YONEYAMA & YOSHIDA (1977) fizeram um balanço em arroz irrigado de 11,66 g de N aplicado e constataram que 50,6% do fertilizante aplicado estavam na planta e 27,1% no solo, ao final do ciclo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Casa de Vegetação

Para este trabalho utilizou-se a casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura "CENA", Piracicaba - SP., (22°42'S, 47°38'W, 576 m).

A casa de vegetação do tipo convencional tem as dimensões de 9,0 de largura x 30,0 m de comprimento x 4,5 m de altura, dentro da qual ocupou-se uma área de aproximadamente 30 m² situado numa das extremidades.

3.2. Solo

O solo utilizado é de várzea do município de Iranduba - AM., (3°08'S, 60°01'W, 48 m) e foi classificado como Aluvial por Brasil (1978), sendo extraído de uma camada superficial de 20 cm.

As análises das características físicas são as seguintes pelo Laboratório de Solos Geologia e Fertilizantes da "ESALQ":

Areia Grossa (2-0,25 mm)	4,3%
Areia Fina (0,25-0,05 mm)	35,7%
Areia Total (2-0,05 mm)	40,0%
Silte (0,05-0,002mm)	42,3%
Argila < (0,002 mm)	17,7%
Argila (disp. em água)	8,0%

As análises químicas são as seguintes pelo Laboratório de Química Nutrição Mineral de Plantas da "ESALQ":

P. res. meq/100 cm ³	33,4	* m
M. O. %	2,33	* m
pH CaCl (0,01 M)	5,55	* a
K meq/100 cm ³	0,17	* m
Ca meq/100 cm ³	1,38	* m
Mg meq/100 cm ³	0,49	* m
H + Al meq/100 cm ³	3,43	* b
S meq/100 cm ³	2,0	* m
T meq/100 cm ³	5,5	* m
V meq/100 cm ³	37,3	⁰ * b

* Observação: mb = muito baixo;

b = baixo;

m = médio;

a = alto;

ma = muito alto.

3.3. Vasos

Foram utilizados 24 vasos de barro com as dimensões médias internas do diâmetro superior de 25,76 cm, do diâmetro inferior de 16,06 cm e com a altura de 25,48 cm.

Dos 24 vasos, 21 deles foram equipados com dispositivo de drenagem de PVC rígido rosqueado tipo macho e fêmea (Ø 3/4 pol) e unidos a uma mangueira flexível de plástico também de diâmetro de 3/4 de pol e comprimento de 1,2 m conectados um a um ao recipiente coletor da água drenada. Os vasos foram ainda impermeabilizados com neutrol e seu fundo protegido por uma manta de Bidrin de 10 cm de diâmetro e numerados por fora conforme a época e forma da aplicação do ^{15}N .

Nos 3 restantes vasos que serviram para a medição da evaporação, o orifício inferior foi vedado e adaptada uma curva de 90° de PVC rígido (Ø 1/3 pol) na lateral cuja borda inferior distância 3 cm da parte superior do vaso, para manter o nível da água sempre limitado a esta altura. Estes vasos foram numerados externamente como EV I, EV II e EV III. Na Figura 1 são mostrados detalhes destes vasos.

Fig 1- DETALHES DA PREPARAÇÃO DOS VASOS

LEGENDA:

- A - Vaso para o balanço do 15 N e água
- B - Manta de Bidrin
- C - União de PVC
- D - Mangueira de plástico
- E - Recipiente coletor de água
- F - Vaso para a determinação da evaporação
- G - Vedação com durepox
- H - Curva de 90° de PVC
- I - Nivel do solo
- J - Marca para determinar o nivel da água

Figura 1 - Detalhes da preparação dos vasos.

3.4. Enchimento dos Vasos

Os 21 vasos destinados ao balanço do Nitrogênio e os 3 de evaporação foram enchidos com o solo homogeneizado, peneirado (MESH 16) e levemente compactado em camadas até a altura de 4 cm da borda superior e nivelado com um bastão de madeira. O peso médio do solo em cada vaso foi 6141,26 g com desvio padrão de 235,25 g.

3.5. Calagem

A calagem foi efetuada no dia 20/10/87, segundo a recomendação do boletim nº 100 do "IAC" (Instituto Agronômico de Campinas), para arroz irrigado que determina a dose de 1000 Kg/ha de calcário. Tanto a calagem como a adubação foram calculadas com base no volume médio de solo em cada vaso, que foi de 6849,40 cm³ com desvio padrão de 165,51 cm³. O solo dos vasos foi mantido úmido até o dia da adubação.

3.6. Fontes de Nitrogênio

Como fonte de Nitrogênio foram usados o sulfato de amônio marcado com ¹⁵N 10,137% ± 0,047 e sulfato de amônio não marcado, uréia marcada com ¹⁵N 10,772% ± 0,021 e uréia não marcada.

3.7. Adubação Não Nitrogenado

A adubação foi feita no dia 29/11/87 e seguiu também as especificações do boletim nº 100 do IAC para arroz irrigado em todos os vasos (menos nas de medição da EV). A recomendação indicava o fósforo na base de 20 Kg de P_2O_5 /ha, o potássio 20 Kg de K_2O /ha, no enxofre a dosagem recomendada foi de 10 Kg/ha, como o sulfato de amônio contém 23%, não foi usado nos tratamentos com este adubo.

Cada elemento foi incorporado manualmente, um de cada vez, procurando torná-los o mais uniforme possível dentro do solo.

3.8. Adubação Nitrogenado

No cálculo do Nitrogênio; devido às características do experimento não se seguiu as especificações do boletim nº 100 do IAC, sendo aplicado o equivalente a 100 Kg de N/ha parcelado igualmente em 3 épocas: no plantio, incorporado ao solo, 35 dias após em cobertura e 70 dias após o plantio também em cobertura.

3.9. Variedade de Arroz

Utilizou-se a variedade de arroz (*Oryza sativa* L.) 4440 do IAC, obtida no Departamento de Agricultura da "ESALQ".

Esta variedade responde muito bem à adubação nitrogenada, FONSECA *et alii* (1983). Sua origem é do cruzamento CICA-4 e (IR-665-23-3-1 x TETEP) dando origem a uma planta de porte baixo, bom potencial de perfilho, resistente ao acamamento e de ciclo tardio (140-150 dias), USBERT FILHO *et alii* (1986).

3.10. Plantio

O plantio foi realizado no dia 30/11/87, quando foram colocadas 5 sementes em cada vaso.

3.11. Desbaste

No dia 15/12/87, aproximadamente uma semana após a emergência, foi feito o desbaste, deixando-se 3 plantas por vaso. As plantas dos vasos já tratados com uréia e sulfato de amônio marcados (UOI, UOII, UOIII, SOI, SOII, SOIII) foram secas em estufa a 60°C, numeradas e guardadas. As demais plantas foram descartadas.

3.12. Disposição dos Vasos e Instrumentos

A distribuição dos vasos seguiu a orientação de SPIEGEL (1974) para amostras aleatórias, sendo as disposições limitadas pela já instalação dos dispositivos de irrigação e medição de temperaturas (Figura 2).

Fig. 2-DISPOSIÇÃO DOS VASOS E INSTRUMENTOS

LEGENDA:

- A - Tanque com bóia para manter o nível da água constante
- B - Caixa d'água de 50 litros para abastecer o tanque
- C - Abrigo dos termômetros
- D - Mesas de suporte
- E - Vasos para medir a evaporação
- F - Vasos com as testemunhas
- G - Vasos com aplicação de uréia marcada no plantio
- H - Vasos com aplicação de uréia marcada 35 dias após plantio
- I - Vasos com aplicação de uréia marcada 70 dias após plantio
- J - Vasos com aplicação de sulfato de amônia marcada no plantio
- K - Vasos com aplicação de sulfato de amônia marcada 35 dias após plantio
- L - Vasos com aplicação de sulfato de amônia marcada 70 dias após plantio

Figura 2 - Disposição dos vasos e instrumentos.

Em 21/01/88, em virtude de uma clorose nas plantas predominante do lado nascente, houve um remanejamento dos vasos com inversão das respectivas posições.

3.13. Manejo da Água

3.13.1. Irrigação

Iniciou-se no dia 22/12/87 e foi conduzida ininterruptamente até 18/04/88. A irrigação dos vasos com arroz foi feita por gravidade, unindo-se cada vaso individualmente com uma mangueira de plástico transparente de 1/4 de pol. de diâmetro e 1,5 m de comprimento ao tanque de nível constante controlado por uma boia, que, por sua vez, era alimentado também por gravidade por uma caixa d'água de 50 litros (Figura 3).

Tanto o tanque de nível constante como a caixa d'água alimentadora permaneceram todo o tempo cobertos. Diariamente era feita a recarga da caixa d'água.

3.13.2. Evaporação

A reposição da água dos vasos de evaporação era feita diariamente com uma proveta graduada até superar o limite máximo estabelecido pelo dreno lateral. O excesso drenado era também recolhido em uma proveta graduada e pela diferença entre a água colocada no vaso e a drenada se cal-

culava o volume evaporado, que dividido pela área da superfície líquida dava a lâmina evaporada.

3.13.3. Drenagem

A drenagem só foi medida nos vasos plantados, com início no dia 23/12/87 até 18/04/88, por uma mangueira transparente de plástico de diâmetro de 3/4 de pol. para observar se havia carreamento de solo.

Devido às diferentes condutividades hidráulicas do solo dentro do vasos, interrompia-se a coleta após obter-se um volume máximo de 500 ml (Figuras 3 a 5).

O volume total drenado em cada vaso está no Apêndice 1.

A representação esquemática do conjunto de manejo de água é demonstrada na Figura 3.

3.14. Apresentação dos Dados da Evapotranspiração, Evaporação e Transpiração

O valor da evapotranspiração expressa em mm/dia (Tabela 1) foi a média de 5 dias de dados do volume médio de água gasto nos 21 vasos plantados, dividido pela área média da lâmina d'água em contato com o ar, depois de descontada a água drenada.

Legenda:

A - Tanque alimentador	K - Vaso evaporimetro (a)
B - Tanque de nível constante	L - Proveta medidora
C - Vasos (21)	M - Garrafão de plástico rígido
D - Garrafas coletoras (21)	N - Duas curvas de 90° unidas invertidas
F - Tubo alimentador principal	O - Nível máx. da água na caixa d'água
G - Sifões alimentadores	P - Nível máx. da água no vaso de evaporação
H - Válvula de bóia	Q - Curva de 90°
I - Mesa suporte	R - Mangueira de Borracha transparente fle-
J - Piso	xível

Figura 3 - Representação esquemática do conjunto de manejo da água.

Figura 4 - Vasos com arroz inundado aparecendo no centro o tanque de nível constante.

Figura 5 - Rede de drenagem dos vasos irrigados.

O valor da evaporação em mm/dia também foi a média diária de 5 dias de observações do volume médio de água gasto nos 3 vasos sem plantas, dividido pela área média da lâmina d'água em contato com o ar de cada vaso (Figuras 1 e 3).

A transpiração foi estimada pela diferença entre o valor da evapotranspiração e da evaporação, conforme procedimento feito por COARACI & INFORZATO (1950).

3.14.1. Divisão do estudo dos dados de evapotranspiração, evaporação e transpiração

A divisão dos dados em fases vegetativa, reprodutiva e de maturação seguiram as orientações de FAGERIA (1984) e DE DATTA (1981), que argumentaram serem estes períodos os mais diferenciados na cultura do arroz.

O término da fase vegetativa foi atribuído a 80 dias após o plantio e o término da fase reprodutiva foi de 40 dias após o fim da fase vegetativa, conforme metodologia descrita por YOSHIDA (1981).

3.15. Temperatura

As temperaturas foram registradas diariamente desde o dia do plantio em 30/11/87 até o dia da colheita em 03/05/88, por um conjunto de termômetros de máximo e mínimo modelo FUESS de 0-60°C, protegidos por um abrigo ventilado, pintado de branco e contíguo aos vasos (Figura 2).

Na determinação da temperatura média seguimos a orientação de YOSHIDA (1981) e LINSLEY *et alii* (1975), calculando-se pela equação:

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad [11]$$

onde:

T_{med} = temperatura média diária, em °C;

T_{max} = temperatura máxima diária, em °C;

T_{min} = Temperatura mínima diária, em °C.

3.16. Coleta do Material

A coleta do material consta de 5 itens: a água drenada, os grãos, a parte aérea, a raiz e o solo.

Para a água percolada de cada vaso foi designada uma bandeja de plástico (total de 18) que permaneciam dentro da estufa para secar a menos de 60°C e o pH da solução era mantido em torno de 4.

A água colhida de cada vaso diariamente, desde 22/12/87 até 08/04/88 era adicionada à sua respectiva bandeja, permanecendo para secar até o volume todo reduzir-se a aproximadamente 1 cm³, quando foram guardadas.

No dia 03/05/88 as quatro operações restantes foram conduzidas.

O arroz com casca das três plantas de cada vaso foi colhido, colocado em sacos de papel etiquetados de acordo com seu tratamento, posto para secar em estufa com

menos de 60°C, por 24 horas, pesado (balança eletrônica com precisão de 0,001g), moído em moinho tipo Wiley e novamente guardado. Foi considerada parte aérea toda porção acima do nível do solo, menos os grãos já colhidos e feito comportamento análogo ao do arroz.

As raízes e o solo foram recolhidos, quebrando-se cada vaso sobre um plástico, o solo foi removido, homogeneizado e guardado aproximadamente 1 kg/tratamento em sacos de papel, e também posto para secar em estufa por 24 horas a menos de 60°C. Depois de removido manualmente quase todo solo encrustado nas raízes, elas foram exaustivamente lavadas até apresentarem uma coloração marrom bem claro, que evidenciava a remoção de todo o solo, sendo colocadas em sacos de papel numerados, postas a secar em estufa a menos de 60°C por 24 horas, pesadas, moídas e guardadas.

3.17. Delineamento Experimental

Na avaliação da influência da época do nitrogênio foi usado o isótopo ^{15}N como indicador e este teste foi inteiramente casualizado.

O nitrogênio aplicado foi parcelado igualmente em três porções, e cada tratamento recebeu apenas 1/3 deste nitrogênio de forma enriquecida. Os 2/3 restantes foram na forma normal.

São seis tratamentos com três repetições cada, conforme a descrição:

Tratamento 1: Uréia marcada foi aplicada no plantio, incorporada ao solo, e as adubações de cobertura com 35 e 70 dias com uréia não marcada.

Tratamento 2: Uréia marcada foi aplicada em cobertura, aos 35 dias, ficando a primeira e última adubação com uréia não marcada.

Tratamento 3: Uréia marcada foi aplicada em cobertura aos 70 dias, sendo as duas primeiras adubações com uréia não marcada.

Os Tratamentos 4, 5 e 6 foram uma repetição do 1, 2 e 3, substituindo-se a uréia pelo sulfato de amônio.

A comparação entre as duas fontes entre si e com a testemunha também foi inteiramente casualizado com acréscimo de três vasos, que não levaram adubação nitrogenada como testemunha, e nesta comparação não se usou o artifício do isótopo ^{15}N , mas usaram-se os 18 vasos do delineamento anterior, ficando assim divididos: 9 vasos com uréia, 9 vasos com sulfato de amônio e 3 vasos como testemunha.

Na comparação das médias dos tratamentos foi empregado o teste de Tukey, na avaliação da influência da época de aplicação do nitrogênio (GOMES, 1982) e o teste de Dunnet, na comparação entre as duas fontes entre si e a testemunha (BANZATT e KRONKA, 1989).

Na análise da evapotranspiração, transpiração e evaporação, usaram-se três vasos com características idênticas aos demais, porém sem plantas. A evapotranspiração foi estimada pela média de perda de água para a atmosfera dos 21 vasos plantados, a evaporação pela média dos três vasos sem planta e a transpiração pela diferença entre a evapotranspiração e a evaporação. A análise estatística desses dados foi feita por análise de variância, regressões lineares e polinomiais.

3.18. Análise do Nitrogênio Total

O nitrogênio total foi determinado pelo método de micro-Kjeldahl com digestão úmida com 100 mg para o material vegetal seco, 2 gramas para o solo seco e em toda solução concentrada da água drenada, de acordo com Bremner (1965), citado por TRIVELIM *et alii* (1973). O resultado das análises para a planta e solo foi expresso em porcentagem de nitrogênio total, e para a água drenada em nitrogênio total.

3.19. Análise do ^{15}N do Solo Antes do Experimento

A concentração porcentual de átomos de ^{15}N em relação ao total de átomos de N contido na amostra foi obtida a partir da equação:

$$\% \text{ Át. } ^{15}\text{N} = \left[\frac{\text{N}^{\circ} \text{ átomos } ^{15}\text{N}}{\text{N}^{\circ} \text{ át. } ^{14}\text{N} + \text{N}^{\circ} \text{ át. } ^{15}\text{N}} \right] \times 100 \quad [2]$$

Desta forma, encontrou-se que a porcentagem de átomos de ^{15}N na amostra do solo antes da adubação nitrogenada (abundância natural de ^{15}N) foi de 0,369%.

Os cálculos sobre a composição isotópica de amostras podem ser vistas com detalhes em TRIVELIN *et alii* (1973).

3.20. Balanço do Nitrogênio no Sistema Solo-Planta

O balanço do nitrogênio no sistema solo-planta é a contabilização das entradas e saídas do nutriente num dado volume de solo, num determinado intervalo de tempo.

A quantidade de nitrogênio que entra (NE) no sistema pode ser por aplicação de fertilizante e/ou adubos verdes (NF), fixação biológica (NFB) e por chuvas (NCH). A quantidade de nitrogênio que sai (NS) pode ser por lixiviação (NL), por dinitrificação (ND), por volatilização (NV) e, finalmente, por extração pela colheita (NC). Portanto, a variação da quantidade de nitrogênio no solo, durante um período considerado, pode ser expressa como:

$$\Delta N = \Sigma NE - \Sigma NS \quad [13]$$

ou

$$\Delta N = NF + NFB + NCH - NL - ND - NV - NC \quad [14]$$

No experimento a fixação biológica pode ser esquecida por ser quantitativamente desprezível. YOSHIDA e ANCAJA (1973) verificaram que a fixação biológica do nitro-

gênio pelo arroz é muito baixa. A maior fixação é feita pelas algas (MAEDAK e ONIKURA, 1976), mas, devido ao teste de evapotranspiração, foi exercido um controle rigoroso para sua não proliferação, e não houve também adição de nitrogênio pelas chuvas.

Com estas supressões, o balanço de nitrogênio do experimento reduz-se a:

$$\Delta N = NF - NL - ND - NV - NC \quad [5]$$

A equação [5] corresponde ao balanço do nitrogênio aplicado como fertilizante, estando implícito o nitrogênio inicial do solo. Como o fertilizante é marcado, o balanço pode ser feito de forma independente nas duas fontes. Aqui, far-se-á apenas o balanço do fertilizante aplicado, o que modifica a equação para:

$$\Delta F = NL - ND - NV - NC - \Delta N \quad [6]$$

De posse dos valores do NL, NC, NF e ΔN , e como o produto final da denitrificação é o N_2 (KOYAMA, 1971), que também se perde para a atmosfera, pode-se somar os termos ND e NV cognominando-os de perda para a atmosfera (NP), o que leva a um novo arranjo na equação, ficando nesta nova forma para o experimento

$$NP = NF - NL - NC - \Delta N \quad [7]$$

3.21. Parâmetros Avaliados

3.21.1. Produção

Produção de grãos (g/vaso), obtida pela pesagem dos grãos secos em estufa a 60°C por 24 horas.

3.21.2. Rendimento da matéria seca

- Raiz (g/vaso);
- Parte aérea;
- Arroz (cariopse e casca).

3.21.3. Consumo de água

O consumo é determinado pela equação:

$$T = ETP - EV \quad [8]$$

onde:

T = transpiração, em mm/dia, ou mm/ciclo;

ETP = evapotranspiração, em mm/dia, ou mm/ciclo;

EV = evaporação, em mm/dia, ou mm/ciclo.

3.21.4. Perdas de água

As perdas d'água em uma cultura inundada, em geral têm três causas: a primeira causa é o gasto de água no nivelamento dos tabuleiros, e não faz parte deste experimen-

to, onde só se estudaram as duas últimas, a percolação e a evaporação.

A percolação foi obtida pelo somatório de toda a água recolhida pelos drenos, adotou-se para o cálculo da área média da seção transversal, a média entre o diâmetro do fundo dos vasos e o diâmetro até onde estava a lâmina d'água dentro de cada um dos vasos (Apêndice 1).

A evaporação foi determinada pela média de 5 dias do volume de água diariamente deposto, dividido pela área da lâmina d'água de cada vaso de evaporação (Tabela 1 e Figura 6).

3.21.5. Parâmetros relacionados com o nitrogênio na planta

- Teor de nitrogênio total (%) nas diversas partes da planta;
- Quantidade de nitrogênio total absorvido pelas diversas partes das plantas (QNTP), em mg, calculada pela seguinte equação:

$$QNTP = \frac{NTP \times PMS}{100} \quad [9]$$

onde:

NTP = teor de nitrogênio total na parte da planta, considerada em porcentagem;

MS = peso da matéria seca da parte da planta, considerada em mg;

- Porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante (NPPF), nas diversas partes da planta, em cada época de aplicação, calculada pela seguinte equação:

$$NPPF = \left(\frac{At\%^{15}NP - \%AN}{At\%^{15}NF - \%AN} \right) \quad [10]$$

onde:

$At\%^{15}NP$ = porcentagem de átomos de ^{15}N presente na parte aérea da planta considerada;

$At\%^{15}NF$ = porcentagem de átomos de ^{15}N presente no fertilizante, no caso da uréia 10,772%, e no caso do sulfato de amônio 10,137%.

$\%AN$ = abundância natural de ^{15}N , em porcentagem.

Em virtude da análise isotópica do solo aluvial ter dado um valor muito próximo da abundância natural de 0,366, citado por HAUGH & BREMNER (1976), acatou-se este valor para os cálculos.

- Quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta e em cada época de aplicação (QNPPF), em mg, calculada pela seguinte equação:

$$QNPPF = \frac{NPPF \times QNTP}{100}$$

(os elementos desta equação já foram descritos anteriormente).

- Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelos grãos, pela planta e pela raiz (EUFN), em cada etapa de aplicação, calculada pela equação:

$$EUFN = \frac{QNPPF}{QNA} \times 100$$

onde:

QNA = quantidade de nitrogênio aplicada à cultura, no caso 114,142 mg/vaso.

3.21.6. Parâmetros relacionados com o nitrogênio no solo

- Teor de nitrogênio total (%) no solo, fornecido pela análise química.
- Porcentagem de nitrogênio no solo, proveniente do fertilizante (NSPF), calculada pela fórmula:

$$NSPF = \left[\frac{At\% \text{ } ^{15}\text{N} - \%AN}{At\% \text{ } ^{15}\text{N} - \%AN} \right] \times 100$$

onde:

At¹⁵N = porcentagem de átomos de ¹⁵N presentes no solo.

Os demais termos desta equação já foram descritos anteriormente.

- Quantidade de nitrogênio no solo, proveniente do fertilizante (QNSPF), em mg, calculada pela seguinte equação:

$$QNSPF = \frac{NSPF \times QNTS}{100}$$

cujos elementos já foram descritos.

3.21.7. Parâmetros relacionados com o nitrogênio na água de drenagem

- Teor de nitrogênio total, fornecido pela análise química.
- Porcentagem de nitrogênio na água proveniente do fertilizante (NAPF), calculada pela equação:

$$NAPF = \left[\frac{At\% \text{ } ^{15}NA - \%AN}{At\% \text{ } ^{15}NF - \%AN} \right] \times 100$$

onde:

At% ^{15}NA = porcentagem de átomos de ^{15}N presentes na água;
e os demais termos já descritos anteriormente.

- Quantidade de nitrogênio na água proveniente do fertilizante (QNAPF), em mg, calculada pela seguinte equação:

$$QNAPF = \frac{NAPF \times QNTA}{100}$$

onde os elementos também já foram descritos anteriormente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Demanda Atmosférica de Água ao Longo do Ciclo da Cultura

Desde que o objetivo do presente trabalho foi quantificar o grau de absorção das duas fontes de nitrogênio e esta é altamente dependente da transpiração, que representa basicamente o fluxo de água e nutrientes que passa pela planta, foram medidos ao longo do ciclo o valor da evaporação, evapotranspiração.

4.1.1. Fluxo da evapotranspiração

Na Tabela 1 e 2 e Figura 6 são representados os valores médios e acumulados ao longo do tempo dos parâmetros evapotranspiração, evaporação e transpiração.

Pela análise da Figura 6 e das Tabelas 1 e 2, pode-se observar o aumento da transpiração média na fase vegetativa de 3,7 mm/dia no início até 12,5 mm/dia no fim da fase, uma estabilização na fase reprodutiva (média de 10,89 mm/dia, enquanto os valores das evaporações sofreram um declínio de forma constante durante o ciclo fenológico quando

passaram de aproximadamente 5 mm/dia no início da irrigação para menos de 2 mm/dia no fim.

Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que dois são os principais fatores que controlam o processo de perda de água pela planta: a interface da troca representada pelo índice de área foliar que regula o fluxo transpiratório e a temperatura do ar que representa a energia transferida para o processo. O fluxo transpiratório pode ser tanto amplificado ou restringido (caso de temperaturas muito altas) pela temperatura do ar, enquanto que o processo de evaporação, depende somente da temperatura do ar, que foi em média mais ou menos constante durante todo o ciclo (Tabela 1).

Pode-se observar também que os valores médios de pentadas da evapotranspiração (Figura 6 e Tabela 1), são bem mais elevadas do que aqueles observados nas condições externas (normais de plantio) conforme relatam os trabalhos dos pesquisadores SALASSIER (1986) e DE DATTA (1982).

Fisicamente tal fato pode ser explicado pelo alto balanço de energia nas condições de estufa, que resulta num elevado grau de demanda atmosférica, por um período de tempo mais longo que o meio externo. Assim o sendo calor sensível do ar é transferido para planta em grande proporção, necessitando a mesma de um alto fluxo transpiratório para moderar o próprio aquecimento foliar.

Tabela 1 - Médias diárias (médias de 5 dias de leitura consecutivas) da evapotranspiração, evaporação, transpiração em mm, temperaturas em 2C e tempo em dias após o plantio.

FASE	VEGETATIVA										REPRODUTIVA										MATURACÃO				
	25 [#]	30 [#]	35 [#]	40	45	50	55	60	65	70	75	80 [#]	85	90	95	100	105	110	115	120 [#]	125	130	135	140	
TEMPO, DIAS APÓS PLANTIO																									
ETP mm/dia	9,5	7,0	10,9	6,0	12,2	19,8	16,2	16,6	16,1	5,0	15,8	9,6	17,2	11,9	12,4	16,3	15,6	9,8	17,9	17,7	11,8	11,6	8,1	7,8	
EV mm/dia	5,1	4,5	5,2	2,3	4,5	5,5	4,7	5,4	4,8	2,2	3,3	3,3	4,2	3,3	3,3	4,0	3,8	2,2	3,9	3,8	2,8	2,7	1,7	1,5	
T mm/dia	4,4	2,5	5,7	3,7	7,7	14,2	11,4	11,1	11,2	2,8	12,5	6,1	13,0	8,6	9,0	12,3	11,8	7,6	13,9	11,9	9,0	8,7	6,4	6,2	
T média	29,8	32,0	31,2	28,1	32,8	34,7	33,0	33,3	30,2	27,1	31,0	31,6	32,4	32,4	31,9	30,9	31,4	2,9	29,6	30,4	29,0	28,3	27,5	27,2	

ETP mm/dia Acumulada = 302,8 mm Média = 12,62 mm/dia
 EYmm/dia Acumulada = 88 mm Média = 3,67 mm/dia
 Tmm/dia Acumulada = 212,9 mm Média = 8,87 mm/dia

* Valores a serem desprezados nos cálculos da evapotranspiração, transpiração e evaporação (os 3 primeiros devido ao desbaste e os dois últimos agindo como bordadura).

Tabela 2 - Médias diárias e acumuladas da evapotranspiração, evaporação e transpiração nas fases vegetativa, reprodutiva e de maturação.

Fase Vegetativa

DIAS APÓS PLANTIO	40	45	50	55	60	65	70	75	ACUMULADA	MÉDIA
ETP mm/dia	6,0	12,2	19,8	16,2	16,6	16,1	5,0	15,8	107,7	13,46
EV mm/dia	2,3	4,5	5,5	4,7	5,4	4,8	2,2	3,3	32,7	4,09
T mm/dia	3,7	7,7	14,2	11,4	11,1	11,2	2,8	12,5	74,6	9,33

Fase Reprodutiva

DIAS APÓS PLANTIO	85	90	95	100	105	110	115	ACUMULADA	MÉDIA
ETP mm/dia	17,2	11,9	12,4	16,3	15,6	9,8	17,9	101,1	14,44
EV mm/dia	4,2	3,3	3,3	4,0	3,8	2,2	3,9	24,7	3,53
T mm/dia	13,0	8,6	9,0	12,3	11,8	7,6	13,9	76,2	10,89

Fase de Maturação

DIAS APÓS PLANTIO	125	130	135	140	ACUMULADA	MÉDIA
ETP mm/dia	11,8	11,6	8,1	7,8	39,3	9,83
EV mm/dia	2,8	2,7	1,7	1,5	8,1	2,18
T mm/dia	9,0	8,7	6,4	6,2	76,2	10,89

Figura 6 - Representação gráfica das relações: evapotranspiração, transpiração e evaporação (em pentadas).

4.2. Relações entre Evapotranspiração (ETP), Transpiração (Tr), Evaporação (Ev) e temperatura do ar em condições de estufa

Poucos são os trabalhos que relacionam a interferência da condição de "estufa" nos processos de perda de água em casas de vegetação KLAR (1974). Com o fim de verificar qual o grau de dependência dos parâmetros ETP, Tr e EV com relação a temperatura do ambiente nestas condições foram conduzidas análises de regressão por fase para cada um destes parâmetros isoladamente como se segue.

4.3. Regressão ETP x T

Nas Tabelas 1, 2, 3, 4 do Apêndice, é demonstrado o resultado da análise de variância dos valores da ETP em função da temperatura média diária em três fases distintas: fase vegetativa, fase reprodutiva e fase de maturação. Pode-se observar o nível de significância a nível de 1% na fase vegetativa e reprodutiva, na fase de maturação o valor próximo de 5% pode ser considerado também significativo em virtude do baixo número de repetição (Tabelas 2).

Nas Figuras 7, 8 e 9 são demonstrado os valores estimados estatisticamente pelas retas de regressão linear contra os valores observados no período.

Figura 7 - Equação de regressão linear entre a ETP x T no período vegetativo.

Figura 8 - Equação de regressão linear entre a ETP x T no período reprodutivo.

Figura 9 - Equação de regressão linear entre a ETP x T no período de maturação.

4.4. Componentes da Produção e Resposta do Arroz á Adu- bação Nitrogenada

Os dados referentes à produção de cada vaso (3 plantas/vaso), da matéria seca dos grãos, raízes e parte aérea, encontra-se nas Tabelas 3 e 4 e Figura 10. Pelos resultados pode ser observada a existência de uma resposta positiva à aplicação dos fertilizantes nitrogenados quando comparados com os valores obtidos pelas testemunhas.

4.5. Produção de Grãos

As produtividades médias de grãos na testemu-
nha, nos tratamentos com sulfato de amônio e com uréia foram

11,54; 20,94 e 25,16 gramas respectivamente (Tabela 3).

Estes valores refletem uma aproximada duplicação na produção com a dosagem de 100 kg de N/ha.

Tabela 3 - Peso dos grãos, parte aérea, raízes e da planta total das testemunhas e dos tratamentos em gramas.

TRATA- MENTO	PESO EM GRAMAS			
	PESO TOTAL DOS GRÃOS	PESO DA PARTE AÉREA	PESO DAS RAÍZES	PESO TOTAL DA PLANTA
II	13,09	19,89	6,65	39,63
III	9,48	25,75	11,78	47,01
IIII	12,04	31,59	11,25	54,88
MÉDIA	11,54	27,74	9,89	47,17
S0I	30,29	54,14	22,49	106,92
S0II	14,63	44,11	16,79	75,53
S0III	18,56	48,57	17,56	84,69
S35I	19,82	51,98	17,95	89,75
S35II	25,89	52,12	25,92	103,93
S35III	12,44	49,31	32,74	94,49
S70I	21,35	46,54	22,24	90,13
S70II	26,00	48,84	30,13	104,97
S70III	19,45	52,40	29,95	101,80
MÉDIA	20,94	49,78	23,97	94,69
U0I	32,84	48,28	40,99	122,11
U0II	21,33	50,72	23,30	95,35
U0III	28,03	35,66	12,76	76,45
U35I	24,34	45,78	34,74	104,86
U35II	18,07	34,48	20,34	72,89
U35III	23,86	49,31	16,88	90,05
U70I	29,76	42,71	27,25	99,72
U70II	22,80	43,10	17,24	83,14
U70III	25,43	36,20	19,70	81,33
MÉDIA	25,16	42,92	23,69	91,77

Tabela 4 - Comparação da massa seca e porcentagem de aumento nos componentes da planta em relação a testemunha.

	TESTEMUNHA	SULFATO DE AMÔNIO		URÉIA		MÉDIA POR COMPON. EM %
	PESO g/VASO	PESO g/VASO	% AUMENTO	PESO g/VASO	% AUMENTO	
Raiz	9,89	23,97	142	23,69	140	141
P. aérea	25,74	49,78	93	42,92	67	80
Grão	11,54	20,94	81	25,16	118	99,5
Plan. Toda	47,17	94,69	100	91,77	95	97,5
			104		105	104,5

Figura 10 - Produção da matéria seca das raízes, parte aérea e grãos na testemunha e nos tratamentos.

Pela análise de variância (Teste F) verifica-se que os tratamentos diferem ao nível de 5% da testemunha (Tabela 5 do Apêndice) a aplicação do teste de Dunnet a nível de 5% só repete a informação (Tabela 6 do Apêndice), porém ao nível de 1% indica uma superioridade do adubo uréia sobre o sulfato de amônio. Entretanto estes resultados podem ter sido influenciados pelo grande número de sementes que inevitavelmente refletiram no peso dos grãos (Tabela 7 do Apêndice).

Estes resultados são superiores aos relatados por MACHADO (1985), ao encontrar um aumento no rendimento médio de grãos de arroz irrigado de 10% com o nível de 90 kg de N/ha tendo como fonte o sulfato de amônio em condições de campo, e também superiores aos dados de DE DATTA (1981), usando uréia na base de 100 kg de N/ha em campo obteve um aumento na produção de 72%. Porém são inferiores aos obtidos por FAGERIA & WILCOX (1977) em casa de vegetação com arroz inundado em um experimento analisando interação entre níveis de N e P concluíram que as melhores dosagens de nitrogênio eram de 50 kg/ha e 46 kg/ha de fósforo fornecendo um aumento no rendimento dos grãos de 183% em relação à testemunha.

O aumento na produtividade dos grãos de 118% com a uréia e 81% com o sulfato de amônio concordam com os obtidos por YONEYAMA & YOSHIDA (1977) em condições análogas ao experimento obtiveram com a aplicação de 80 e 120 kg/ha de N com a fonte sulfato de amônio um acréscimo na produção de 74,28 e 87,34% respectivamente, com YOSHIDA (1981) ao

afirmar que de um modo geral, para arroz irrigado, doses de 50 kg de N/ha deverão dar no campo um aumento na produção de 30 a 80%.

Segundo MALAVOLTA (1986), a comparação de dados obtidos em condições diferentes deve sempre ser visto com uma certa reserva, como é o caso de vasos e campo, entretanto esse pensamento não invalida uma comparação para que se tenha uma noção da proporção dos valores encontrados.

A comparação das fontes de nitrogênio no aumento da produção dos grãos não revelaram diferenças entre elas, análogas as conclusões obtidas por BARBOSA FILHO (1987) e MACHADO (1985).

4.6. Rendimento da Planta Toda

A Tabela 3 e a Figura 10 nos mostram as médias dos rendimentos em gramas/vaso dos tratamentos em relação à testemunha.

A análise estatística não adiciona nenhuma novidade aos resultados observados nos grãos.

O aumento do nível de significância de 5% no teste de F nos grãos para 1% no teste de F para a planta toda (Tabela 8 do Apêndice) e a repetição do mesmo aumento de significância no teste de Dunnet (Tabela 9 do Apêndice), podem ser facilmente justificados pela maior homogeneidade dos dados (Tabela 3), o que fez o coeficiente de variação de 20,9% nos grãos (Tabela 5 do Apêndice) decrescer para 14,8% na planta toda (Tabela 8 do Apêndice).

4.7. Comparação do Aumento de Massa Seca dos Componentes da Planta

A confecção da Tabela 4 seguiu os mesmos critérios adotados na coleta dos materiais e os valores foram extraídos da Tabela 3.

As análises de variâncias das raízes (Tabela 10 do Apêndice) e parte aérea (Tabela 12 do Apêndice) indicam uma diferença significativa em relação testemunha a nível de 5% e 1% respectivamente, o teste de Dunnet aplicado repetiram os níveis de significância (Tabela 11 e 13 do Apêndice) e não detectaram diferenças entre as fontes a nível de 5%.

Dos componentes da Tabela 4, as raízes se apresentam como o mais favorecido pelas adubações nitrogenadas. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por BROADBENT & REYES (1971) que, com uma dosagem de 80 kg de N/ha na forma de sulfato de amônia, detectaram um maior aumento das raízes em relação as demais partes da planta, enquanto FAGERIA (1984), em solução nutritiva, observou que o crescimento relativo das raízes é inversamente proporcional a concentração do nitrogênio na solução e BASTIDAS *et alii* (1984) não encontraram diferenças no crescimento relativo das raízes com três doses diferentes de sulfato de amônio e uréia.

Vários são os fatores que influenciaram neste resultado dando como produto final um maior aumento de massa

seca encontrado nas raízes, em comparação aos demais itens analisados, em primeiro lugar o número excessivo de grãos chochos resultando com isso em um baixo peso na produção (Tabela 7 do Apêndice). Outro fator importante é que o sistema radicular na testemunha pode ser considerado pouco desenvolvido já que o valor médio de 9,89 gramas representa a soma das 3 plantas em cada vaso o que irá dar para cada planta 3,29 gramas, e este valor mesmo se levando em conta a peculiaridade de cada variedade e sendo comparado aos dados de FAGERIA (1984) que trabalhando em vasos e irrigado com a variedade IAC 435 obteve 10,11 g/planta, com IR 841, 8,36 g/planta, com Bluebelle 10,95 g/planta e com IR 36, 6,33 g/planta endossa esta observação.

4.8. Teor de Nitrogênio na Planta

Os dados referentes aos teores médios de nitrogênio em porcentagem nas diversas partes das plantas dos tratamentos e das testemunhas estão na Tabela 5.

A comparação das porcentagens dos teores médios de nitrogênio na parte aérea, raiz e nos grãos, valor nos grãos, o que concorda com o observado por FURLANI, *et alii* (1977) e GARGANTINI e BLANCO (1965), porém com valores bem inferiores aos destes autores que encontraram em média para grãos 1,26 e 1,28% respectivamente, estas diferenças podem em parte ser explicadas pelo número avantajado de grãos chochos (Tabela 7 do Apêndice) e portanto com uma

maior quantidade de casca e esta porção da planta, sendo computada junto abaixou a % do nitrogênio nos grãos. Este raciocínio pode ser endossado por MALAVOLTA (1981) que comparando as diferentes partes das plantas encontrou para o cariopse 1,41% de N e para as cascas 0,73%.

Tabela 5 - Teores médios de nitrogênio em porcentagem na parte aérea, raiz e grãos.

TRATAMENTOS	% DE NITROGÊNIO		
	PARTE AÉREA	RAIZ	GRÃOS
TI	0,36	0,86	0,86
TII	0,42	0,56	0,89
TIII	0,37	0,73	0,92
MÉDIA TRAT.	0,39	0,72	0,89
S0I	0,37	0,60	1,02
S0II	0,46	0,67	0,86
S0III	0,46	0,75	0,91
S35I	0,36	0,75	0,86
S35II	0,35	0,64	0,95
S35III	0,38	0,51	0,91
S70I	0,34	0,65	0,96
S70II	0,34	0,47	0,91
S70III	0,38	0,52	0,93
MÉDIA TRAT.	0,38	0,62	0,93
U. 0I	0,45	0,45	0,87
U. 0II	0,40	0,57	0,96
U. 0III	0,43	0,70	0,91
U. 35I	0,36	0,52	0,95
U. 35II	0,32	0,55	0,97
U. 35III	0,33	0,37	0,89
U. 70I	0,37	0,59	0,85
U. 70II	0,35	0,64	0,89
U. 70III	0,32	0,65	0,88
MÉDIA/TRAT.	0,37	0,56	0,91
MÉDIA GERAL	0,38	0,63	0,91

O valor 0,63% de N nas raízes também pode ser considerado baixo. MEDEIROS (1980) encontrou para a cultura IAC 47 1,30% e GARGANTINI & BLANCO (1965) também citados por MEDEIROS encontraram teores nas raízes variando de 1,11 a 1,19%.

Neste trabalho requer um pouco de cuidado com o uso do termo parte aérea que aqui foi denominado como a porção restante da planta toda de arroz depois de removidas as raízes e os grãos, esta condição particular entretanto não impede uma comparação com os trabalhos de outros autores como o de MEDEIROS (1980) que encontrou nos colmos e panículas 1,65%, nas folhas 2,26%, GARGANTINI & BLANCO (1965) na parte aérea sem os grãos 0,47% e o de MALAVOLTA (1981) onde os colmos e folhas foram de 0,683%. A comparação destes valores com a média geral obtida de 0,38% de N traduzem a idéia de que, também neste item a porcentagem de nitrogênio foi baixa.

Estas conclusões sobre a baixa porcentagem de nitrogênio já eram esperados devido ao relativo baixo nível de adubação nitrogenada empregada quando se pensa em estudo em vaso e este se deve ao fato de que no experimento não estar se buscando a máxima produção e sim uma condição o mais possível semelhante ao campo, pois vários outros itens estavam sendo analisados; como lixiviação, imobilização e perda gasosas nos quais haveria um efeito altamente mascarante uma dosagem elevada.

4.9. Quantidade de Nitrogênio Absorvido Pelas Plantas

Os valores da quantidade de nitrogênio total contidos pelas raízes, parte aérea e grãos foram extraídos da multiplicação dos valores de cada um dos componentes da planta toda da Tabela 4 e da Tabela 5, e os resultados são apresentados na Tabela 6.

A quantidade de nitrogênio contida pela planta como um todo ou por suas partes, esta relacionada com o seu teor de nitrogênio e com o seu rendimento da matéria seca. Qualquer variação isolada em cada um destes dois parâmetros implicará em uma variação na quantidade de nitrogênio total absorvido. Na Tabela 6 estão os valores do nitrogênio contido pelas raízes, parte aérea e grãos e pode-se notar uma expressiva variação entre eles. Como não houve diferença significativa entre os tratamentos na porcentagem de nitrogênio, e a Tabela 5 reflete uma grande homogeneidade das porcentagens encontradas na parte aérea, raiz e grão, a única explicação plausível para os altos níveis de significantes encontrados na parte aérea (Tabelas 14 e 15 do Apêndice), raiz (Tabelas 17 e 18 do Apêndice) e grãos (Tabelas 19 e 20 do Apêndice) é que a alta significância encontrados em cada um dos componentes da planta foi imposta pela variação da matéria seca dos tratamentos com a testemunha (Figura 10 e Tabela 3).

Tabela 6 - Quantidade de nitrogênio total em mg na parte aérea, raiz e nos grãos.

TRATAMENTOS	QUANTIDADE DE NITROGÊNIO TOTAL EM mg		
	PARTE AÉREA	RAIZ	GRÃOS
II	72,40	57,19	111,92
III	108,92	66,09	84,28
IIII	117,51	82,35	110,65
MÉDIA TRAT.	99,61	68,54	102,28
SOI	199,23	134,04	307,75
SOII	202,47	111,65	125,23
SOIII	221,48	131,70	169,64
S35I	189,21	135,34	170,45
S35II	181,90	164,85	244,66
S35III	184,91	165,34	112,83
S70I	159,17	144,78	205,39
S70II	165,08	142,82	237,64
S70III	197,55	156,34	179,91
MÉDIA TRAT.	189,00	142,98	194,83
U. OI	214,85	182,41	286,69
U. OII	204,91	132,81	205,41
U. OIII	154,76	89,45	254,79
U. 35I	166,64	181,34	231,72
U. 35II	110,34	112,28	174,74
U. 35III	162,23	62,79	211,64
U. 70I	158,88	159,41	252,36
U. 70II	154,30	109,65	203,60
U. 70III	114,39	127,46	223,53
MÉDIA/TRAT.	160,14	128,62	227,16
MÉDIA GERAL	163,86	126,19	195,46

A Tabela 7 apresenta a soma de todo o nitrogênio contido pelas raízes, pelos grãos e pela parte aérea nos tratamentos e nas testemunhas. A análise de variância (teste F) indica a nível de 1% que a quantidade de nitrogênio absorvido pela planta toda nos tratamentos é diferente das

testemunhas (Tabela 21 do Apêndice). O teste de Dunnet também a nível de significância de 1% endossa o teste F (Tabela 22 do Apêndice) e não aponta para nenhuma diferença entre os tratamentos.

Tabela 7 - Quantidade de nitrogênio total em mg na planta toda e a relação entre a quantidade de nitrogênio nos grãos e na planta toda.

TRATAMENTO	RELAÇÃO	
	PESO TOTAL DO N EM mg	GRÃO/PLANTA
II	241,51	0,46
III	259,29	0,33
IIII	310,51	0,36
MÉDIA TRAT.	270,44	0,38
SOI	641,02	0,48
SOII	439,35	0,29
SOIII	522,82	0,32
S3SI	492,00	0,34
S3SII	591,41	0,41
S3SIII	463,08	0,24
S7OI	509,34	0,40
S7OII	545,54	0,44
STOIII	533,80	0,34
MÉDIA TRAT.	526,82	0,36
UOI	683,95	0,42
UOII	543,13	0,38
UOIII	499,00	0,51
U3SI	579,70	0,40
U3SII	397,36	0,44
U3SIII	436,66	0,48
U7OI	570,65	0,44
U7OII	467,55	0,44
U7OIII	465,38	0,48
MÉDIA TRAT.	515,93	0,44
MÉDIA GERAL	485,53	0,40

A porcentagem média de nitrogênio nos grãos Tabela 5, foi de 0,89 pra a testemunha e 0,92 aplicação de 100 kg N/ha. Estes valores são inferiores aos encontrados por BARBOSA FILHO (1987) para a cultura do arroz, em que o conteúdo médio de nitrogênio nos grãos com casca variou entre 1,18 a 1,64%, correspondendo este último valor à máxima produção.

A capacidade média desse solo em suprir nitrogênio à cultura, foi de 79 kg/ha, como indicado pela quantidade média de nitrogênio absorvidos nas testemunhas (Tabela 27 do Apêndice). Esta quantidade está bem próxima do valor estimado por FOX *et al* (1974) que considera uma taxa média de mineralização de 2,0% do nitrogênio orgânico do solo na camada de 0-20 cm durante o ciclo da cultura do arroz, encontrando-se em torno de 60 kg N/ha. GROVE (1979), em uma revisão sobre adubação nitrogenada em várias culturas, entre elas o arroz, cultivadas em Ultisols e Oxisols em vários países, inclusive no Brasil, verificou que esses solos apresentavam uma capacidade de suprimento natural de nitrogênio da ordem de 60 a 80 kg N/ha. Entretanto ao se comparar com os valores apresentados por MATSUIMA (1962) que acredita ser a maior parte do nitrogênio mineralizado em solos submersos ocorrer nas duas primeiras semanas de inundação produzindo cerca de 40 a 280 kg de N/ha, os valores do experimento são bem inferiores. Segundo YOSHIDA e PADRE (1975) e YOSHIDA & HARA (1977) a análise da mineralização do N orgânico para a cultura do arroz deve ser

encarada sob duas óticas bem distintas em função das duas situações completamente distintas as quais os solos estão submetidos.

Da quantidade total de nitrogênio extraído pela cultura, 38% nas testemunhas e 40% nos tratamentos encontra-se nos grãos (Tabela 6). Isto equivale a uma relação média entre o nitrogênio nos grãos/(parte aérea + raízes) de 0,40 também definida como índice de colheita (Tabela 7), entretanto estes valores foram comprometidos pelo número excessivo de grãos chochos, tornando difícil uma comparação com outros experimentos, sendo esta dificuldade agravada pela indefinição exata do termo índice de colheita. Não obstante estes resultados possibilitam inferir de que o cultivar IAC 4440 apresenta uma boa habilidade em translocar nitrogênio para os grãos, o que pode ser visto pelas porcentagens médias de nitrogênio nos diversos segmentos das plantas, como nas raízes com 0,63, na parte aérea 0,38 e nos grãos 0,91% (Tabela 5). STONE (1982) utilizando 4 níveis de stress hídricos obteve na relação nitrogênio nos grãos/nitrogênio na parte aérea valores de 0,20; 0,26; 0,50 e 0,70 para as lâminas de irrigação de 55, 70, 85 e 100% da evapotranspiração respectivamente e BROABENT & REYES (1971) encontraram valores de 0,68 e 0,84 para a mesma relação em cultivar em sequeiro e irrigado respectivamente.

4.10. Quantidade de Nitrogênio na Água de Drenagem

A Tabela 22 do Apêndice apresenta o esquema de coleta da água percolada e as quantidades de nitrogênio detectadas semanalmente em cada tratamento.

A análise dos dados deve ser divididos em duas situações, devido as diferenças as quais a cultura esteve exposta. A adubação no tempo zero foi incorporado ao solo de forma a ficar o mais homogêneo possível dentro do perfil e a submersão só foi iniciada 22 dias após a sua aplicação, as adubações nos tempos 35 e 70 dias após o plantio foram lançadas diretamente sobre a lâmina de irrigação.

No tempo zero 92,70% do nitrogênio total lixiviado dos tratamentos com uréia e 87,26% dos tratamentos com sulfato de amônio percolaram nas duas primeiras semanas de irrigação; sendo observado uma depleção do correamento com o tempo, onde final do período de coleta, era zero.

O motivo da quase totalidade do carreamento ter ocorrido nas duas primeiras semanas se deve ao fato deste nitrogênio, que estava diluído por todo o solo dentro do vaso só começar a ser lixiviado 22 dias após a sua aplicação e neste período em virtude das plantas serem bem pequenas e consequentemente seu sistema radicular era também de tamanho reduzido, não tiveram a oportunidade de absorver o adubo, ficando o mesmo, menos o volatilizado e claro, no solo até o início da inundação. Se a irrigação se desse desde o início

da primeira adubação a quantidade de nitrogênio lixiviado seria maior.

Os valores apresentados na Tabela 22 do Apêndice são do nitrogênio total e nestes valores estão obrigatoriamente uma determinada quantidade de nitrogênio lixiviado o qual não pertencia aos adubos e sim faziam parte do nitrogênio do solo.

Outra consideração importante a ser feita é quanto ao início da inundação, pois esta prática torna o comportamento dos adubos completamente diferentes ao de condições de sequeiro. Sob regime de submersão tanto o sulfato de amônio como a uréia terão como composto final do seu nitrogênio a amônia, o que coloca praticamente estes dois diferentes adubos em igualdade de condições quanto a lixiviação em solos submersos, fato este já observado por YOSHIDA (1981) e DE DATTA (1981).

De modo geral os resultados obtidos devem ser cautelosamente comparados aos de VICTORIA (1981), que observou 86 a 91% da uréia aplicada atravessando uma coluna de solo de 30 cm e TANAMURA *et alii* (1977) que de 13 a 16% do nitrogênio aplicado em cultura de arroz irrigado se perde por lixiviação. Em nenhum dos trabalhos revisados foi enfocada a dualidade da situação, portanto as comparações só devem ser feitas após a segunda adubação, porque nesta situação os solos estariam submersos, e neste caso os valores médios de 0,34% e 0,31% encontrados do fertilizante aplicado na superfície como uréia e sulfato de amônio respectivamente

no tempo 35 dias após o plantio e de 0,11% com a uréia e de zero para o sulfato de amônio no tempo 70 dias após o plantio estão bem inferiores aos apresentados por VICTORIA e TANAMURA.

No tratamento do tempo 35 (Tabela 7 do Apêndice) também se observa uma depleção da quantidade de nitrogênio percolada, porém esta queda é menos acentuada pois a soma das quantidades de nitrogênio lixiviado nos tratamentos com uréia nas duas primeiras semanas é responsável agora por 44,87%. A soma dos tratamentos com sulfato de amônio também em duas semanas foram de 72,92% do nitrogênio lixiviado, este fenômeno pode ser explicado pelo fato do solo já vir sofrendo uma lavagem a 13 dias e portanto boa parte do seu nitrogênio e do nitrogênio da primeira adubação já haviam sido percolados, este fato fez com que as quantidades iniciais percoladas fossem bem inferiores às do experimento no tempo zero.

Dos 6 tratamentos no tempo 70 só foi possível quantificar apenas dois e nestes dois não existe uma depleção tão clara como nos tratamentos no tempo 0 e 35, haja visto que a quantidade de nitrogênio percolada na primeira semana é bem inferior a da segunda semana, estes valores podem ser justificados em virtude do solo estar sofrendo a 48 dias consecutivos uma lavagem e desta forma a quantidade inicial de nitrogênio neste solo passível de ser lixiviada já havia decrescido bastante e o sistema radicular das plan-

tas de arroz por já estarem bem mais desenvolvidos, absorveriam bem mais o nitrogênio.

O pico da quantidade de nitrogênio observada na segunda semana deve ser fruto da 3ª adubação.

4.11. Peso e Porcentagem de Nitrogênio na Água de Drenagem Proveniente do Fertilizante

A Tabela 8 apresenta os pesos e as porcentagens de nitrogênio na água de drenagem proveniente do fertilizante durante todo o período em que a cultura ficou sob irrigação.

Tabela 8 - Peso e porcentagem do nitrogênio proveniente do fertilizante na água de drenagem com a aplicação de sulfato de amônio (S) e uréia (U) no plantio, 35 e 70 dias após o plantio.

TRATAMENTO	mg DE N TOTAL NA ÁGUA PESC.	% DO ¹⁵ N	% ¹⁵ N FERTILIZ.	PESO DO N PROV. DO FERT. EM mg
U0I	9,212	0,522	1,471	0,136
U0II	5,861	0,898	5,085	0,298
U0III	6,644	0,889	4,999	0,332
S0I	5,143	0,808	4,494	0,231
S0II	6,463	0,995	6,409	0,414
S0III	5,661	1,236	8,876	0,502
U35I	1,248	0,436	0,644	0,008
U35II	1,146	0,388	0,183	0,002
U35III	0,637	0,388	0,183	0,001
S35I	0,888	0,399	0,307	0,003
S35II	2,283	0,414	0,461	0,011
S35III	0,536	0,384	0,154	0,001
U70I				
U70II	0,302	0,386	0,163	0,001
U70III	0,439	0,386	0,163	0,001
S70I				
S70II				
S70III				

Nos tratamentos U70I, S70I, S700II e S70III não foi possível detectar nenhum nitrogênio.

Observa-se que praticamente não houve perda dos adubos por lixiviação em todos os tratamentos, estes valores são muito inferiores aos observados por TANAMURA *et alii* (1977) citados por DE DATTA (1981) que de 13 a 16% do nitrogênio aplicado à cultura do arroz irrigado se perde por lixiviação entretanto LEGG & MEISINGER (1982) e URQUIAGA (1982) em experimento de campo utilizando-se da técnica do ^{15}N mostraram que as maiores quantidades de nitrogênio proveniente dos adubos concentram-se nas camadas superficiais tornando com isto a lixiviação um fenômeno inexpressivo. Estes baixos valores podem ser justificados pela pouca quantidade de nitrogênio usado na adubação quando o estudo foi executado em vasos, pois se para experimento em campo uma aplicação na base de 100 kg N/ha seria considerada de boa apesar deste valor quando usado em vasos, segundo FAGERIA *et alii* (1982) citado por MALAVOLTA (1986) deveria ser 8 vezes maior para se ter o mesmo conceito.

A quantidade de fertilizantes lixiviado pelo sulfato de amônio e pela uréia são aproximadamente iguais, embora as pequenas quantidades detectadas dificultem um pouco as observações. Pode-se admitir que o adubo sulfto de amônio e uréia tem comportamento idêntico quanto lixiviação argumentação está já endossada por YOSHIDA (1981) e DE DATTA (1981).

Como o peso do nitrogênio do fertilizante foi extraído da quantidade de nitrogênio total percolado e as porcentagens de ^{15}N não variam de forma substancial (Tabela 23 do Apêndice) a mesma depleção ocorrida na quantidade de N-total, foi observada na quantidade e porcentagem do nitrogênio provenientes dos fertilizantes, este fato já era esperado, pois com o passar do tempo com o crescimento das raízes e portanto maior absorção, pouco ou nenhum nitrogênio se perdesse na água de drenagem.

4.12. Nitrogênio no Solo

4.12.1. Porcentagem e quantidade do nitrogênio total no solo

A Tabela 9 apresenta as porcentagens e quantidades de nitrogênio no solo nas testemunhas e nos tratamentos.

Sob o ponto de vista de fertilidade dos solos, estes valores podem ser considerados médios, já que segundo MELLO (1985), teores entre 0,08 a 0,14% são denominados de teores médios.

A porcentagem média de nitrogênio nas testemunhas foi de 0,093, enquanto nos tratamentos com sulfato de amônia e uréia foram de 0,095 e 0,096% respectivamente, a média desses dois últimos valores é de 0,095% indicando um aumento médio dos tratamentos em relação às testemunhas de apenas 0,002%. Como as quantidades totais de nitrogênio no solo são fruto de uma extrapolação das porcentagens, obser-

vamos pela diferença das quantidades médias de nitrogênio nos solos com tratamento em relação às testemunhas um aumento médio de 86,69 mg de N total em cada vaso. O valor médio dos restos das adubações ainda permanentes no solo após a colheita de 18,91 mg do nitrogênio dos fertilizantes aplicados (Tabela 9), não conseguiu explicar totalmente esta diferença, portanto somos levados a crer que esta variação se deve na maior parte a erros experimentais e analíticos.

Tabela 9 - Porcentagem e quantidade do nitrogênio total no solo em cada vaso, após a colheita.

TRATAMENTO	% DE NITROGÊNIO	PESO DO NITROGÊNIO EM MG
II	0,090	6095,07
III	0,096	6374,59
IIII	0,092	5824,98
MÉDIA	0,093	6098,21
S0I	0,106	6701,21
S0II	0,088	5712,78
S0III	0,087	5730,95
S35I	0,092	6042,93
S35II	0,102	6557,07
S35III	0,082	5449,56
S70I	0,099	6520,83
S70II	0,098	6661,55
S70III	0,102	6534,53
MÉDIA	0,095	6212,38
U0I	0,104	6848,50
U0II	0,104	6608,50
U0III	0,092	5816,98
U35I	0,105	6614,27
U35II	0,092	5847,06
U35III	0,099	6722,69
U70I	0,089	5611,27
U70II	0,094	6232,39
U70III	0,082	5115,56
MÉDIA	0,096	6157,42
MÉDIA GERAL	0,095	6184,90

4.13. Quantidade e Porcentagem de Nitrogênio no Solo Proveniente do Fertilizante

A Tabela 10 apresenta as porcentagens e quantidades do nitrogênio proveniente dos fertilizantes aplicados em cada vaso, e a Figura 11 mostra as quantidades médias de cada tratamento.

Das 9 parcelas com sulfato de amônio o resíduo médio dos adubos aplicados foi de 21,494 mg que correspondem a 18,83% do fertilizante empregado e a média das 9 parcelas com uréia foi de 16,326 mg ou 14,302% a análise dos pesos de nitrogênio retido no solo pelo teste de Tukey acusa uma diferença entre os adubos a nível de 1% (Tabela 24 do Apêndice). Estes valores são superiores aos encontrados por STONE (1982) ao recuperar em média 2,16% do sulfato de amônio aplicado na base de 260 Kg/ha, entretanto são inferiores aos obtidos por BASTIDA *et alii* (1984) que ao trabalhar com uréia e sulfato de amônio na base de 100, 200 e 300 Kg/ha conseguiram uma recuperação média do nitrogênio aplicado como uréia de 33,02% e do aplicado na forma de sulfato de amônio de 28,58%. Entretanto se avaliarmos pelo modo de aplicação Tabela 10 e Figura 11, onde no tempo zero tanto o sulfato de amônio como a uréia foram incorporados ao solo no teste Tukey para as médias dos fertilizantes no tempo 0 não houve diferença entre os adubos foi de 5% (Tabela 25 do Apêndice). O adubo uréia apresentou maior quantidade permanente no solo que o sulfato amônio, este fenômeno pode ser

explicado pela baixa taxa de volatilização da uréia quando incorporada ao solo, fato este observado por ERNST & MASSEY (1960) e REDDY & PATRICK (1976) que a localização da uréia abaixo da superfície do solo através da incorporação reduz drasticamente as perdas de $N-NH_3$ e em solos do Rio Grande do Sul ANJOS & TEDESCO (1973) também verificaram que o eutério da uréia reduz a volatilização da amônia.

Em uma cultura de arroz inundado de forma permanente, as aplicações em cobertura só podem ser feitas diretamente sobre a lâmina d'água e, foi neste sistema no qual foram aplicados os adubos, no tempo 35 e 70 dias após o plantio e em ambos, os resíduos de sulfato de amônio no solo, foram superiores aos da uréia (Figura 11) e Tabela 10. Esta superioridade marcante no tempo 35 onde o solo ainda retinha 25,122% do sulfato de amônio aplicado enquanto só foi encontrado 9,212% da uréia aplicada em cobertura se deve principalmente aos efeitos causados pelas altas temperaturas e neste ítem a uréia é muito mais sensível que o sulfato de amônio, segundo ERNST & MASSEY (1960) a temperatura de pois do pH é o fator mais importante para as perdas por volatilização da uréia.

O teste de Tukey das médias dos tratamentos nos tempos 35 e 70 (Tabelas 26 e 27 do Apêndice) só registraram diferenças nas médias do tempo 35, onde seu valor de significância foi 1%, e no tempo 70 o teste informa não haver diferenças entre os adubos.

Tabela 10 - Quantidade e porcentagem do nitrogênio proveniente dos adubos aplicados no solo.

TRATAMENTO	PESO DO N NO SOLO EM mg	PORCENTAGEM DO N NO SOLO
SOI	21,243	18,610
SOII	18,110	15,685
SOIII	17,594	15,413
MÉDIA	18,982	16,629
S3SI	26,589	23,293
S3SII	31,540	27,508
S3SIII	27,902	24,443
MÉDIA	28,677	25,122
S7OI	18,715	16,395
S7OII	17,054	14,940
S7OIII	14,703	12,880
MÉDIA	16,824	14,739
MÉDIA DO S	21,494	18,830
UOI	30,270	26,518
UOII	20,948	18,351
UOIII	27,398	24,002
MÉDIA	26,205	22,957
U3SI	8,268	7,243
U3SII	8,420	7,376
U3SIII	14,857	13,015
MÉDIA	10,515	9,212
U7OI	8,080	7,078
U7OII	17,388	15,233
U7OIII	11,305	9,904
MÉDIA	12,258	10,738
MÉDIA DA U	16,326	14,302
MÉDIA GERAL	18,910	16,566

Figura 11 - Quantidades médias de nitrogênio dos tratamentos em mg no solo por vaso proveniente dos fertilizantes uréia (U) e sulfato de amônio (S) nos tempos 0, 35 e 70 dias após o plantio.

Os valores observados estão de acordo com a literatura. CRASWELL & VLEK (1979a) afirmam, que 25% do fertilizante nitrogenado aplicado a cultura do arroz pode ficar imobilizado no solo e MAEDA & ONIKURA (1976) relatam que em um experimento em solo submerso 16% do fertilizante nitrogenado foi imobilizado pelo solo

A Figura 11 nos indica que em média as quantidades do nitrogênio aplicado como fertilizante ainda presente no solo, diminuem com o avanço do tempo de aplicação, este fato é em virtude do aumento de absorção pelas plantas.

4.14. Quantidade e Porcentagem de Nitrogênio nas Raízes Proveniente do Fertilizante.

Os dados referentes a quantidade e porcentagem do nitrogênio nas raízes oriundos dos fertilizantes estão reunidos na Tabela 11 e a Figura 12 apresenta os valores médios das quantidades de cada tratamento.

Com uma média de 9,225% do nitrogênio aplicado ainda nas raízes o sulfato de amônio se mostra superior à uréia que apresentou 4,902% na média dos tratamentos.

Das quantidades de sulfato de amônio absorvidos e ainda retidos pelas raízes nas 3 épocas de aplicação, a quantidade no tempo 35 dias após o plantio é maior que o nitrogênio proveniente do adubo encontrados.

Tabela 11 - Quantidade e porcentagem do nitrogênio proveniente dos adubos aplicados nas raízes.

TRATAMENTO	PESO DO N NAS RAÍZES EM mg	PORCENTAGEM DO N NAS RAÍZES
S0I	7,080	6,202
S0II	4,607	4,036
S0III	4,624	4,051
MÉDIA	5,437	4,763
S35I	18,368	16,091
S35II	18,801	16,470
S35III	21,747	19,051
MÉDIA	19,639	17,204
S70I	7,590	6,649
S70II	5,629	4,931
S70III	6,322	5,538
MÉDIA	6,514	5,707
MÉDIA DO S	10,530	9,225
U0I	9,712	8,508
U0II	5,132	4,496
U0III	4,951	4,337
MÉDIA	6,598	5,780
U35I	4,898	4,291
U35II	3,464	3,035
U35III	2,324	2,036
MÉDIA	3,562	3,120
U70I	4,522	3,961
U70II	7,608	6,665
U70III	7,756	6,795
MÉDIA	6,629	5,807
MÉDIA DA U	5,596	4,902
MÉDIA GERAL	8,063	7,064

Figura 12 - Quantidades médias de nitrogênio dos tratamentos em mg nas raízes por vaso proveniente dos fertilizantes uréia (U) e sulfato de amônio (S) nos tempos 0, 35 e 70 dias após o plantio.

Em uma investigação na Tabela 32 do Apêndice dos fatores contribuintes para as quantidades do nitrogênio proveniente dos fertilizantes, a abundância do isótopo foi o item de maior importância já que o peso e o teor de nitrogênio nas raízes foram aproximadamente os mesmos em todos os tratamentos, evidenciando que um dos motivos da alta quantidade do $^{15}\text{N} - (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ no tempo 35, foi a sua alta concentração nas raízes. Este fato pode ter sido causado por uma menor taxa da mobilidade quando em comparação com a translocação do nitrogênio absorvido, onde no tempo 35 estando o arroz no estágio vegetativo e como nesta fase as plantas não possuem grão o nitrogênio absorvido teria obrigatoriamente que formar compostos ou na parte aérea ou nas raízes ficando a sua posterior liberação sujeito a instabilidade deste composto.

4.15. Quantidade e Porcentagem do Nitrogênio Proveniente do Fertilizante na Parte Aérea

A Tabela 12 fornece os dados referentes ao peso e a porcentagem do nitrogênio na parte aérea proveniente dos adubos empregados, na confecção da Figura 13 foram usadas as médias de cada tratamento.

No teste de Tukey aplicado ao sulfato de amônio e uréia fica comprovado uma diferença entre estes dois adubos a nível de 1% (Tabela 33 do Apêndice).

Tabela 12 - Quantidade e porcentagem do nitrogênio proveniente dos adubos sulfato de amônio (S) e uréia (U) nos tempos 0, 35 e 70 dias após o plantio na parte aérea.

TRATAMENTO	PESO DO N NA PARTE AÉREA EM mg	PORCENTAGEM DO N NA PARTE AÉREA
SOI	9,770	8,559
SOII	12,228	10,712
SOIII	12,832	11,241
MÉDIA	11,610	10,171
S35I	31,945	27,985
S35II	20,243	17,734
S35III	35,720	31,292
MÉDIA	29,303	25,671
S70I	16,296	14,276
S70II	19,046	16,685
S70III	18,344	16,070
MÉDIA	17,895	15,677
MÉDIA DO S	19,603	17,173
UOI	18,07	15,830
UOII	18,773	16,446
UOIII	13,707	12,008
MÉDIA	16,850	14,761
U35I	5,126	4,491
U35II	4,636	4,061
U35III	4,523	3,962
MÉDIA	4,762	4,171
U70I	12,661	11,092
U70II	16,154	14,152
U70III	12,614	11,050
MÉDIA	13,810	12,098
MÉDIA DA U	11,807	10,344
MÉDIA GERAL	15,705	13,758

Figura 13 - Quantidades médias de nitrogênio dos tratamentos em mg na parte aérea por vaso proveniente dos fertilizantes uréia (U) e sulfato de amônio (S) nos tempos 0, 35 e 70 dias após o plantio.

Os valores da quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante no tempo 0 da uréia são ligeiramente superiores aos de sulfato de amônio (Figura 13), entretanto esta diferença é tão pequena que o teste de Tukey aplicado a esta data (Tabela 34 do Apêndice) não acusou nenhuma diferença entre os adubos.

Em uma comparação dos resultados da parte aérea com os da raiz nota-se apenas uma diferença de ordem quantitativa já que foi encontrado na média dos tratamentos no tempo 0 na parte aérea 14,23 mg do N aplicado Tabela 12, enquanto que a média para as raízes no mesmo tempo era de 6,018 mg (Tabela 11). Estes valores proporcionalmente são semelhantes aos publicados por STONE (1982) que encontrou na raiz do cultivar ICA 47 18,1% do N aplicado, no IRAT 13 16,8% e no IET 1444 9,2% enquanto a soma do nitrogênio proveniente do fertilizante no calmo e folhas dos mesmos cultivares foram de 43,3, 37,3 e 35,3% respectivamente, isto por que durante o ciclo de uma cultura irrigada a parte aérea acumula mais nitrogênio que as raízes devido a sua maior massa e apesar da translocação sofrida pelo nitrogênio de todas as partes da planta para os grãos, esta porção ao final do ciclo ainda apresentará maior quantidade do adubo.

Foi o tratamento no tempo 35 o causador do alto nível de significância apresentado pelo teste de Tukey dos adubos com a média de 29,303 mg do nitrogênio do sulfato de amônio ainda retido contra apenas 4,762 mg de N da uréia (Tabela 12), esta diferença acabou tendo um efeito decisivo

na análise estatística da média dos adubos (Tabela 34 do Apêndice). A justificativa apresentada para esta grande diferença é a mesma da raiz. A perda por volatilização da uréia foi muito grande, esta diferença também foi notada por VLEK e CRASWELL (1979) citadas por STEVENSON (1982), ao constatarem uma perda de 50% da uréia aplicada em 3 semanas em solos submersos sob condições de casa de vegetação, contra apenas 20% do sulfato de amônio no mesmo período e nas mesmas condições.

O tratamento tempo 70 apresenta além de uma maior quantidade de nitrogênio proveniente do fertilizante que as raízes uma inversão nas quantidades de N da uréia e do sulfato de amônio, enquanto nas raízes a $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ se apresentava com maior teor de $\text{N-}^{15}\text{N}$ na parte aérea era o $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ que ostentava esta posição, entretanto devido a pequena amplitude dessa inversão (Figura 12 e 13) pode-se admitir aqui, que as duas porções da planta de arroz estiveram sujeitas aos mesmos fenômenos de absorção do nitrogênio e sua posterior translocação para os grãos, afirmativa esta endossada pelas observações de MUELLER *et alii* (1984) e YANAGISAWA & TAKAHASHI (1964) ao verificarem um declínio das concentrações de nitrogênio nas colunas e folhas com o tempo e YANAGISAWA & TAKAHASHI (1964) que as concentrações do N nos grãos aumenta da fase de emburrachamento até a fase de maturação.

4.16. Quantidade e Porcentagem do Nitrogênio Proveniente do Fertilizante nos Grãos

Na Tabela 13 podem ser observados as quantidades e porcentagens do nitrogênio do adubo sulfato de amônio e uréia absorvidos pelos grãos, a Figura 14 mostra a quantidade média de cada tratamento.

Das 114,142 mg de N aplicadas em cada tratamento foram resgatadas em média pelos grãos 16,509%; sendo o tratamento com sulfato de amônio responsável por 17,821% e a uréia por 15,196%, estes valores causaram uma queda na diferença entre as médias que nos grãos caiu para 2,625% contra 4,323% observada nas raízes e 6,829% na parte aérea em virtude disto o teste de Tukey aplicado as médias dos dois tratamentos (Tabela 39 do Apêndice) não revela haver diferenças entre eles a nível de 5%.

A aplicação do teste de Tukey (Tabela 39 do Apêndice) nas médias dos adubos nos tratamentos tempo 0 e tempo 70 (Tabela 41 do Apêndice) não acusaram diferenças entre eles, e o tratamento tempo 35 apresentou um nível de significância de 1% Tabela 40 do Apêndice, entretanto nos grãos a grande diferença das quantidades do adubo retido nesta porção da planta não tiveram, uma influência tão marcante a ponto de influenciar o teste de Tukey da médias dos fertilizantes (Tabela 38 do Apêndice) como o que se viu nas raízes (Tabela 28 do Apêndice) e na parte aérea (Tabela 33 do Apêndice).

Tabela 13 - Quantidade e porcentagem do nitrogênio proveniente dos adubos aplicados nos grãos.

TRATAMENTO	PESO DO N NOS GRÃOS EM mg	PORCENTAGEM DO N NOS GRÃOS
SOI	11,276	9,878
SOII	3,896	3,413
SOIII	5,244	4,594
MÉDIA	6,805	5,961
S35I	32,447	28,425
S35II	25,288	22,153
S35III	22,112	19,371
MÉDIA	26,616	23,316
S70I	26,401	23,128
S70II	34,220	29,978
S70III	22,206	19,453
MÉDIA	27,609	24,187
MÉDIA DO S	20,343	17,821
UOI	11,405	9,991
UOII	6,140	5,379
UOIII	17,017	14,908
MÉDIA	11,521	10,093
U35I	7,505	6,575
U35II	6,818	5,973
U35III	8,114	7,103
MÉDIA	7,479	6,552
U70I	27,986	24,517
U70II	31,110	27,254
U70III	40,019	35,058
MÉDIA	33,038	28,943
MÉDIA DA U	17,346	15,196
MÉDIA GERAL	18,845	16,509

Figura 14 - Quantidades médias de nitrogênio dos tratamentos em mg nos grãos por vaso proveniente dos fertilizantes uréia (U) e sulfato de amônio (S) nos tempos 0, 35 e 70 dias após o plantio.

Esta aproximação do comportamento dos dois fertilizantes acredita-se se deva em princípio à mobilidade e dinâmica dos compostos nitrogenados dentro da planta.

As quantidades de ^{15}N absorvidos apresentaram um comportamento quadrático imerso para as datas de aplicação dentro dos dois adubos, a Figura 15 ilustra a situação, com o ponto máximo em torno de 45 dias para o $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ e o ponto mínimo em torno de 22 dias com o tratamento uréia. O comportamento da curva do sulfato de amônio é bem semelhantes aos dados apresentados por BASTIDAS *et alii* (1984), que com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ em doses na base de 100, 200 e 300 Kg de N/ha e também em casa de vegetação, obteve em média uma duplicação na porcentagem do nitrogênio proveniente do fertilizante no tempo de aplicação de 30 dias após o plantio em relação à adubação no plantio.

A baixa quantidade do isótopo absorvido no tempo 35 foi a causadora da inversão da curva da $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ em relação à do sulfato de amônio, como nas porções anteriores a razão para este fenômeno foi a alta perda por volatilização.

Regressão polinomial para os níveis de nitrogênio nos grãos com o adubo sulfato de amônio.

$$y = 6,8053 + 0,8348 X - 0,0077 X^2$$

Regressão polinomial para os níveis de nitrogênio nos grãos com o adubo uréia.

$$y = 11,5207 - 0,5383 X + 0,0121 X^2$$

Figura 15 - Comportamento da absorção do ^{15}N nos grãos com o adubo sulfato de amônio e com o adubo uréia em função do tempo após o plantio.

Comparando-se o comportamento das quantidades do isótopo absorvidos pelas 3 porções da planta em relação aos 3 tempos de aplicação, Figuras 12, 13 e 14 pode-se observar que; nas condições do presente estudo, o grão teve um aumento na taxa de acúmulo deste elemento com o tempo. Estes resultados ratificaram a importância de uma adição fracionada do fertilizante, que venha a propiciar a sua absorção num período em que a planta se encontra fisiologicamente mais ativa e onde seus requerimentos nutricionais são maiores. As opiniões dos pesquisadores só se revesam quanto ao tempo e quantidade a ser aplicada na cobertura do arroz irrigado mas quanto a adubação no plantio todos eles acreditam ser indispensável, segundo o IRRI (1971) citado por FAGERIA (1984), em clima tropical, a produção máxima é obtida quando se aplicam $2/3$ do nitrogênio na época do plantio e $1/3$ na iniciação do primórdio floral e de acordo com PATELLA (1976) altas doses de N aplicações na semeadura ou em cobertura no primeiro estágio de desenvolvimento, podem reduzir o requerimento no estágio de formação da panícula. De qualquer forma, é enecessário uma quantidade adequada de N disponível no início da emergência da panícula.

4.17. Eficiência de Utilização do Fertilizante Nitrogenado

Na Tabela 14 encontram-se os valores de eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados para a planta toda nas 3 épocas de aplicação.

Analisando-se os resultados da eficiência de uso das fontes pela planta inteira, observa-se que, no tempo 0, a absorção foi menor que no tempo 35 e 70, alcançando os valores médios de 20,899% para os tratamentos fertilizados com sulfato de amônio e 30,636 para os tratamentos com uréia e estes valores quando analisados pelo teste de Tukey (Tabela 45 do Apêndice) a nível de 5% não detectou diferenças entre eles. Sem dúvida alguma estes valores baixos, quando comparados com os valores médios dos tempos 35 e 70 (Figura 16), estão relacionados com a habilidade da planta de arroz em absorver o fertilizante. Esta primeira aplicação foi homogeneamente misturada ao solo, e como o sistema radicular ainda era bem pequeno, isto dificultou a sua recuperação pela planta.

No tempo 35, houve um distanciamento das médias das eficiências (Figura 16), enquanto o sulfato de amônio crescia para 66,195% a uréia abaixava para 13,845%, a divergência destes valores impuseram ao teste de Tukey um nível de significância de 1% (Tabela 46 do Apêndice). Neste período, a adubação foi feita em cobertura e como a uréia é muito mais susceptível à volatilização que o sulfato de amônio, verificou-se uma grande perda do $\text{N}-(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ e outro fator que colaborou com este fenômeno foram as altas temperaturas. Resultados com a mesma magnitude foram obtidos por MIKKELSEN *et alii* (1976) que em casa de vegetação observou uma perda de 21,34% do nitrogênio aplicado na forma de uréia sobre a superfície da lâmina d'água em um dia.

No tempo 35 o sistema radicular do arroz se encontrava bem mais desenvolvido do que no tempo 0, entretanto esta sua expansão não foi suficiente para fazer frente a velocidade de perda da uréia e como a taxa de volatilização do sulfato de amônio era menor as raízes tiveram mais tempo para absorver o nitrogênio deste fertilizante e como resultado da recuperação deste fertilizante foi maior em todas as porções da planta.

O tratamento no tempo 70 não apresentou diferença significativa a nível de 5% no teste de Tukey (Tabela 47 do Apêndice) e novamente as médias dos tratamentos voltam a ficar semelhantes (Figura 16).

Este fato tem que estar ligado ao forte do sistema radicular, onde no tempo 70, ele já era bastante desenvolvido, criando para a planta uma maior oportunidade de assimilação do nutriente, estes resultados confirmam o fato, já citado por DE DATTA (1981) e YOSHIDA (1981) que o aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo em certa época, influi no aumento da quantidade de nitrogênio absorvido, elevando-se consequentemente a eficiência de utilização do mesmo.

Tabela 14 - Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado em porcentagem na planta toda nas 3 épocas de aplicação.

TRATAMENTO	EFICIÊNCIA EM PORCENTAGEM
SOI	24,641
SOII	18,168
SOIII	19,888
MÉDIA	20,899
S35I	72,506
S35II	56,361
S35III	69,719
MÉDIA	66,195
S70I	44,057
S70II	51,598
S70III	41,065
MÉDIA	45,573
MÉDIA DO S	44,222
UOI	34,332
UOII	26,332
UOIII	31,255
MÉDIA	30,636
U35I	15,357
U35II	13,070
U35III	13,107
MÉDIA	13,845
U70I	39,573
U70II	48,073
U70III	52,907
MÉDIA	46,851
MÉDIA DA U	30,444
MÉDIA GERAL	37,333

Figura 16 - Eficiência de utilização do fertilizante sulfato de amônio (S) e da uréia (U) na planta toda em porcentagem.

Em comparação com a literatura, a eficiência média de 37,333% do fertilizante pode ser considerada como média, pois são relatadas eficiências que variam de 30 a 60% por BROADENT & TUSNEEM (1971), YOSHIDA (1981), DE DATTA (1981) PATRICK & REDD (1976).

4.18. Balanço do Nitrogênio Proveniente do Fertilizante no Sistema Água-Solo-Planta

A Tabela 15 e Figura 17 apresentam o destino do nitrogênio em porcentagem dos fertilizantes aplicados ao sistema água-solo-planta em estudo, em três épocas do ciclo fenológico da cultura do arroz.

Tabela 15 - Destino do nitrogênio aplicado nos vasos com a média das porcentagens dos tratamentos, encontrado na água de drenagem, na raiz, no solo, na parte aérea, nos grãos e total.

MÉDIA DOS TRAT.	DESTINO DO NITROGÊNIO EM PORCENTAGEM						
	ÁGUA DE DRENAGEM	SOLO	RAIZ	PARTE AÉREA	GRÃO	TOTAL	ΔN
S0	0,334	16,629	4,763	10,171	5,961	37,858	62,142
S35	0,005	25,122	17,204	25,671	23,316	91,318	8,682
S70	0,000	14,799	5,707	15,677	24,187	60,310	39,690
MÉDIA	0,113	18,830	9,225	17,173	17,821	63,162	36,838
U0	0,224	22,957	5,780	14,761	10,093	53,815	46,185
U35	0,003	9,212	3,120	4,171	6,552	23,058	76,942
U70	0,001	10,738	5,807	12,098	28,943	57,587	42,413
MÉDIA	0,076	14,302	4,902	10,343	15,196	44,820	55,180
M. GERAL	0,095	16,566	7,064	13,758	16,509	53,991	46,009

ΔN = Diferença entre o N do fertilizante aplicado e o N contabilizado.

Figura 17 - Destino do nitrogênio aplicado nos vasos, com a média das porcentagens dos tratamentos, encontrado na água de drenagem (A), na raiz, no solo (S), na parte aérea (P.A.) e grãos (G).

Para as condições do presente trabalho, no item 3.20.7 foram mencionados os elementos que influíram no balanço do nitrogênio aplicado no sistema em estudo. Consequentemente a equação do balanço de nitrogênio constitui-se de cinco termos, a quantidade de nitrogênio aplicado, a quantidade de nitrogênio lixiviado, a quantidade de nitrogênio extraído pela cultura e a quantidade remanecente no solo, o quinto termo foi encontrado pela diferença entre o nitrogênio do fertilizante aplicado e o nitrogênio do fertilizante contabilizado e este termo recebeu a denominação de perda.

De posse das quantidades e porcentagens de nitrogênio proveniente do fertilizante na água de drenagem (Tabela 12) nas diferentes partes da palta (Tabelas 11, 12 e 13) e no solo, constitui-se a Tabela 15 e a Figura 17, sendo optado pela apresentação dos dados em porcentagem for expressar melhor a magnitude de cada item.

A Figura 17 mostra os valores médios em porcentagem de sete balanços sendo os seis primeiros uma representação dos valores encontrados nos tratamentos e o sétimo uma interpolação do destino médio do nitrogênio aplicado em qualquer época na cultura do arroz, sendo este último bem parecido aos valores apresentados em um balanço com ^{15}N feito por CRASWEL & DE DATTA (1980) citado por FAGERIA (1984), que em média, para uma cultura de arroz irrigado 40% do N aplicado é absorvido pela planta, 20% ficam no solo e nas raízes e os 40% restantes são perdidos.

Como se pode ver nestes resultados, no tempo 0, a contabilização de todo o nitrogênio aplicado alcançou o valor de 37,858% nos tratamentos com sulfato de amônio e 53,815% nos tratamentos com uréia, dando no total da perda (soma do nitrogênio não encontrado com o nitrogênio lixiviado) 62,476% e 46,409% para os tratamentos com sulfato de amônio e uréia respectivamente.

Aos 35 dias, após a semeadura, a soma de que a planta absorveu com o que ficou no solo, foi de 91,313% do nitrogênio aplicado na forma de sulfato de amônio e de 23,055% do N aplicado na forma de uréia e o teste de Tukey aplicado na quantidade de nitrogênio do adubo absorvido pela planta apresentou uma diferença entre os adubos a nível de 1% de significância (Tabela 50 do Apêndice).

No tempo 70, o comportamento da uréia e o sulfato de amônio voltam a ficar próximos sendo contabilizados 60,310% do nitrogênio para o sulfato de amônio e 57,587% do nitrogênio para a uréia e a aplicação do teste de Tukey para esta época como para o tempo 0 não detectaram diferenças pelas plantas (Tabela 49 e 51 do Apêndice).

Analizando estes resultados, pode-se dizer que houve perda de N - fertilizante nas três épocas estudadas. Os tratamentos fertilizados com uréia foram os que mostraram maior perda, e isto se deve principalmente pelos altos valores de perdas encontradas nos tratamentos no tempo 35 e isto pode ser atribuído as características da uréia em relação ao sulfato de amônio, que, segundo ENGELSTAD (1985) e FAGERIA

(1984), relatam ser muito superiores as perdas do N - Uréia aplicado diretamente sobre a lâmina d'água que o N - sulfato de amônio, isto porque a uréia hidroliza-se rapidamente formando carbonato de amônio, que é instável, desdobrando-se em NH_3 , CO_2 e H_2O . E conseqüentemente a maior quantidade de nitrogênio foi detectado nos tratamentos com sulfato de amônio, tanto no solo, como em cada segmento da planta.

Finalmente, observa-se que, com o uso do fertilizante marcado com ^{15}N , foi possível contabilizar em média cerca de 54% do total do nitrogênio fornecido ao sistema água-solo-planta, durante o desenvolvimento da cultura do arroz.

A quantidade de adubo adicionada no tempo 35 e 70 que o balanço não contabilizou foi perdida na sua maioria por volatilização. As possíveis perdas por desnitrificação, se ocorreram, foram mínimas, pois as opiniões de vários autores como DE DATTA (1981), MACHADO (1985) e HAGIN & TUCKER (1982) e de que o nitrogênio no solo submerso esta na sua quase totalidade na forma de amônio. A outra opção de mecanismo de perda seria a nitrificação, contudo se houver, sua magnitude seria de pouca monta, esta afirmação esta em acordo com os antecedentes já expostos por ALIMAGNO & YOSHIDA (1977) ao afirmarem ser a nitrificação completamente inibida em solos submersos, a onde não há oxigênio livre e também segundo o depoimento de PATRICK & REDDY (1976), que se houver perdas por nitrificação em solos submersos, elas serão em comparação com solos drenados de pouca expressão.

No tempo 0 o solo não estava sob o regime de submersão, portanto as suposições para o tempo 35 e 70 não aplicam aos balanços na semeadura, ficando as perdas do nitrogênio para a atmosfera com três causas prováveis: a volatilização, a denitrificação e a nitrificação.

5. CONCLUSÕES

Levando-se em consideração as condições em que foi conduzido o experimento, com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

5.1. Sem a Utilização da Técnica do Isótopo

- a) O aumento da produção de massa seca promovido pelos fertilizantes sulfato de amônio e uréia foram idênticos nas raízes, parte aérea e grãos.
- b) As adubações não aumentaram a porcentagem do nitrogênio total em nenhuma das porções das plantas.
- c) Dentro dos três componentes da planta analisados o que se observou maior aumento de massa seca foi o sistema radicular.
- d) As adubações não diminuíram as porcentagens de grãos chochos.
- e) A quantidade de nitrogênio lixiviado é muito pequena.

5.2. Com a Utilização da Técnica do Isótopo

- a) As perdas gasosas do nitrogênio aplicado na forma de sulfato de amônio foram maiores no plantio e na aplicação 70 dias após o plantio.
- b) As perdas gasosas do nitrogênio aplicado na forma de uréia foram maiores no tempo 35 dias após o plantio.
- c) As maiores contribuições do nitrogênio das plantas foram provenientes do solo.
- d) A parte da planta onde se acumulou mais o nitrogênio proveniente do fertilizante foram os grãos.
- e) O comportamento médio do acúmulo do nitrogênio proveniente do fertilizante nos grãos foi diretamente proporcional ao tempo de aplicação.
- f) A quantidade de nitrogênio proveniente dos fertilizantes⁹ lixiviado é desprezível.
- g) Nas condições do experimento, as perdas gasosas nas aplicações nos tempos 35 e 70 dias após o plantio, ocorreram principalmente através do processo de volatilização.

- h) O balanço do nitrogênio dos fertilizantes mostra que em média as perdas gasosas da uréia (55,18%), foram superiores as do sulfato de amônio (36,84%).

LITERATURA CITADA

- ALIMAGNO, L.K.B. & YOSHIDA, T. Field technique using acetylene reduction method to assay nitrogenase activity and its association with the rice rhizosphere. *Plant and Soil*, 47: 519-526, 1977a.
- ALLISON, F.E. Evaluation of incoming and outgoing processes that affect soil nitrogen. In: BARTHOLOMEW, W.V. & CLARK, F.E., eds. soil nitrogen. *American Society of Agronomy*, p. 573-615, 1965.
- ALLISON, F.E. The fate of nitrogen applied to soils. *Advances in Agronomy*, New York, 18: 219-58, 1966.
- ANJOS, J. & TEDESCO, M.J. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia proveniente de uréia apluada em vales cultivados. In: Anais do 14^o Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Santa Maria - RS. p. 232-341, 1973.
- ANNUAL REPORT. Effect of water management practices on the growth characteristic and grain yield of rice. In: The International Rice Research Institute, Los Banos. p. 206-202, 1968.
- AQUINO, A.R.L. Níveis e moldes de aplicação de uréia ¹⁵N no arroz (*Oryza sativa* L.) submetido a veranicos. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" ESALQ/USP. 134 p., 1984.

- ARMSTRON, G.W. Oxygen diffusion from the roots of some bristish leag plantas. *Nature*, London, 204: 801-09, 1964.
- BANZATT, D.A. & KRONKA, S.N. Experimentação Agrícola. Jaboticabal, FUNEP. 247 p., 1989.
- BARBOSA FILHO, M.P. Nutrição e adubação do arroz: (sequeiro e irrigado). Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba-SP, p. 121, 1987.
- BARTHOLOMEW, W.V. El nitrogen y la matéria orgânica de los suelos. In: DROSDOFF, M. eds. *Suelos de La Regiones Tropicales Húmidas*, Buenos Aires, p. 85-107, 1975.
- BASTIDAS, O.G.; VICTORIA, R.L.; URGUAGA, C.S.; ALVAREZ, A.; MURAO, K.T. Destino de ^{15}N -uréia y ^{15}N -sulfato de amônio em diferentes épocas aplicadas a um cultivo de arroz CICA-8 em condições de invernadeiro regional. *Workshop on Nuclear Techniques in Crop Production Nov*, Piracicaba, p. 19-23, 1984.
- BAVER, L.D. & GARDNER, W.H. *Soil physics*. John Wiley & Sons, New York, p. 497, 1973.
- BLASCO, M.L.; CORNFIELD, A.H. Volatilization of nitrogen as ammonia from acid soils. *Nature*, London, 212: 1279-1280, 1966.
- BOSWELL, F.C.; WEICH, L.F.; TUCKER, T.C.; ENGENISTAD, C.O.P. Fertilizer technolo by and use edet. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, p. 633, 1985.
- BOULDIN, D.R.; JOHNSON, R.L.; BURDA, C.; KAD, C.W. Lasses of inorganic nitrogen from aquatic systems. *Journal Environ Quality*, 2: 107-113, vol. 3., 1974.

BRANDÃO, S.S. Cultura do Arroz, Viçosa, p. 194, 1974.

BRASIL, Departamento Nacional da Produção Mineral. P. RADAM
BRASIL (folha 05 a 20) Manaus. Geografia, Geomorfologia,
Pedagogia, Vegetação e Uso Potencial da Terra, Rio de
Janeiro, p. 528, 1978.

BREMNER, J.M. Total nitrog. In: BLACK, C.A. *et alii*, eds.
Methods of soil analysis. American Society of Agronomy,
Madison, 2: 1149-1178, 1965a.

BRINKMANN, W.L.F. & GOETHE, J.W. Studies on hydrobiogeoche-
mistry of a tropical low land forest system. *Geojournal*,
Boston, 11: 89-101, 1989.

BROADBENT, F.E. Effect of fertilizer nitrogen on the rese-
arch of soil nitrogen. *Soil Science Society of America*
Proceedings, Madison, 2: 692-695, vol. 3, 1965.

BROADBENT, F.E. & REYES, O.C. Uptake of soil and fertilizer
nitrogen by rice in some philippine soils. *Soil Science*,
Madison, 3: 200-206, 1970.

BROADBENT, F.E. & TUSNEEM, M.E. Losses of nitrogen from
some flooded soils in tracer experiments. *Soil Science*
Society of America Proceedings, Madison, 35: 922-926,
1971.

BROADBENT, F.E. & REYES, O.C. Uptake of soil and fertilizer
nitrogen by rice in some philippine soils. *Soil Science*,
Madison, 112: 200-205, 1971.

BUCKMAN, K. & BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos.
Compendio Universitario sobre edafologia. 6ª ed. Rio de
Janeiro, 647p., 1983.

- BURESH, R.J.; AUSTIN, E.R. & CRASWELL, E.T. Analytical methods in ^{15}N research. Fertilizer research, The Hague, 3: 37-62, 1982.
- BUFORD, J.R. & BREMNER, J.M. Relationships between the denitrification capacities of soils and total water-soluble and readily decomposable soil organic matter. Soil Biochem, Madison, 7: 389-394, 1975.
- CAMPBELL, C.A. & PAUL, E.A. Effects of fertilizer N and soil mixture on mineralization, N recovery and A-values, under spring wheat grown in small lysimeters. Canadian Journal, Ottawa, 58(1): 39-45, fev. 1978.
- CANTARELLA, H. & TABATABAI, M.A. Volatilização de amônia de alguns fertilizantes aplicados a vales. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Resumos, Belém, p.90, 1985.
- CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O. & YAMADA, T. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Ecofisiologia da Produção Agrícola, Piracicaba, p. 249, 1987.
- CHAO, T. & KROONTJE, W. Relationship between ammonia volatilization ammonia concentration and water evaporation. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 28: 393-395, 1964.
- CHIU, T.F.; LEE, L.T.; TRAN, B.L.; LIN, S.M. Studies on the nutrient absorption of rice plants in Tawan (part 4): Comparative study on rice nutrition in the first and second crops in some faddy fields. Agricultural Research, Taiwan, 12: 28-40, 1963.
- COARACI, M.F. & INFORZATO, L.P. Quantidade de água transpirada pelo cafeiro cultivado ao sol. Instituto Agrônomo de Campinas, Bragantia, 10: 247-257, 1950.

- COCKRANE, T. & SANCHES, P. Recursos de Tierras, Suelos y su Manejo en la región Amazônica. Editora Susanna & Hècht Cali Colombia, p. 448, 1982.
- COLAÇO, W. Transformações do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera, solo condições de laboratório e casa de vegetação, com ênfase à denitrificação. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" ESALQ/USP, 373p. 1988.
- COLAÇO, W. & VICTORIA, R.L. Denitrificação em solos com adição de nitrato e glucose medida pela técnica da inibição da redução de ácido nitroso por acetileno. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas, 12: 81-86, 1988.
- CONN, E.E. & STUMPF, P.K. Manual de bioquímica. Edgard Blucher, São Paulo, 420p. 1973.
- CORREA, J.C. Recursos edáficos do Amazonas. MANAUS EMBRAPA UEPAE, p. 30, 1984.
- CRASWELL, E.T.; VLEK, P.L.G. Greenhouse evaluation of nitrogen fertilizers for rice. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 43: 1184-1188, 1979a.
- CRUZ, R.L.; CRUZ, M.A.D.; LEOPOLDO, P.R. A importância do nitrogênio em cultura de arroz irrigado com água poluída por esgoto urbano. In: ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, nº 36, mar., 1989.
- DE DATTA, S.K. Fertilizantes y acondicionamiento del solo para el arroz tropical. Cultivo del Arroz, México, p. 426, 1975b.
- DE DATTA, S.K. Principles and practices production. Interscience, Willey, p. 618, 1981.

- DE DATTA, S.K.; KRUPP, H.K.; ALVAREZ, E.I.; MODGAL, S.C. Water Management Practices in Flooded Tropical Rice, Los Banos Philippines, p. 1-18, 1973.
- DE DATTA, S.K. & MAGNAYE, C.P. A survey of forms and sources of fertilizer nitrogen for flooded rice. *Soil and Fertilizer*, Madison, 32: 103-109, 1969.
- DEMATTE, J.L.I. Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos, região Amazônica. Campinas, Fundação Cargill, p. 215, 1988.
- DIGAR, S. Influence of the rice crop on the loss of nitrogen gas from water logged soils. *Journal Agricultural Science*, Madison, 45: 280-282, 1965.
- DOMINGUES, B. & VERNETTI, J. Redução de irrigação na cultura do arroz. In: 11ª Reunião da Cultura do arroz irrigado. Pelotas 15-18 set. 1981. Anais Pelotas, UEPAE de Pelotas. 227-228. 1981.
- DUPLESSIL, M.C.F. & KROONTJE, W. The relationship between pH and ammonia equilibrium in soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 28: 751-754, 1964.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório Técnico Anual, Planaltina, p. 170, 1980.
- ENGELSTAD, O.P. Fertilizer Technology and Use. 3^a ed. Madison, Wisconsin USA, p. 633, 1985.
- ENGLER, R.M. & PATRICK, W.H. Nitrate removal from flood water overlying flooded soils and sediments. *Journal Environ Quality*, 4: 409-413, vol. 3, 1974.

- ERNEST, J.W. & MASSEY, H.F. The effect of several factores on volatization of ammonia formed from urea in the soil. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 24(2): 87-90, 1960.
- FAGERIA, N.K. & WILCOX, G.E. Influência de nitrogênio e fósforo no crescimento de arroz. Lav. Arroz, Porto Alegre, 30(301): 24-8, jul/ago. 1977.
- FAGERIA, N.K. Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz. Editora Campus LTDA, Rio de Janeiro, p. 341, 1984.
- FAO. Production Yearbook, Italy, 35: 286p. 1985.
- FASSBENDER, H.W. Química de suelos com énfasis en suelos de América Latina. 1^a ed., 3^a reimpresion. San José Costa Rica: IICA, p. 422, 1982.
- FENN, L.B. & KISSEL, D.E. Ammonia volatization from surface applications of ammonium components on calcareous soils. I. General Theory. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 37: 855-859, 1973.
- FONSECA, K.; SOAVE, J.; AZZINE, N.U.; BANZATT, D.A. & CAMARGO, B.A. Arroz: produção pré-processamento e transformação agroindustrial ESALQ/USP/IAC. Secretária de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. Governo de São Paulo/São Paulo, 1: 358, 1983.
- FOX, R.H.; TALLEYRAND, H. & BOULDIN, D.R. Nitrogen fertilization of corn and rice in oxisols in Puerto Rico. Agronomy Journal, Madison, 66(3): 534-40, may/june, 1974.
- FURLANI, P.R.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; AZZINI, N.C.; SCHIMIDT, N.C. Composição química inorgânica de três cultivares de arroz. Bragantia, Campinas, 36: 109-115, 1977.

- GAMBOA, J.; PAREZ, H. & BLASCO, M. Um modelo para describir los procesos de retension y lixiviations en los suelos. Turrialba, 21(3): 312-16, jul./set. 1971.
- GARGANTINI, H. & BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do arroz. Bragantia, Campinas, 24: 515-528, 1965.
- GOMES, H.A. Influência de doses e épocas de adubação nitrogenada no rendimento de grãos de arroz irrigado. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 131 p., 1972.
- GOMES, F.P. Curso de Estatística Experimental, 10^a ed. Natal-SP., 432 p., 1982.
- GROVE, L.T. Nitrogen fertility in oxisols and ultesols of the humid tropics. Cornell International Agricultural Bulletin, New York, 36: 27, 1979.
- HAGIN, J. & TUCKER, B. Fertilizations of dryland and irrigated soils. Editora Springer-Verlag, New York, p. 188, 1982.
- HAUGH, R.D. & BREMNER, J.M. Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen research. Advances in Agronomy, New York, 28: 219-66, 1976.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI). Annual Report For. Los Banos Philipppines, p. 119, 1968.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI). Climate and Rice. Los Banos Philippines, p. 565, 1975.
- IRI RESEARCH INSTITUTE. Progress Report Amazons Development São Raimundo, Pará, 1977. 125p.

- ISHIZUK, U. Nutrient uptake at different stages of growth. In: Symposium on The Rice Plant. Los Banos, Philippines. Proceedings, Baltimore, p. 199-217, 1964.
- ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E. Princípios y aplicaciones del reigo, 2^a ed. Editora Reverté S.A. Barcelana, p.396, 1973.
- JEWITT, T.N. Loss of ammonia from ammonium sulfate applied to alkaline soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 54: 401-410, 1942.
- JORGE, J.A. Solo, manejo e adubação. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 225, 1969.
- JUNK, W. Um desafio para a liminologia. Acta Amazonas, Manaus, 10(4): 775-795. 1980.
- JUNK, W.J. & HOWARD, W.C. Ecology og aquatic properties of Amazonian water and their relationship with the biota. Key Environments, Amazonia, p. 3-17, 1985.
- KATD, I.Y.; NAITD, T.; TANIGUCHI, F. & KAMOTA, F. Relatins between transpiration amourt and leaf area indez in rice crop. Res. Prog. Prep. Takai-Kinki Natl. Agric. Exp. Stn, 2: 14-18, 1965.
- KAWAGUCHI, K. & KYUMA, K. Paddy soils in tropical Asia: their material nature and fertility. University Press of Hawaii, p. 258, 1977.
- KEENEY, D.R.; FILLERY, I.R.; MARX, G.P. Effect of temperature on gaseous nitrogen products of denitrification in silt loons soil. Soil Science Society of America Journal, Madison, 6: 1124-1129, vol. 3, 1979.

KEENEY, D.R.; FILLERY, I.R.; MARX, G.P. Effect of temperature on gaseous nitrogen products of denitrification in silt loons soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 43: 1124-1128, 1979.

KIEHL, J.C. Adubação da cana-de-açúcar qual a melhor época para adubação de nitrogênio por volatilização. *Álcool e Açúcar*, 2(7): 18-23, 1982.

KIELH, J.C. Uréia são importantes as perdas de nitrogênio por volatilização. *Álcool e Açúcar*, 3: 28-32, 1983.

KLAR, A.E. A influência do solo e do clima nas necessidades hídricas da cultura da cebola. Tese de Livre Docência, Botucatu. UNESP/SP. 171 p., 1974.

KOYAMA, T. Soil plant studies on tropical rice III. The effect of soil fertility status of nitrogen and its liberation upon the nitrogen utilization by rice plants in bangkhen paddy soil. *Soil Science Plant Nutr.*, 19: 265-274, 1971.

KOYAMA, T. & SHIBUY, A. Determination of nitrogen-supplying capacities of paddy soil and rice yield. *Journal Science Soil Manure, Japan*, 46: 260-269, 1975.

KOYAMA, M.; TAKAI, Y. & UEHARA, Y. Oxidation reduction condition nitrogens transformation in the surface and deeper layer of submerged soil. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 44: 463-470, 1977.

KOYAMA, T.; SHIBUYA, M.; TOKUYASU, T.; SHIMDMURA, T. & IDE, K. Balance sheet and residual effects of fertilizer nitrogen in saga paddy field. *Soil Manure, Japan*, 54: 289-296, 1977.

- KOYAMA, T. & APP. H.W. Nitrogen losses in rice soils. International Rice Research Institute, Los Banos Philippines, p. 335, 1979.
- KOYAMA, T. & APP, A. Nitrogen balance in flooded rice soils. In: IRRI, Los Banos, p. 96-104, 1977.
- KRESGE, C.B. & SATCHELL, D.P. Gaseous loss of ammonia from nitrogen fertilizers applied to soils. *Agronomy Journal*, 52(2): 104-107, 1960.
- KUNG, P. Irrigation agronomy in monsoon Asia, Roma. FAO, p. 106, 1971.
- KYUMA, K. & KAWAGUCHI, K. Fertility evaluation of paddy soils in south and southeast Asia - Second approximation: Evaluation of three independent constituents of soil fertility - Discussion paper n^o 40, SEAS KYOTO JAPAN, 1972.
- LEGG, J.O. & MEISINGER, J.J. Soil nitrogen budget. In: STEVENSON, F.J., ed. Nitrogen in soil. American Society of Agronomy, Madison, p. 503-57, 1982.
- LEON, A. Química de los suelos inundados. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT CALI, Colombia, 1981. (Monografía).
- LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Destino da uréia aplicada a um solo tropical. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, Campinas, 2(1): 40-4, jan/abr. 1978.
- LIMA, R.R. A agricultura nas várzeas do estuário do Amazonas. *Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte*, Belém, (3): 1-64, 1956.

- LOPES, V.B. Liminologia química do lago arroz (Ilha do Careiro), suas flutuações em função do meio híbrido do rio Amazonas. *Acta Amazônica*, Manaus, 13(2): 227-253, 1983.
- MACHADO, C.O. & MAGALHÃES, A.F. Eficiência da uréia recoberta com enxofre no rendimento do arroz irrigado. *Agronomy Sulbriogr*, Porto Alegre, 9(2): 195-203, 1973.
- MACHADO, M.O.; GOMES, A.S.; VAHL, L.C.; SILVEIRA, P. Efeito da aplicação de molibdênio na resposta do arroz irrigado a doses crescentes de nitrogênio. In: Reunião da Cultura do Arroz Irrigado. X. Anais, Porto Alegre, p. 135, 1980b.
- MACHADO, M.O. Caracterização e adubação do solo. In: Fundamentos para a cultura do arroz irrigado. Fundação Cargill, Campinas, p. 129-79, 1985.
- MACRAE, I.R. ANCAJAS, R. Volatization of ammonio from submerged tropical soils. *Plant and Soil*, 33: 97-103, 1970.
- MAEDA, K. & ONIKURA, N.K. Fertilizer nitrogen balance in the variously irrigated in a pot experimental with rice plant. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 22: 222-226, 1976.
- MAEDA, S.S. & ONIKURA, N.K. Ammonia retention in tropical soils influenced by moisture content and continuous submergence. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 39: 153-154, 1976.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação do arroz irrigado, São Paulo, Ultrafertil, 1978. 61p.
- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação do arroz de sequeiro. 3^a ed., São Paulo, Ultrofertil. p. 40, 1981.

- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola; adubo e adubação, 3ª ed. São Paulo, Agronômico Ceres, 1981. 607p.
- MALAVOLTA, E. Princípios e práticas da avaliação agrícola de adubos nitrogenados e fosfatados. In: Aulas dadas na disciplina "A avaliação de fertilizantes e corretivos". EPG Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP, p. 46, 2º semestre de 1986.
- MARTINELLI, L. A. Composição química e isotópica (^{13}C) de sedimentos de várzea e suas interações com alguns Rios da bacia Amazônica. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 214p. (Tese de Mestrado), 1986.
- MATSUSHIMA, S. Some experiments in soil - water plant relationship in rice. Ministry of Agriculture and Cooperative Federation of Malaya, Kuala Lumpur, 112: 35, 1962.
- MEDEIROS, A. A. Exigências nutricionais e correção de deficiências minerais em duas cultivares de arroz. (*Oryza sativa* L., cv. I.A.C. 47 e I.A.C. 435). Piracicaba, ESALQ/USP., p. 99, 1980. (Dissertação de Mestrado).
- MELLO, A. F. Uréia fertilizante. Fundação Cargill, Campinas, p. 192, 1987.
- MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J. C. Fertilidade do solo, NOBEL, São Paulo, 382p. 1985.
- MIKKELSEN, D. S.; DE DAITA, S. K.; OBCEMEA, W. N. Ammonia volatilization losses from flooded rice soil. Soil Science Society of American Journal, Madison, 42: 725-730, 1976.
- MORAES, J. F. V. & FREIRE, C. J. Variações do pH, da condutividade elétrica e da disponibilidade dos nutrientes nitro-

gênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em quatro solos submetidos a inundação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 9: 35-43, 1974.

MORAES, J.F.V. Solos inundados. Goiânia, EMBRAPA/CNPAP, 1984. 40p. (Curso de produção de arroz).

MOTA, M.R. Parametrização do método de irrigação por sulco. Tese de Mestrado, Campina Grande, UFDB. 86 p., 1978.

MUELLER, S.; GOMES, A. da. S. & BRAUNER, J.L. Análise de nitrogênio em tecidos de três cultivares de arroz. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 19(9): 1085-90, 1984.

MURAYAMA, N. The importance of nitrogen for rice production. Em Nitrogen and Rice IRRI, Los Banos, p. 05 a 23, 1979.

MYERS, R.J.K. Temperature effects on ammonification and nitrification in tropical soil. Division of Land Use Research Csiro Cauberra, A.C.T., Australian, p. 83-87, 1974.

NÖMMIK, H. Assessment of volatilization loss of ammonia from surface - applied urea on forest soil by ^{15}N recovery. Plant and Soil, The Hague, 38: 589-603, 1973.

OSINAME, O.; VAN GIJN, H. & VLEK, P.L.G. Effect of nitrification inhibitors on the fate and efficiency of nitrogenous fertilizers under simulated humid tropical conditions. Tropical Agriculture, Trinidad, 60(3): 211-7, 1983.

PATELLA, J.F. Arroz em Solo Inundado: Uso adequado de fertilizantes. NOBEL, São Paulo, 76 p. 1976.

PATNAIK, S. ^{15}N tracer studies on the utilization of fertilizer nitrogen by rice in relation to time of application. Proc. Indian Acad. Science, 61(B): 31-38, 1965.

PATRICK, W.H. & WYATT, R. Soil nitrogen loss a result of alternate submergence and drying. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 28: 647-653, 1964.

PATRICK, W.H. & REDDY, K.R. Nitrification denitrification reactions in flooded soils and water bottoms: dependence on oxygen supply and ammonium diffusion. Journal Environ Quality, Madison, 5: 469-472, 1976.

PATRICK, W.H. & REDDY, R. Fate of fertilizer nitrogen in flooded rice. Soil Science Society of American Journal, Madison, 40: 478-681, 1976.

PEDROSO, B.A. Arroz Irrigado: Obtenção e Manejo de Cultivares. Porto Alegre, 175 p., 1985.

PEREZ, J.R.R. & SUHET, A.R. Adubação nitrogenada no plantio central. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo. Anais, Ilheus, CEPLAC, p. 220-42, 1985.

PIEIDADE, M.T. Biomassa Produtividade e Atividade Fotossintética de *Echinochloa polysrachya* (H.B.K.) Hitchcock (Gramineae Poaceae), capim semi-aquático da varzea Amazônica. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazonia e Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, (Tese de Doutorado), 155 p. 1988.

PONNAMPERUMA, F.N. Dynamic aspects of flooded soils and the nutrition of the rice plant. In: IRRI. The Mineral Nutrition of The Rice Plant. Baltimore, p. 295-328 p. 1964.

PONNAMPERUMA, F.N. Temperature and the chemical kinetics of flooded soils. In: IRRI. Proceedings of The Symposium on Climate & Rice, Los Banos, p. 249-63, 1976.

- PONNAMPERUMA, F.N. Physicochemical properties of submerged soils in relation to fertility. In: The Fertility of Paddy Soils and Fertilizer Application for Rice. Food and Fertilized Technology Center, Taiwan, p. 01-27, 1976.
- PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. 9^a ed. NOBEL, São Paulo, 549 p. 1986.
- PRITCHETT, W.L. Tropical forest litterfall. I. Problems of data comparison. In: SUTTON, S.L.; WHITMORE, T.C. & WICK, A.C. Tropical Rain Forest: Ecology and Management. Oxford, Blackwell Scientific Publication, p. 267-273, 1979.
- RAMOS, M.G. Nutrição Mineral e Adubação. In: Manual de Produção do Arroz Irrigado. EMPASC/ACARESC, Florianópolis, 225 p., 1981.
- REDDY, K.R. & PATRICK Jr., W.H. Yield and nitrogen utilization by rice as affected by method and time of application of labelled nitrogen. *Agronomy Journal*, Madison, 68: 956-969, 1976.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. & URQUIAGA, S.C. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. In: International Atomic Energy Agency. *Agrochemical: Fate in Food and The Environment*, Viena, pp. 227-90, 1982.
- RIBEIRO, M.N.G.; VILLA NOVA, N.A. Estudos Climáticos da Reserva Duke; Manaus, AM. Evapotranspiração. *Acta Amazônica*, Manaus, 9(2): 305-309. 1979.
- RIBEIRO, M.N.G. Flutuações do nível da água do solimões e precipitação perto de Manaus. *Acta Amazônica*, Manaus, 13(4): 124-9. 1980.

- RITCHEY, K.D. & NADERMAN Jr., G.C. Nitrogen fertilization of rice on oxisol of the cerrado of Brasil. *Agronomy Journal*, Madison, 27(2): 261-5, mar./apr., 1980.
- ROCHA, H.M. Evaluacion - General de las Politicas de Desarrollo e Investigacion en la Amazonia Brasileira. Livro Amazonia Investigacion sobre Agricultura y Uso de Tierras. Editora Susanna B. Hecht Cali Colombia, 448 p. 1982.
- SAHRAWAT, K.L. Nitrogen transformations in rice soils, *Soil Science*, Madison, p. 267-272, 1978.
- SALATI, E. & OLIVEIRA, A.E. Os problemas decorrentes da ocupação do espaço Amazônico Pensamento eberoamericano. *Revista de Economia*, Manaus, 12: p. 79-95, 1987.
- SALLASIER, B. Caracterização e adubação do solo. In: Fundamentos para a cultura do arroz irrigado. Fundação Car-gill, Campinas, p. 134-49, 1986.
- SANCHEZ, P.A. Fertilizacion y Manejo del Nitrogênio en el Cultivo del arroz tropical. *Suelos Ecuatoriales*, Buenos Aires, 4(1): 197-240, 1972.
- SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. New York, Wiley, 619 p., 1976.
- SANCHEZ, P.A. Suelos del tropico; características y manejo. San Jose, Costa Rica, Instituto Interamericano de cooperacion para la agricultura, 1981. 643p.
- SEIND, K. On the leveling-off trend of rice yield in hokuriku area and measures to level it up. *Advances in soils fertilizer*. Nat. Inst. Agric. Science, Japan, 2: 12-19, 1968.

- SHUBART, H.O.R. Critérios ecológicos para o desenvolvimento agrícola das terras firmes da Amazônia. *Acta Amazonica*, Manaus, 7: 559-567, 1977.
- SILVA, J.C.A.; RODRIGUES, T.E.; SABINO, J.C.; GOMES, I.A.; CRUZ, A.P.; OLIVEIRA, F.A.; DAGHLIAN, C.; GUERRINI, I.A.; MAZZA, J.A.; CORREA, F.S.; SCHIAVUZZO, M.A.; COSTA, M.P. Marcha da absorção e exigências minerais do arroz (*Oryza sativa* L.), cultivares IAC-25 e IAC-47. Piracicaba, ESALQ/USP. 37 p., 1981. (Mimeografado).
- SIMS, J.L. & PLAGE, G.A. Growth and nutrient uptake of rice at different growth stages and nitrogen levels. *Agronomy Journal*, Madison, 60: 692-696, 1968.
- SPIEGEL, M.R. Estatística: resumo da teoria, 875 problemas resolvidos, 619 problemas propostos. São Paulo, McGraw-Hill; Brasília INL, 1974. 580p.
- STEVENSON, F.J. Nitrogen in Agricultural Soils. Ed. Madison, Wisconsin USA, 940 p. 1982.
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. & AQUINO, A.R.L. Demanda de água da cultura de arroz irrigado Goiana, EMBRAPA/CNPAP, 4 p. 1980.
- STONE, L.F. Produtividade do arroz (*Oryza sativa* L.) e dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta: efeitos de cultivares vermiculita e deficiência hídrica. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" ESALQ/USP. 200p., 1982.
- SU, N.K. Nitrogen fertilization of rice. The fertilizer of paddy soils and fertilizer applications for rice, ASPAC. Food and Fertilizer Technology Center. Taipei-Taiwan, p. 117-148, 1976.

- SUZUKI, S.; SAKAI, H. & DEI, Y. Proceedings on soil fertility investigation. Journal Science Soil Manure, Japan, 39: 55-62, 1968.
- TAKAMURA, Y.; TABUCHI, T. & KUBOTA, H. Behaviour and balance of applied nitrogen and phosphorus under rice field conditions. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 36: 239-246, 1977.
- TOMAR, V.S. & OTOOLE, J.C. Evapotranspiration from ricefields. IRRI. Research Pap Ser. 34: 15, 1979.
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E. & MATSUI, E. Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massa. Boletim Técnico Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP/CNPA, Piracicaba. 42 p., 1973.
- URQUIAGA, S.C. Dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta na cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) cultivar carioca. Piracicaba, ESALQ/USP, 1982. 154 p. (Tese de Doutorado).
- USBERT FILHO, J.A.; AZZINI, L.E.; CAMARGO, O.B.A.; SOAVE, J.; SCHMIDT, N.C.; VILELLA, O.V. IAC-4440: Mau cultivar de arroz irrigado para o estado de São Paulo. In: IV (Boletim Técnico). Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 84 p. 1986.
- VAN RAIJ, B. Avaliação da fertilidade do solo: Piracicaba-SP. Instituto da Potassa & Fósforo: Instituto Internacional da Potassa. 142 p. 1981.
- VENTURA, W.B. & YOSHIDA, T. Ammonia volatilization from a flooded tropical soil. Plant and Soil, Madison, 46: 521-531, 1977.

- VICTORIA, R.L. Deslocamento miscível da uréia em alguns solos da região Amazônica. Piracicaba, ESALQ/USP. 100p. (Tese de Doutorado).
- VIEIRA, L.S. Manaus de Ciência do Solo. São Paulo. Agronômica Ceres, 1975. 464p.
- VIEIRA, L.S. & SANTOS, P.C.T. Amazonia: Seus solos e outros recursos naturais. Agronômica Ceres, São Paulo, 416 p., 1987.
- VILLA NOVA, N.A. Estudo sobre o balanço de energia em cultura de arroz. (Tese de Livre Docente - ESALQ/USP), Piracicaba-SP. 78 p., 1973.
- VILLA NOVA, N.A. Principais métodos climáticos de estimativas de aplicação de água de irrigação. ESALQ/USP. Departamento de Física e Meteorologia - Piracicaba-SP, 18 p. 1981.
- VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E. & COUTINHO, E.L.M. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e portadores de enxofre EMBRAPA. ANDA/POTAFOS do Simpósio Brasileiro sobre fertilizantes na Agricultura, Brasília, p. 205-253, 1984.
- VLEK, P.L.G.; HONG, C.W. & YOUNG, D.L.J. An analysis of N nutrition on yield and yield components for the improvement of rice fertilization on Korea. Agronomy Journal, Madison, 71: 829-833, 1979.
- VOSE, P. Introduction to nuclear techniques in agronomy and plant biology. New York, Pergamon Press, 1980. 291p.
- WAHHAB, A.; RANDHAWA, M.S. & ALAM, S.Q. Loss of ammonia from ammonium sulphate under different conditions when applied to soils. Soil Science, Madison, 84: 249-255, 1957.

- WSTERMAN, R.L. & KURTZ, L.T. Priming effect of ^{15}N -labelled fertilizers on soil nitrogen in field experiments. Soil Science Society of American Proceedings, Madison 37(5): 725-7, sept./oct., 1973.
- WITHER, B. & VIPON, D. Stanley Irrigação: Projeto e Prática, São Paulo: EPV ed. Univ. São Paulo, 339 p. 1977.
- YAMADA, Y. Behavior of nitrogen in soil and its effects on plant growth. In: East-West Food Institute Honolulu, Hawaii, p. 116-124, 1973.
- YANAGISAWA, M. & TAKAHASHI, J. Studies on the factors related to the production of paddy soils in Japan, with special referece to the nutrition of the rice plants. Nath. Inst. Agric. Science, Japan, 14: 41-172, 1964.
- YONEYAMA, T. & YOSHIDA, T. Nitrogen uptake by rice plants fertilizer (ammonium sulfate) and soil. Soil Science Plant Nutr., 23(1): 33-40, 1977.
- YOSHIDA, T. & PADRE Jr., B.C. Nitrification and denitrification in submerged maahas clay soil. Soil Science Plant Nutr., 20: 241-247, 1974.
- YOSHIDA, T. & PADRE Jr., B.C. Effect of organic matter application and watr regimes on the transformation of fertilizer nitrogen in Philippine soil. Soil Science Plant Nutr., 21: 281-292, 1975.
- YOSHIDA, S. & PARAO, F.T. Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. In: Internationa Rice Research Institute. Climate and Rice, Los Banos, p. 471-494, 1976.
- YOSHIDA, S. & HARA, T. Effects of oir temperature and light

on grain filling of an *indica* and a *japonica* rice (*Oryza sativa* L.) under controlled environmental conditions. *Soil Science Plant Nutr.*, 23: 93-107, 1977.

YOSHIDA, S. *Fundamentals of Rice*. The International Rice research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines Manila. Crop Science, Madison, 258 p. 1981.

YOUNG, D. T. *Soil and Other Sources of Nitrogen* Science American, New York, 23: 137-46. 1976.

A P Ê N D I C E

Tabela 1 - Volume total, lâmina total e lâmina média diária drenada em cada vaso.

TRATAMENTO	VOLUME TOTAL EM ml	LÂMINA TOTAL EM ml	LÂMINA DIÁRIA EM mm
TI	24394	761,19	6,51
III	21732	678,13	5,79
IIII	28827	899,52	7,69
UOI	21731	678,10	5,80
UOII	23062	719,63	6,15
UOIII	20844	650,42	5,56
U35I	18627	581,24	4,97
U35II	27941	871,88	7,45
U35III	15523	484,38	4,14
U70I	26166	816,49	6,98
U70II	31932	996,41	8,52
U70III	47455	1480,79	12,66
S0I	17740	553,56	4,73
S0II	29271	913,38	7,81
S0III	27940	871,84	7,45
S35I	27497	858,02	7,33
S35II	16853	525,88	4,49
S35III	35923	112,09	9,58
S70I	18647	581,86	4,97
S70II	31932	996,41	8,52
S70III	16853	525,88	4,49

Tabela 2 - Análise parcial do modelo $y = B_0 + B_1X_1$ para a fase vegetativa.

CAUSAS DA VARIACÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROD. F
Regressão	1	146.0801842	146.0801842	13.3071	0.00666
Resíduo	8	87.8208177	10.9776022		
Total	9	233.9010019			
COEF. DETERM.		0.6245385			

Tabela 3 - Análise parcial do modelo $Y = B_0 + B_1X_1$ para fase reprodutiva.

CAUSAS DA VARIACÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROD. F
Regressão	1	83.5430145	83.5430145	19.3593	0.00770
Resíduo	5	21.5769835	4.3153967		
Total	6	105.1199981			
COEF. DETERM.		0.7947395			

Tabela 4 - Análise parcial do modelo $Y = B_0 + B_1X_1$ para fase de maturação.

CAUSAS DA VARIACÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROD. F
Regressão	1	12.5758039	12.5758039	16.2091	0.05409
Resíduo	2	1.5516961	0.7758480		
Total	3	14.1275000			
COEF. DETERM.		0.8901649			

Tabela 5 - Delineamento experimental INT. Casualizado do Peso total dos grãos.

CAUSAS DA VARIACÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB. > F
Tratamento	2	0.0008710	0.0004355	4.8929	0.01969
Resíduo	18	0.0016022	0.0000890		
TOTAL	20	0.0024732			

Média Geral = 0.045094

Coeficiente de Variação = 20.922%

Tabela 6 - Teste bilateral de Dunnet para as médias dos pesos totais dos grãos de tratamentos.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP.	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5% 1%
TESTEMUNHA		TESTEM.	3	0.058925	288.005788	
2	2	Sulfato	9	0.046135	469.820470	NS NS
3	3	Uréia	9	0.039443	642.771853	** NS

** - Tratamentos que diferem da testemunha

NS - Tratamentos que não diferem da testemunha

Tabela 7. - Número de sementes cheia e chochas e peso das sementes cheia, chocha e total em cada vaso.

TRATAMENTO	NÚMERO DE SEMENTES		PESO DAS SEMENTES EM GRAMAS		
	CHEIA	CHOCOA	CHEIA	CHOCOA	TOTAL
TI	291	826	5,57	7,52	13,09
TII	210	906	3,80	5,68	9,48
TIII	414	1012	6,35	5,69	12,04
UOI	602	2184	10,58	19,71	30,29
UOII	316	1525	5,48	9,15	14,63
UOIII	481	1915	7,97	10,59	18,56
U35I	498	1331	9,96	9,86	19,82
U35II	751	1986	12,86	13,00	25,89
U35III	214	1236	5,66	6,78	12,44
U70I	595	1446	10,38	10,97	21,35
U70II	901	1927	14,24	11,76	26,00
U70III	429	1509	8,08	11,37	19,45
SOI	1502	1434	23,45	9,39	32,84
SOII	495	1956	7,34	13,99	21,33
SOIII	453	1858	8,91	19,12	28,03
S35I	743	1785	14,14	10,20	24,34
S35II	427	1320	7,67	10,40	18,07
S35III	496	1463	9,17	14,69	23,86
S70I	857	1661	16,36	13,40	29,76
S70II	584	1599	12,05	10,75	22,80
S70III	993	1157	15,33	10,10	25,43

Tabela 8 - Quadro da análise de variância para o solo.

CAUSAS DA VARIACÃO	G. L.	S. Q	Q. M	VALOR F	PROB. > F
Tratamento	2	5492.6161723	2746.308861	16.6706	0.00019
Resíduo	18	2965.3157674			
TOTAL	20	8457.9319397			

Média geral = 86.649048

Coeficiente de variação = 14,813%

Tabela 9 - Teste bilateral de Dunnet para médias de tratamento no solo.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP.	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
TESTEMUNHA		TESTEM.	3	47.173335	47.173335		
1	2	Sulfato	9	94.690002	94.690002	**	**
2	3	Uréia	9	91.766663	91.766663	**	**

** - Tratamentos que diferem da testemunha

ns - Tratamentos que não diferem da testemunha

Tabela 10 - Quadro da análise de variância dos pesos secos das raízes.

CAUSAS DA VARIACÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB. > F
Tratamento	2	499.9372942	249.9686471	4.6233	0.02343
Resíduo	18	973.2085360	54.0671409		
TOTAL	20	1473.1458302			

Média Geral = 21.840477

Coefficiente de Variação = 33.667%

Tabela 11 - Teste bilateral de Dunnett para as médias de tratamentos dos pesos secos das raízes.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP.	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
TESTEMUNHA		TESTEM.	3	9.893333	9.893333		
1	2	Sulfato	9	23.974445	23.974445	**	NS
2	3	Uréia	9	23.688890	23.688890	**	NS

** - Tratamentos que diferem da testemunha

NS - Tratamentos que não diferem da testemunha

Tabela 12 - Quadro da análise de variância dos pesos secos da parte aérea.

CAUSAS DA VARIACÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB. > F
Tratamento	2	1303.6000906	651.8000453	25.6387	0.00004
Resíduo	18	457.6044570	25.4224698		
TOTAL	20	1761.2045477			
Média Geral = 43.403809					
Coeficiente de Variação = 11.617%					

Tabela 13 - Teste bilateral de Dunnett para as médias de tratamentos dos pesos secos da parte aérea.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP.	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
	TESTEMUNHA	TESTEM.	3	25.743332	25.743332		
1	2	Sulfato	9	49.778890	49.778890	**	**
2	3	Uréia	9	42.915558	42.915558	**	**

** - Tratamentos que diferem da testemunha

ns - Tratamentos que não diferem da testemunha

Tabela 14 - Quantidade de nitrogênio total na parte aérea.

CAUSAS DA VARIACÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB. > F
Tratamento	2	159.6561732	79.8280866	10.1067	0.00481
Resíduo	18	142.1734613	7.8985256		
TOTAL	20	301.8296345			

Média Geral = 16.37618

Coeficiente de Variação = 24.4269%

Tabela 15 - Teste bilateral de Dunnett para as médias de tratamentos na parte aérea.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP.	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
	TESTEMUNHA	TESTEM.	3	9.943008	9.943008		
1	2	Sulfato	9	18.961327	18.961327	**	**
2	3	Uréia	9	15.935981	15.935981	**	**

** - Tratamentos que diferem da testemunha

ns - Tratamentos que não diferem da testemunha

Tabela 16 - Quantidade de nitrogênio total nas raízes.

CAUSAS DA VARIACÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB. > F
Tratamento	2	112.8807438	56.4960561	6.4058	0.00762
Resíduo	18	158.6498308	8.8118378		
TOTAL	20	271.5316247			

Média Geral = 12.652905

Coeficiente de Variação = 29.795%

Tabela 17 - Teste bilateral de Dunnett para as médias de tratamento na raiz.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP.	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
TESTEMUNHA		TESTEM.	3	6.866623	6.866623		
1	2	Sulfato	9	14.298902	14.298902	**	**
2	3	Uréia	9	12.861059	12.861059	**	**

** - Tratamentos que diferem da testemunha

NS - Tratamentos que não diferem da testemunha

Tabela 18 - Quantidade de nitrogênio total nos grãos.

CAUSAS DA VARIACÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB. > F
Tratamento	2	331.4516161	165.7258084	7.5190	0.00925
Resíduo	18	396.7376748	22.04098193		
TOTAL	20	728.1892909			

Média Geral = 19.55737

Coeficiente de Variação = 31.268%

Tabela 19 - Teste bilateral de Dunnett para as médias de tratamentos nos grãos.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP.	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
	TESTEMUNHA	TESTEM.	3	10.226817	10.226817		
1	2	Sulfato	9	19.482658	19.482658	**	**
2	3	Uréia	9	22.715832	22.715832	**	**

** - Tratamentos que diferem da testemunha

ns - Tratamentos que não diferem da testemunha

Tabela 20 - Quantidade de nitrogênio total na planta toda.

CAUSAS DA VARIACÃO	G. L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB. > F
Tratamento	2	162455,57	81227,785	15.4256	0.00093
Resíduo	18	94784,03	5265,7794		
TOTAL	20	257239,6			

Média Geral = 485.52619

Coeficiente de Variação = 22.795%

Tabela 21 - Teste bilateral de Dunnett para as médias do peso do nitrogênio total absorvido pela planta toda.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP.	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
TESTEMUNHA		TESTEM.	3	270.43667	270.43667		
1	2	Sulfato	9	526.81778	526.81778	**	**
2	3	Uréia	9	515.93111	515.93111	**	**

** - Tratamentos que diferem da testemunha

ns - Tratamentos que não diferem da testemunha

Tabela 22 - Esquema da quantidade de nitrogênio lixiviado pela água de drenagem em função do tempo.

QUANTIDADE DE NITROGÊNIO TOTAL COLETADO EM mg															
TRATAMENTO	* 23 a 2/1	3 a 12/1	13 a 22/1	23 a 1/2	2 a 11/2	12 a 21/2	22 a 1/3	2 a 11/3	12 a 21/3	22 a 1/4	2 a 11/4	12 a 19/4	SOMAS		
UOI	8,011	0,884	0,294	0,163	0,017	0,003	0,000	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	9,212		
UOII	4,926	0,443	0,249	0,046	0,046	0,097	0,036	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	5,861		
UOIII	5,602	0,466	0,472	0,046	0,003	0,000	0,015	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	6,644		
SOI	4,157	0,367	0,264	0,112	0,163	0,003	0,000	0,000	0,087	0,000	0,000	0,000	5,143		
SOII	4,206	1,484	0,249	0,156	0,076	0,104	0,000	0,172	0,000	0,016	0,000	0,000	6,463		
SOIII	3,582	1,282	0,197	0,381	0,192	0,003	0,000	0,000	0,024	0,000	0,000	0,000	5,661		
**															
	15 a 14/4	16 a 24/1	25 a 3/2	4 a 13/2	14 a 23/2	24 a 5/3	6 a 15/3	16 a 25/3	26 a 4/4	5 a 14/4	15 a 19/4	SOMAS			
U35I	0,489	0,145	0,054	0,012	0,079	0,084	0,385	0,000	0,000	0,000	0,000	1,248			
U36I	0,295	0,078	0,636	0,039	0,036	0,062	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,146			
U36III	0,230	0,123	0,105	0,039	0,122	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,637			
S35I	0,334	0,116	0,105	0,236	0,079	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,888			
S36I	1,810	0,116	0,228	0,000	0,079	0,018	0,000	0,024	0,008	0,000	0,000	0,283			
S36III	0,249	0,078	0,046	0,000	0,079	0,084	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,536			

	9 a 18/2	10 a 28/2	11 a 10/3	12 a 20/3	21 a 30/3	22 a 9/4	23 a 10 a 19/4	SOMAS							
U70I	0,032	0,164	0,106	0,000	0,000	0,000	0,302								
U70II	0,017	0,143	0,106	0,173	0,000	0,000	0,439								

Tabela 23 - Porcentagem do nitrogênio proveniente do sulfato de amônio (S) e da uréia (U) no solo.

TRAT.	PESO DO SOLO EM GRAMAS	TEOR MÉDIO DE N EM %	PESO DO N EM mg	% DO N QUE VEIO DO FERTILIZANTE
S0I	6,322	0,106	6701,21	0,317
S0II	6,492	0,088	5712,78	0,317
S0III	6,587	0,087	5730,95	0,307
S35I	6,568	0,092	6042,93	0,440
S35II	6,429	0,102	6557,07	0,481
S35III	6,646	0,082	5449,56	0,512
S70I	6,587	0,099	6520,83	0,287
S70II	6,798	0,098	6661,55	0,256
S70III	6,406	0,102	6534,53	0,225
U0I	6,585	0,104	6848,50	0,442
U0II	6,354	0,104	6608,06	0,317
U0III	6,323	0,092	5816,98	0,471
U35I	6,299	0,105	6614,27	0,125
U35II	6,356	0,092	5847,06	0,144
U35III	6,791	0,099	6722,69	0,221
U70I	6,305	0,089	5611,27	0,144
U70II	6,630	0,094	6232,39	0,279
U70III	6,238	0,082	5115,56	0,221

Tabela 24 - Teste de Tukey para médias de adubo.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	9	21.494445	21.494445	a	A
2	2	Uréia	9	16.326001	16.326001	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D. M. S. 5% = 3.60113

D. M. S. 1% = 5.05094

Tabela 25 - Teste de Tukey para médias de adubo no tempo zero no solo.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	2	Uréia	3	26.205335	26.205335	a	A
2	1	Sulfato	3	18.982333	18.982333	b	B

Tabela 26 - Teste de Tukey para médias de adubo no tempo 35 dias no solo.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	3	28.677002	28.677002	a	A
2	2	Uréia	3	10.515000	10.515000	b	B

Tabela 27 - Teste de Tukey para médias de adubo no tempo 70 dias.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	3	16.824000	16.824000	a	A
2	2	Uréia	3	12.257668	12.257668	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D. M. S. 5% = 6.23734

D. M. S. 1% = 8.74848

Tabela 28 - Teste de Tukey para médias de adubo nas raízes.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	9	10.529778	10.529778	a	A
2	2	Uréia	9	5.596333	5.596333	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D. M. S. 5% = 1.81109

D. M. S. 1% = 2.54023

Tabela 29 - Teste de Tukey para médias de adubo aplicado no plantio nas raízes.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	2	Uréia	3	6.598333	6.598333	a	A
2	1	Sulfato	3	5.437000	5.437000	a	A

Tabela 30 - Teste de Tukey para médias de adubo no tempo 35 dias nas raízes.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	3	19.638667	19.638667	a	A
2	2	Uréia	3	3.562000	3.562000	b	B

Tabela 31 - Teste de Tukey para médias de adubo no tempo 70 dias nas raízes.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	2	Uréia	3	6.628667	6.628667	a	A
2	1	Sulfato	3	6.513667	6.513667	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D. M. S. 5% = 3.13690

D. M. S. 1% = 4.39981

Tabela 32 - Porcentagem do nitrogênio proveniente do sulfato de amônio (S) e da uréia (U) nas raízes.

TRAT.	PESO DAS RAÍZES EM GRAMAS	TEOR MÉDIO DE N EM %	PESO DO N EM mg	% DO N QUE VEIO DO FERTILIZANTE
S0I	22,49	0,596	134,04	5,283
S0II	16,79	0,665	111,65	4,126
S0III	17,56	0,750	131,70	3,511
S35I	17,95	0,754	135,34	13,575
S35II	25,92	0,636	164,85	11,405
S35III	32,74	0,505	165,34	13,155
S70I	22,24	0,651	144,78	5,242
S70II	30,13	0,474	142,82	3,941
S70III	29,95	0,522	156,34	4,044
U0I	40,99	0,445	182,41	5,325
U0II	23,30	0,570	132,81	3,864
U0III	12,76	0,701	89,45	5,537
U35I	34,74	0,522	181,34	2,701
U35II	20,34	0,552	112,28	3,086
U35III	16,88	0,372	62,79	3,701
U70I	27,25	0,585	159,41	2,836
U70II	17,24	0,636	109,65	6,940
U70III	19,70	0,647	127,46	6,085

Tabela 33 - Teste de Tukey para médias de adubo na parte aérea.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	9	19.602667	19.602667	a	A
2	2	Uréia	9	11.807112	11.807112	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D.M.S. 5% = 3.78501

D.M.S. 1% = 5.30884

Tabela 34 - Teste de Tukey para médias de adubo no plantio na parte aérea.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	2	Uréia	3	16.850001	16.850001	a	A
2	1	Sulfato	3	11.610001	11.610001	a	A

Tabela 35 - Teste de Tukey para médias de adubo no tempo 35 dias na parte aérea.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	3	29.302668	29.302668	a	A
2	2	Uréia	3	4.761667	4.761667	b	B

Tabela 36 - Teste de Tukey para médias de adubo no tempo 70 dias na parte aérea.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	3	17.895332	17.895332	a	A
2	2	Uréia	3	13.809667	13.809667	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D.M.S. 5% = 6.55582

D.M.S. 1% = 9.19518

Tabela 37 - Porcentagem do nitrogênio proveniente do sulfato de amônio (S) e da uréia (U) na parte aérea.

TRAT.	PESO DA P. AÉREA POR VASO EM GR	TEOR MÉDIO DE N EM %	PESO DO N EM mg	% DO N QUE VEIO DO FERTILIZANTE
S0I	54,14	0,368	199,23	4,904
S0II	44,11	0,459	202,47	6,040
S0III	48,57	0,456	221,48	5,794
S35I	51,98	0,364	189,21	16,882
S35II	52,12	0,349	181,90	11,128
S35III	49,31	0,375	184,91	19,318
S70I	46,54	0,342	159,17	10,238
S70II	48,84	0,338	165,08	11,538
S70III	52,40	0,377	197,55	9,285
U0I	48,28	0,445	214,85	8,411
U0II	50,72	0,404	204,91	9,161
U0III	35,66	0,434	154,76	8,853
U35I	45,78	0,364	166,64	3,076
U35II	34,48	0,320	110,34	4,201
U35III	49,31	0,329	162,23	2,788
U70I	42,71	0,372	158,88	7,969
U70II	43,10	0,358	154,30	10,468
U70III	36,20	0,316	114,39	11,026

Tabela 38 - Teste de Tukey para médias de adubo nos grãos.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5% 1%
1	1	Sulfato	9	20.343334	20,343334	a A
2	2	Uréia	9	17.346001	17.346001	a A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D. M. S. 5% = 5.12721

D. M. S. 1% = 7.19142

Tabela 39 - Teste de Tukey para médias de adubo no plantio nos grãos.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5% 1%
1	2	Uréia	3	11.520667	11.520667	a A
2	1	Sulfato	3	6.805333	6.805333	a A

Tabela 40 - Teste de Tukey para médias de adubo no tempo 35 dias nos grãos.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5% 1%
1	1	Sulfato	3	26.615667	26.615667	a A
2	2	Uréia	3	7.479000	7.479000	b B

Tabela 41 - Teste de Tukey para médias de adubo no tempo 70 dias nos grãos.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5% 1%
1	2	Uréia	3	33.038335	33.038335	a A
2	1	Sulfato	3	27.609001	27.609001	a A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D. M. S. 5% = 8.88059

D. M. S. 1% = 12.45590

Tabela 42 - Porcentagem do nitrogênio proveniente do sulfato de amônio (S) e da uréia (U) nos grãos.

TRAT.	PESO GRÃO/VASO EM GRAMAS	TEOR MÉDIO DE N EM %	PESO DO N EM mg	% DO N QUE VEIO DO FERTILIZANTE
S0I	30,29	1,016	307,75	3,664
S0II	14,63	0,856	125,23	3,111
S0III	18,56	0,914	169,64	3,091
S35I	19,82	0,860	170,45	19,036
S35II	25,89	0,945	244,66	10,336
S35III	12,44	0,907	112,83	19,598
S70I	21,35	0,962	205,39	12,854
S70II	26,00	0,914	237,64	14,400
S70III	19,45	0,925	179,91	12,343
U0I	32,84	0,873	286,69	3,978
U0II	21,33	0,963	205,41	2,989
U0III	28,03	0,909	254,79	6,679
U35I	24,34	0,952	231,72	3,239
U35II	18,07	0,967	174,74	3,902
U35III	23,86	0,887	211,64	3,834
U70I	29,76	0,848	252,36	11,090
U70II	22,80	0,893	203,60	15,280
U70III	25,43	0,879	223,53	17,903

Tabela 43 - Teste de Tukey para a eficiência dos adubos.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	9	44.221889	44.221889	a	A
2	2	Uréia	9	30.444001	30.444001	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D. M. S. 5% = 5.60462

D. M. S. 1% = 7.86103

Tabela 44 - Teste de Tukey para a eficiência dos adubos aplicados no plantio.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	2	Uréia	3	30.636332	30.636332	a	A
2	1	Sulfato	3	20.897001	20.897001	b	A

Tabela 45 - Teste de Tukey para a eficiência dos adubos aplicados no tempo 35 dias.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	3	66.195333	66.195333	a	A
2	2	Uréia	3	13.844667	13.844667	b	B

Tabela 46 - Teste de Tukey para a eficiência dos adubos aplicados no tempo 70 dias.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	2	Uréia	3	46.851003	46.851003	a	A
2	1	Sulfato	3	45.573334	45.573334	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D. M. S. 5% = 9.70749

D. M. S. 1% = 13.61570

Tabela 47 - Teste de Tukey para médias de adubo com a quantidade de nitrogênio total na planta.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	9	72.099333	72.099333	a	A
2	2	Uréia	9	51.160889	51.160889	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D. M. S. 5% = 7.84521

D. M. S. 1% = 11.00367

Tabela 48 - Teste de Tukey para médias de adubo com a quantidade de nitrogênio total na planta na época do plantio.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	2	Uréia	3	61.426331	61.426331	a	A
2	1	Sulfato	3	43.217000	43.217000	b	A

Tabela 49 - Teste de Tukey para médias de adubo com a quantidade de nitrogênio total na planta no tempo 35 dias.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	3	104.239003	104.239003	a	A
2	2	Uréia	3	26.321335	26.321335	b	B

Tabela 50 - Teste de Tukey para médias de adubo com a quantidade de nitrogênio total na planta no tempo 70 dias.

Nº ORDEM	Nº TRAT	NOME	Nº REP	MÉDIAS	MÉD. ORIG.	5%	1%
1	1	Sulfato	3	46.851003	46.851003	a	A
2	2	Uréia	3	45.573334	45.573334	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

D. M. S. 5% = 9.70749

D. M. S. 1% = 13.61570