

EFEITO DE FONTES DE NITROGÊNIO -  $^{15}\text{N}$  E DE MODOS  
DE APLICAÇÃO DA URÉIA -  $^{15}\text{N}$  EM CULTURA DE ARROZ  
(*Oriza sativa*, L.)

OSCAR GONZALO BASTIDAS ORTIZ  
ENGENHEIRO AGRÔNOMO  
Instituto de Asuntos Nucleares (Colombia)

Orientador: DR. A. M. L. NEPTUNE

Dissertação apresentada à Escola Superior de  
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade  
de São Paulo, para obtenção do título de  
Mestre em Energia Nuclear na Agricultura.

PIRACICABA  
Estado de São Paulo - Brasil  
Agosto, 1981

*À memória dos meus Pais*  
*A meus irmãos,*

*OFEREÇO.*

*A minha esposa*  
*Gilma*

*A meus filhos*  
*José Maurício e*  
*Olga Cecília*

*DEDICO.*

## AGRADECIMENTOS

Expresso minha sincera gratidão as instituições ou pessoas que de uma forma ou outra permitiram a realização deste trabalho e em especial:

- Instituto de Asuntos Nucleares (Colômbia), Agência Internacional de Energia Atômica, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Centro de Energia Nuclear na Agricultura e Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" que facilitaram a minha participação no curso de Pós-Graduação.
- Ao Dr. Ernesto Villarreal Silva diretor geral do Instituto de Asuntos Nucleares pelo apoio prestado.
- Ao Prof. Dr. André Martin Louis Neptune pela sugestão do assunto e segura orientação desta pesquisa.
- Ao Dr. Takashi Muraoka pela valiosa e constante colaboração, incentivo e amizade.
- Aos Drs. Jaime Toro e Marco A. Perdomo pelo apoio e incentivo.
- Aos Professores Klaus Reichardt, Dr. Paulo Leonel Libardi e Dr. Virgílio F. Nascimento, pelo apoio e incentivo concedidos durante meu estágio no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA).
- Aos Drs. Eiichi Matsui e Reynaldo Luiz Victória pela colaboração e sugestões.

- Ao Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> Luis Morales Morales pelo auxílio na instalação, condução, análise dos experimentos e sugestões apresentadas.
- Aos Eng<sup>os</sup> Agr<sup>os</sup> Marcelo Calvache, Segundo Urquiaga, Pablo Guzman, Norberto Marroquin, Antonio Padua da Cruz, pelo auxílio e sugestões apresentadas.
- Ao Dr. Peter Vose e à sra. Diva Athié, da Agência Internacional de Energia Atômica.
- Aos Drs. Carlos C. Cerri e Ricardo B. Sgrillo pelo apoio e amizade.
- A José Aurelio Bonassi, Seção de Hidrologia; João Ademir Salvador, Marileuza Aparecida Bassi, Sandra Teresa Pereira, Sandra Maria Genaro Nicoletti, Sílvia R.C. Prates, José Anderson Forti, Dacir Bortolita, Rudnei de Almeida, Seção de Fertilidade do Solo, pelo auxílio na condução dos experimentos.
- À sra. Janeti B. de Moura e às srtas. Rosa Maria V.B. Oliveira, Pedrila de Fátima Pellegreinotti e Marcia A. Leite, da biblioteca do CENA.
- À sra. Sônia Correa da Rocha e aos srs. Luis C. Veríssimo, Eurice A. Mello e Moacir P. de Oliveira da biblioteca da ESALQ.
- Aos srs. Ariovaldo M. Carvalho e Francisco C. Pellegrino, do Centro de Computação do CENA.

- Ao Projeto Uréia do Departamento de Solos, Geologia e Fertilização da ESALQ, por ter-nos fornecido a Uréia- $^{15}\text{N}$  e o sulfato de amônio- $^{15}\text{N}$ .
- Ao Sr. Jorge Luiz Diorio, pelo serviço de datilografia do trabalho.

## ÍNDICE

	Página
RESUMO .....	xii.
SUMMARY .....	xv.
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	3
2.1. Fontes de nitrogênio .....	3
2.2. Modos de aplicação do fertilizante nitrogenado.	4
2.3. Interações fósforo e nitrogênio .....	7
2.4. Eficiência de utilização de fertilizantes nitro- genados .....	9
2.5. Valor "A <sub>N</sub> " .....	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	16
3.1. Materiais .....	17
3.1.1. Solo .....	17
3.1.2. Variedade de arroz .....	19
3.1.3. Fontes de nitrogênio .....	19
3.1.4. Adubação básica .....	19
3.2. Métodos .....	20
3.2.1. Delineamento experimental .....	20
3.2.2. Preparo e aplicação dos adubos .....	22
3.2.3. Semeadura, tratos culturais e colheita ..	24
3.2.4. Análise do material vegetal .....	25
3.2.5. Fórmula para calcular o nitrogênio dispo- nível no solo .....	26

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
4.1. Primeiro experimento .....	27
4.1.1. Material vegetal seco (MVS) .....	27
4.1.2. Nitrogênio total na planta (NTP) .....	30
4.1.3. Porcentagem de nitrogênio na planta pro- veniente do fertilizante (%NPPF) .....	34
4.1.4. Quantidade de nitrogênio na planta prove- niente do fertilizante (QNPPF) .....	37
4.1.5. Eficiência da utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) .....	41
4.1.6. Valor "A <sub>N</sub> " .....	45
4.2. Segundo experimento .....	49
4.2.1. Produção de material vegetal seco (MVS) .....	49
4.2.2. Nitrogênio total na planta (NTP).....	51
4.2.3. Porcentagem de nitrogênio na planta pro- veniente do fertilizante (%NPPF) .....	52
4.2.4. Quantidade de nitrogênio na planta pro- veniente do fertilizante (QNPPF) .....	54
4.2.5. Eficiência de utilização do fertilizaçã te nitrogenado (EUFN) .....	55
4.2.6. Valor "A <sub>N</sub> " .....	55
5. CONCLUSÕES .....	57
6. LITERATURA CITADA .....	59

## LISTA DE QUADROS

	Página
QUADRO I - Análise química dos solos utilizados .....	17
QUADRO II - Análise física e classificação textural dos solos utilizados .....	18
QUADRO III - Análise mineralógica da fração argila ....	18

## LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Produção do material vegetal seco (MVS) em g/vaso, em função das doses de nitrogênio e dos níveis de fósforo nos solos: a) LE; b) PVA ..	29
FIGURA 2. Quantidade de nitrogênio total na planta em mg/vaso, em função das doses de nitrogênio e dos níveis de fósforo nos solos: a) LE; b) PVA	32
FIGURA 3. Porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%NPPF) em função das doses de nitrogênio, e dos níveis de fósforo nos solos: a) LE; b) PVA .....	36
FIGURA 4. Quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (QNPPF) em função das doses de nitrogênio e dos níveis de fósforo nos solos: a) LE; b) PVA. ....	39
FIGURA 5. Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN), em função das doses de nitrogênio e dos níveis de fósforo nos solos: a) LE; b) PVA .....	43

## LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Produção do material vegetal seco (MVS) em g/vaso nos dois solos. Primeiro experimento ...	28
TABELA 2. Nitrogênio total na planta (mg/vaso) no LE e no PVA. Primeiro experimento .....	31
TABELA 3. Porcentagem de nitrogênio na planta (%NPPF) proveniente do fertilizante. Primeiro experimento .....	35
TABELA 4. Quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (QNPPF) mg/vaso. Primeiro experimento .....	38
TABELA 5. Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN). Primeiro experimento .....	42
TABELA 6. Valor "A <sub>N</sub> " em mg N/kg de solo. Primeiro experimento .....	46
TABELA 7. Produção do material vegetal seco (g/vaso) e nitrogênio total (mg/vaso) na planta nos solos LE e PVA .....	50

TABELA 8. Porcentagens e quantidades do nitrogênio proveniente do fertilizante, eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado e valor "A <sub>N</sub> " nos solos LE e PVA .....	53
---	----

## RESUMO

EFEITO DE FONTES DE NITROGÊNIO -  $^{15}\text{N}$   
E DE MODOS DE APLICAÇÃO DA URÉIA -  $^{15}\text{N}$  EM CULTURA DE  
ARROZ (*Oryza sativa* L.)

Oscar Gonzalo Bastidas Ortiz

Prof. Dr. André Martin Louis Neptune

- Orientador -

Utilizando-se dois tipos de solo: Latossol Vermelho Escuro (LE) e Podzol Vermelho Amarelo var. Marília (PVA), o presente trabalho foi realizado com o objetivo de estudar em condições de casa de vegetação, os efeitos da aplicação, na cultura de arroz, de doses diferentes de sulfato de amônio- $^{15}\text{N}$  e da uréia- $^{15}\text{N}$  na ausência e presença de fósforo, e da uréia- $^{15}\text{N}$  aplicada de diferentes maneiras, na produção de material vegetal seco (MVS), na quantidade de nitrogênio total absorvido (NTP), na porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%NPPF), na quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (QNPPF), na eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) e no valor " $A_N$ ".

Através dos resultados obtidos, comprovou-se que os parâmetros produção de MVS, NTP, %NPPF, QNPPF, EUFN, e valor " $A_N$ " são influenciados pelo solo.

Devido ao fato do Latossolo ser mais deficiente em fósforo, a produção de MVS, neste solo, aumentou com as doses de nitrogênio e fósforo, com a uréia e o sulfato de amônio, enquanto que no Podzolizado houve um efeito depressivo na produção de MVS com aplicação de 550 kg/ha de P.

Quanto aos modos de aplicação, os valores do MVS foram similares para os dois solos.

O NTP aumentou com os níveis de fósforo e as doses de nitrogênio para ambas as fontes e ambos os solos.

A maior %NPPF no Latossolo, obteve-se com o nível de 55 kg/ha de P e 100 kg/ha de N, para ambas as fontes, enquanto no Podzolizado, as maiores %NPPF foram obtidas com as doses de 100 kg/ha de N quando não se adicionou fósforo, para ambas as fontes.

A maior QNPPF nos dois solos foi encontrada com a maior dose de aplicação do nitrogênio de ambas as fontes e com os níveis de 55 kg/ha de P para o PVA e 550 kg/ha de P para o LE.

Um aumento da EUFN foi observado com os níveis crescentes de nitrogênio e fósforo, obtendo-se os máximos valores de 52,05% para uréia e de 42,89% para o sulfato de amônio, no solo Podzolizado. Para o Latossolo, os maiores valores foram 49,9% com a uréia e 35,9% com o sulfato de amônio.

O modo de aplicação da uréia **sólido misturado**, acusou maior EUFN no Podzolizado (58%).

No Latossolo, a maior EUFN foi obtida com o modo de aplicação líquido em camadas (43,88%).

Os valores " $A_N$ " foram constantes na maioria dos tratamentos dentro das fontes e dentro dos solos. Estudos mais apurados devem ser feitos a respeito da técnica a ser utilizada e da interpretação a ser dada a estes valores.

## SUMMARY

EFFECTS OF  $^{15}\text{N}$  SOURCES AND METHODS  
OF PLACEMENT OF UREA -  $^{15}\text{N}$  IN RICE  
(*Oryza sativa* L.)

Oscar Gonzalo Bastidas Ortiz

Prof. Dr. André Martin Louis Neptune

- Adviser -

This research was carried out with the aim of studying under greenhouse conditions the effect of ammonium sulfate- $^{15}\text{N}$  and urea- $^{15}\text{N}$  in the presence and absence of phosphorus at different levels and urea- $^{15}\text{N}$  applied by different methods of placement on various parameters. The parameters measured were: dry matter yield of rice plants, quantity of total nitrogen absorbed, the percentage of nitrogen in the plants derived from the fertilizer (%NPDF), the quantity of nitrogen in the plants derived from the fertilizer (QNPDF), the efficiency of fertilizer nitrogen utilization (EFNU) and the " $A_N$ " value.

The two soils utilized in the experiments were Red Dark Latossol (LE) and Red Yellow Podzol (PVA)

According to the data, the following conclusions can be drawn:

There were differences between the two soils with respect to the dry matter yield, the total nitrogen in the plant, %NPPF, QNPPF, ENFU, and the "A<sub>N</sub>" value.

In the Red Dark Latossol, which is a soil very deficient in phosphorus, the dry matter yield increased with increasing quantities of nitrogen and phosphorus, with urea and ammonium sulfate, while in the Podzol soil there was a depressing effect on the dry matter yield with the application of 550 kg/ha of phosphorus: only small differences were found between the two soils.

- The quantity of total nitrogen in the plant increased with increasing levels of phosphorus and nitrogen, with both nitrogen sources and in both soils.
- The highest %NPPF in the LE soil was obtained with 55 kg / ha of phosphorus and 100 kg/ha of nitrogen, with both nitrogen sources, while in the PVA soil, the highest %NPPF was obtained with the highest nitrogen doses, with both sources, when the phosphorus was not present.
- The highest QNPPF in the two soils was obtained with the highest nitrogen doses and with the levels of 55 kg/ha of phosphorus for the PVA soil, with both sources, and 550 kg/ha of phosphorus for the LE soil.
- The efficiency of nitrogen fertilizer utilization increased with increasing levels of nitrogen and phosphorus, obtaining

maximum values of 52,05% for urea and 42,89% for ammonium sulfate in the PVA soil. In the Red Dark Latossol (LE), the highest values were 49,9% for urea and 35,9% for ammonium sulfate.

- The application of solid urea mixed uniformly with the soil was the best method of placement, giving 43,88% for efficiency of nitrogen fertilizer utilization value, in the LE soil. In the PVA soil, the best method was the application of urea in liquid form and in several layers giving 58% for efficiency of nitrogen fertilizer utilization.

The " $A_N$ " values remained constant in almost all the treatments with both, nitrogen sources and both soils. Researches must be improved for the " $A_N$ " value determination and the interpretation to be given to this value.

## 1. INTRODUÇÃO

Ao lado do potássio, o nitrogênio é o elemento mais extraído pelas plantas e é, dos três elementos, N, P e K, o mais comumente aplicado como fertilizante, sendo o mais exigido para obtenção de altas produções de arroz.

O emprego de fertilizante, principalmente o nitrogenado, está aumentando dia a dia, porém devido ao problema energético mundial, o custo deste insumo é hoje alto, o que torna de importância fundamental aumentar ao máximo a sua eficiência de utilização pelo arroz e outras culturas.

A eficiência do fertilizante varia com o modo de aplicação e também depende da fonte deste nutriente utilizada. Sabe-se, por outro lado, que o fósforo tem efeito na absorção do nitrogênio-NH<sub>4</sub>. Embora existam inúmeras pesquisas que tratam e estão tratando desses assuntos ainda continuam dúvidas a respeito.

Por outro lado não foi encontrado ainda um méto-

do ideal para a determinação do N disponível. Em 1952 surgiu o conceito do Valor "A" enunciado por FRIED e DEAN, o qual vem a ser uma medida de um determinado nutriente disponível no solo, em unidades de um fertilizante padrão. Porém, este valor "A" tem sido objeto de discussão e de críticas.

Através de experimentos conduzidos em casa de vegetação, em um Latossol Vermelho Escuro (LE) e um Podzolizado Vermelho Amarelo (PVA), pretende-se verificar os efeitos do sulfato de amônio- $^{15}\text{N}$  e da uréia- $^{15}\text{N}$  na ausência e presença de P em doses diferentes; e da uréia- $^{15}\text{N}$  aplicada de modos diferentes, na produção de MVS, na quantidade de nitrogênio total absorvido, na %NPPF, na QNPPF, na EUFN e no valor "A<sub>N</sub>".

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Fontes de Nitrogênio

A absorção de nitrogênio total e a produção de material vegetal seco, variam grandemente de acordo com as doses de nitrogênio aplicado e a fonte nitrogenada utilizada.

STEPHEN e WAID (1963), usando várias fontes de nitrogênio em diferentes culturas, encontraram que a produção de material vegetal seco foi muito maior com sulfato de amônio, com a adição de maior quantidade deste fertilizante.

BROADBENT e MIKKELSEN (1968), usando sulfato de amônio e uréia marcados com  $^{15}\text{-N}$ , observaram que a planta de arroz tomou mais nitrogênio do sulfato de amônio do que da uréia produzindo maior quantidade de material vegetal seco. A %NPPF situa-se na faixa de 46-76%.

HUNTER e CARTER (1965), LEGG e STANFORD (1966), ALEKSIC et alii (1968), reportaram que o aumento na absorção

de nitrogênio do solo é provavelmente devido a uma taxa de incremento da absorção de nitrogênio induzida pelas aplicações do fertilizante e está relacionado com o desenvolvimento rápido das raízes e caules.

BROADBENT e NAKASHIMA (1968), trabalhando com quatro culturas e três solos, encontraram que as fontes de fertilizante nitrogenado (uréia, sulfato de amônio e nitrato) tiveram pouca influência na produção de material vegetal seco.

ALEKSIC et alii (1968), estudando o efeito do sulfato de amônio em nove solos de diferentes países, encontraram que todos os solos responderam à aplicação de nitrogênio por um aumento na produção de material vegetal seco e de conteúdo de nitrogênio com exceção do solo do Peru, o qual teve um conteúdo alto de sal.

Em vários trabalhos realizados com arroz em diferentes países (FAO/IAEA, 1970), encontraram que tanto a uréia como o sulfato de amônio comportaram-se iguais na produção de material vegetal seco e na porcentagem de nitrogênio derivado do fertilizante.

## 2.2. Modos de aplicação do fertilizante nitrogenado

Shiori e Tanada (1954) citados por MURAYAMA (1979), após estudar a química dos solos arroseiros, propuseram a aplicação dos fertilizantes amoniacais em camadas. Esta prática foi adotada amplamente e elevou a taxa de utilização de nitro

gênio pelas plantas de arroz, de 30 a 50%. BROADBENT e NAKASHIMA (1968) também encontraram que as formas amoniacais foram mais eficientes quando colocadas em camadas. Por outro lado, PATNAIK e BROADBENT (1967) encontraram que a taxa de utilização do nitrogênio é muito mais alta quando se aplicou na superfície, embora a taxa seja alterada pela época de aplicação. BROESHART (1968) concorda com este modo de aplicação, quando o fertilizante nitrogenado é aplicado na semeadura.

Vários trabalhos no mundo reportados por FAO/IAEA (1978), realizados com arroz irrigado, demonstraram que a recuperação do nitrogênio aplicado tardiamente na superfície, é usualmente alta pelas seguintes razões: 1) A desnitrificação e a imobilização do nitrogênio aplicado no plantio são mais intensas quando comparados com o aplicado tardiamente; 2) O sistema radicular é bem desenvolvido e a absorção do nitrogênio aplicado é rápida.

MURAYAMA (1979) mencionou que a aplicação de nitrogênio tanto em profundidade como na superfície, ao início da formação da panícula são importantes na produção e na eficiência de utilização do nitrogênio.

BROADBENT e MIKKELSEN (1968), pelo contrário, reportaram que as aplicações do nitrogênio na forma de amônio na superfície, não são geralmente econômicas e deveriam ser usadas apenas como um tratamento alternativo.

Concordando com os anteriores pesquisadores, CRASWELL e VLEK (1979) observaram que na cultura de arroz, as apli

cações dos fertilizantes nitrogenados na superfície, produzem em geral, valores mais baixos de recuperação de  $^{15}\text{-N}$  (7-38%). A recuperação é aumentada com aplicações parceladas (31-75%), ou profundas (18-68%).

Shimada (1970), citado por MURAYAMA (1979), verificou que poderia haver um aumento adicional na taxa de utilização de nitrogênio, se houver uma combinação apropriada da localização, tanto incorporado em várias profundidades como na superfície; este pesquisador encontrou que, na aplicação em profundidade aos 35 dias antes do emborrachamento, a utilização de nitrogênio alcançou valores de 86%.

MERZARI e BROESHART (1967) e vários trabalhos no mundo reportados por FAO/IAEA (1970), encontraram que a utilização do sulfato de amônio e da uréia pelas plantas de arroz foi alta, quando colocados a 5 cm de profundidade. Em forma similar OLSON (1979), e NAGARAJAH et alii (1975), constataram que as plantas de arroz mostraram uma maior utilização dos fertilizantes nitrogenados quando colocados de 5 a 10 cm de profundidade, na semeadura.

Por outro lado, KOYAMA et alii (1973), encontraram que o fertilizante nitrogenado quando aplicado 30 dias após a germinação, a 10 cm de profundidade, quase o dobro do nitrogênio foi utilizado pelas plantas, comparado com a aplicação na superfície. Os mesmos autores afirmaram que o fertilizante amoniacal deverá ser misturado totalmente com o solo ou em camadas. Melhor ainda deveria ser colocado profundamen

te para evitar assim perdas por volatilização. Por outro lado, MURTY (1974) verificou que o nitrogênio total na plantade arroz aumentou 6 a 7 vezes quando a uréia e o sulfato de amônio foram colocados à profundidade de 10 cm, do que quando colocadas a 20 cm.

CRASWELL e DE DATTA (1980), baseados nos dados de 117 experimentos encontraram que a aplicação profunda da uréia perolada ou em hipergranulos é efetiva e aumentou as produções do arroz, quando comparada com as técnicas tradicionais.

Com dados disponíveis da maioria dos países que cultivam arroz, PRASAD e DE DATTA (1979) verificaram que para diminuir as perdas e aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados, estes deveriam ser aplicados na forma parcelada, com uma dose aplicada no estado de formação da panícula.

### 2.3. Interação fósforo por nitrogênio na absorção de N

Sabe-se que o fósforo influencia na absorção do nitrogênio pela planta e vice-versa, embora o seu exato mecanismo ainda não seja totalmente conhecido.

STAROSTKA e HILL (1955) sugeriram que fontes de nitrogênio, entre elas o sulfato de amônio, o qual aumentou a solubilidade da fonte de fósforo em solução, também aumentou as respostas de produção ao fosfato dicálcico.

GRUNES (1959) sugeriu que a adição do fertili-

zante nitrogenado a um solo deficiente pode aumentar raízes superficiais absorventes por estimular a produção de novas raízes muito ativas, e pelos absorventes. Como o crescimento da parte aérea da planta aumenta pela adição de nitrogênio mais que o crescimento das raízes, e a concentração do fósforo na parte aérea geralmente permanece quase a mesma, então uma unidade de área de raiz pode absorver mais fosfato no caso das plantas adubadas com nitrogênio. FRIED e BROESHART (1967) concordam com este pesquisador.

NEPTUNE et alii (1970), utilizando sulfato de amônio- $^{15}\text{N}$ , nitrato de amônio- $^{15}\text{N}$ , uréia- $^{15}\text{N}$  e superfosfato- $^{32}\text{P}$ , notaram: a) maior absorção de fósforo- $^{32}\text{P}$  na primeira amostragem das plantas de milho na presença de sulfato de amônio- $^{15}\text{N}$ ; na segunda amostragem com presença da uréia; b) maior porcentagem do fertilizante (%NPPF) na primeira amostragem, com sulfato de amônio aplicado em separado.

Segundo RAMOS (1973), o efeito da interação N-P, foi altamente significativo, no número de perfilhos e número de espigas, no peso da palha, e na produção de grãos de trigo.

KANAPATHY (1957) encontrou que a absorção do nitrogênio foi influenciada pela adição de fósforo apenas quando utilizaram as doses mais altas de nitrogênio, especialmente quando usou-se o sulfato de amônio.

COPE e HUNTER (1968) encontraram que aplicações anuais de superfosfato aumentaram gradualmente o nitrogênio mineral contido no solo. O efeito aumentou com o aumento de su-

perfosfato, mas diminuiu ao aplicar 60 kg/ha de N. Isso pode ser atribuído à estimulação dos organismos responsáveis pela decomposição de matéria orgânica no solo.

STEPHEN e WAID (1963), observaram que as perdas de uréia por volatilização podem ser diminuídas a se misturar suficiente superfosfato com a uréia, indicando que isto pode ser atribuído à reação de amônia com os íons de hidrogênio do superfosfato, dando íons de amônio. Nesse sentido KAHN e HAQUE (1965), formularam a hipótese de que dentro da zona de aplicação do fertilizante poderia haver formação de fosfato de amônio.

NEPTUNE (1966) trabalhando com milho observou que 35 dias após o plantio, a %NPPF foi maior quando o superfosfato- $^{32}\text{P}$  e o sulfato de amônio- $^{15}\text{N}$  misturados foram aplicados na mesma faixa.

ROY e KANWAR (1979) afirmaram que a melhor relação entre o nitrogênio e o fósforo é de 2:1 na cultura de arroz.

#### 2.4. Eficiência de utilização de fertilizantes nitrogenados

A eficiência dos fertilizantes pode ser avaliada pela sua recuperação por meio das plantas. A recuperação do fertilizante nitrogenado difere de solo para solo e também com: doses de nitrogênio aplicadas, localização, época de aplicação, fonte de nutriente e interação entre estes fatores.

KANAPATHY (1957), trabalhando com arroz no qual se aplicou sulfato de amônio, encontrou uma eficiência de absorção do nitrogênio aplicado de 12,8%.

PATRICK et alii (1964), trabalhando também com arroz, encontraram uma taxa de recuperação de 17,23% para dois níveis de sulfato de amônio aplicado, de 56 e 112 kg/ha, respectivamente.

Broadbent e Tyler (1958), citados por ALLISON (1966), encontraram a mais alta taxa de recuperação do nitrogênio (88, 94%) do sulfato de amônio em azêvem. Os mesmos autores (1960), comparando o sulfato de amônio com o nitrato de potássio, relataram as mais altas taxas de recuperação de sulfato de amônio marcado (68-80%).

ALLISON (1966) observou que excessivas quantidades de sais de amônio podem resultar em baixa recuperação de nitrogênio, até nos solos neutros, quando esse excesso interfere com a nitrificação.

Scarbrook (1965) e Viets (1965), citados por BROADBENT e NAKASHIMA (1968), relataram que a absorção do nitrogênio do fertilizante pelas culturas é relativamente ineficiente; geralmente é a metade da quantidade aplicada. A absorção do nitrogênio pela planta em condições de campo é afetada pelo solo, pela planta, pelo clima e pelo manejo.

ALEKSIC et alii (1968), sugeriram que a aplicação pouco profunda do  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  e da uréia no transplante, aumentou grandemente a utilização do nitrogênio do fertilizante quando comparada com a aplicação na superfície.

KOYAMA et alii (1973) encontraram uma eficiência de 39-33% do sulfato de amônio aplicado no arroz. Os mesmos autores afirmaram que a maior dose de aplicação em cobertura corresponde a mais alta taxa de recuperação de nitrogênio.

Reddy e Patrick (1977), citados por PRASAD e DE DATTA (1979), encontraram que as plantas de arroz absorveram apenas 49% do nitrogênio aplicado.

MANGUIAT e BROADBENT (1977), trabalhando com arroz e como fonte de nitrogênio o sulfato de amônio, encontraram que as recuperações totais de nitrogênio marcado variaram de 69-71% do nitrogênio aplicado.

REDDY e PATRICK (1978), trabalhando com arroz e aplicando 60 kg/ha de sulfato de amônio ou uréia, encontraram que a máxima recuperação do nitrogênio do fertilizante (34 a 55 kg/ha de N) foi obtida quando o sulfato de amônio ou a uréia foi aplicado na metade do período de crescimento. Quando o fertilizante foi aplicado aos 23 dias depois do plantio, a recuperação de nitrogênio aplicado foi de 30 a 38 kg/ha de N.

MURAYAMA (1979) afirmou que a eficiência do nitrogênio aplicado é alta nos solos levemente adubados e é baixa com maior adubação; é difícil aumentar e ainda manter a eficiência produtiva nos solos adubados em demasia.

Abichandani e Patnaik (1958a), citados por PATNAIK e RAO (1979) obtiveram, após um período de 42 dias de submersão, taxas de recuperação de 40% do sulfato de amônio aplicado na superfície e 88% quando o fertilizante foi incor-

porado. Por outro lado, a eficiência do nitrogênio também aumenta substancialmente quando este elemento é aplicado junto com fósforo (ROY e KANWAR, 1979). SMITH et alii (1980) usando uréia- $^{15}\text{N}$ , solução amoniacal- $^{15}\text{N}$  e sulfato de amônio- $^{15}\text{N}$ , colocados a 3,5 cm de profundidade, encontraram que a recuperação de nitrogênio variou de 65 a 74%, sendo similar tanto para os três solos como para os três fertilizantes. A recuperação total do fertilizante nitrogenado na planta e no solo foi de 94 a 100%.

## 2.5. Valor " $A_N$ "

O valor " $A_N$ " originalmente foi apresentado por FRIED e DEAN (1952), se baseia no seguinte: "Quando duas fontes de um dado nutriente estão presentes no solo, a planta absorverá de cada uma destas fontes quantidades do nutriente em proporção direta às quantidades respectivas disponíveis". O valor " $A$ " para estes pesquisadores indica o nutriente disponível no solo.

Segundo LEGG e ALLISON (1959), os valores " $A$ " foram constantes com diferentes taxas de nitrogênio, quando o fertilizante foi misturado com o solo.

HUNTER e CARTER (1965) não encontraram diferenças significativas ao calcular o valor " $A$ " com níveis de 7,5 ppm de  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$  e 50 ppm de  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Mas BROADBENT (1970) não está de acordo com a conclusão dos precedentes autores de

que o valor "A" é independente do nível do fertilizante.

LEGG e STANFORD (1966) afirmaram que o valor "A" constitui um padrão para caracterizar as capacidades dos solos para fornecer nitrogênio. Os mesmos autores encontraram que a absorção do nitrogênio do solo aumentou com a quantidade de nitrogênio aplicado em todos os solos; este efeito induzido pelo fertilizante parece estar relacionado com o valor "A".

Segundo FRIED e BROESHART (1967) o valor "A" permanece relativamente constante quando a produção varia devido ao nível de potássio e nitrogênio no solo.

ALEKSIC et alii (1968) encontraram que com aumento de aplicação de sulfato de amônio, o aumento de nitrogênio nas plantas proveniente do fertilizante foi geralmente proporcional à taxa da aplicação. A quantidade de nitrogênio nas plantas derivado do solo aumentou grandemente com a aplicação do sulfato de amônio. Os mesmos autores demonstraram que a quantidade disponível do nitrogênio do solo expressa como valor " $A_N$ " não foi afetada pela taxa de aplicação do fertilizante nitrogenado.

BROADBENT (1970) indica que os valores "A" para o nitrogênio na forma amoniacal são invariavelmente mais altos do que para o nitrato ao correspondente nível de aplicação. A uréia como fertilizante foi similar ao nitrato de potássio com respeito ao valor "A" em três solos dos oito es-

tudados, devido provavelmente à distribuição mais uniforme da uréia através da massa do solo, anterior à hidrólise. As diferenças entre valores para amônio e nitrato podem ser devidas em parte à maior influência do nitrogênio da amônia na liberação do nitrogênio do solo. O mesmo pesquisador encontrou que os valores "A" aumentaram com o incremento das fontes de amônio, e a possível explicação para esse fato é de que existe um efeito inibitório de altos níveis do amônio na nitrificação.

BROADBENT e REYES (1971) verificaram que os valores "A" em arroz são influenciados pelo nível do fertilizante. A magnitude destes valores alcança de 13,5 a 30,5% do nitrogênio total do solo.

SAITO e NEPTUNE (1977) afirmaram que o valor "A" calculado através de uma expressão onde a única variável independente é a porcentagem do nutriente proveniente do fertilizante, não pode representar fielmente o estado nutritivo do solo estudado, mas somente serve para comparação relativa. Os mesmos pesquisadores encontraram que ocorreram algumas variações nos valores "A" de acordo com a forma e com a dose, apesar de ser relativamente baixa a concentração do nitrogênio no solo.

NEPTUNE e MURAOKA (1978) mencionaram que na determinação do valor "A" não deve existir troca isotópica de tal maneira que se possa distinguir na planta o nutriente proveniente do fertilizante e aquele proveniente do solo; isto é,

as duas fontes ficam bem distintas no solo, sendo isto uma das dificuldades, já que é muito difícil conseguir esta necessária ausência de troca isotópica.

Segundo FAO/IAEA (1970) a taxa de fornecimento de nitrogênio não foi afetada pela taxa de aplicação de N; além disso não houve indicação de que o fertilizante nitrogenado tivesse algum efeito sobre a taxa de fornecimento do nitrogênio. Presume-se que os fertilizantes marcados com  $^{15}\text{N}$  podem ser usados para estudar métodos e tempos de aplicação de várias classes de fertilizantes no solo.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Realizaram-se dois experimentos instalados na casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura em Piracicaba, Estado de São Paulo, no período de janeiro de 1980 a abril de 1981.

O primeiro experimento compreendeu 18 tratamentos resultantes da combinação de três fatores: fontes (uréia e sulfato de amônio), fósforo em três níveis diferentes, e nitrogênio em três doses diferentes, utilizando-se três repetições em dois solos diferentes. A variedade de arroz usada no experimento foi IAC 25.

No segundo experimento estudou-se o efeito de quatro modos de aplicação da uréia- $^{15}\text{N}$  com a aplicação de 100 kg/ha de N, utilizando-se a mesma variedade de arroz que no primeiro experimento.

### 3.1. Materiais

#### 3.1.1. Solo

Utilizaram-se os mesmos tipos de solo para os dois experimentos.

LE - Latossol Vermelho Escuro

PVA - Podzólico Vermelho Amarelo var- Marília

Estes solos foram coletados da camada superior (0-25cm) na região de Jaboticabal. No Quadro I estão os dados da análise química dos solos, no Quadro II análise física e classificação textural destes solos, e no Quadro III análise mineralógica da fração argila.

QUADRO I - Análise química dos solos utilizados

SOLOS	pH	N inorg.		N	C	$PO_4^{-3}$	$K^+$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Al^{3+}$	H
	H <sub>2</sub> O	ppm		Total	%	emg/100g de solo					
		$NH_4^+$	$NO_3^-$								
PVA	4,8	2,32	2,99	0,085	0,12	0,20	0,19	1,6	0,56	0,16	2,88
LE	5,6	2,99	6,98	0,213	1,08	0,09	0,49	5,4	1,31	0,08	3,44

QUADRO II - Análise física e classificação textural dos solos utilizados

SOLOS	Composição granulométrica			Classificação Textural
	Areia	Limo	Argila	
PVA	82,4	11,5	6,1	Areia barrenta
LE	39,3	24,3	36,4	Barro argiloso

QUADRO III - Análise mineralógica da fração argila

SOLOS	Horizonte	Caulinita	Gibbsita	Mica	Vermiculita	Montmorilonita	Alófana
PVA	Ap	61,5	14,5	9,9	6,2	2,4	6,8
	A <sub>3</sub>	47,0	8,0	10,3	18,0	4,6	5,7
	B <sub>22</sub>	54,5	15,0	8,9	12,0	2,7	5,9
LE	Ap	79,5	15,5	0,4	0,6	0,0	5,1
	B <sub>22</sub>	78,0	15,0	0,8	1,4	0,0	5,0

O valor pH foi determinado no potenciômetro Beckman usando-se a relação solo-água igual a 1:2,5. O nitrogênio inorgânico ( $\text{NH}_4^+$  +  $\text{NO}_3^-$ ) foi determinado pelo método de BREMNER e KEENEY, 1966; o nitrogênio total pelo método de Kjeldahl,

descrito por BREMNER, (1965); o fósforo solúvel e o potássio trocável pelo método descrito por CATANI et alii, (1955); o cálcio e o magnésio pelo espectrofotômetro de absorção EEL, em extrato obtido segundo o método descrito por SARRUGE e HAAG, (1974).

Na análise física, seguiu-se o método de pipeta descrito por KILMER e ALEXANDER (1949). A classificação textural dos solos foi determinada de acordo com o descrito por MEDINA, (1972).

A análise mineralógica da fração argila foi determinada de acordo com o descrito por ALOISI et alii, (1975).

### 3.1.2. Variedade de arroz

Foi usada a variedade de arroz IAC 25.

### 3.1.3. Fonte de nitrogênio

Para o primeiro experimento foram empregadas 2 (duas) fontes de nitrogênio:

- a. Uréia  $[CO(^{15}NH_2)_2]$  com 2% de átomos de  $^{15}N$  em excesso.
- b. Sulfato de amônio  $[(^{15}NH_2)SO_4]$  com 1,511% de átomos de  $^{15}N$  em excesso.

Para o segundo experimento foi utilizada Uréia com 2,46% de átomos de  $^{15}N$  em excesso.

### 3.1.4. Adubação básica

Para adubação básica no primeiro experimento fo

ram utilizados fosfato monocálcico e cloreto de potássio como fontes de P e K respectivamente.

Para o segundo experimento utilizaram-se: como fontes de P, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio como fonte de K.

### 3.2. Métodos

#### 3.2.1. Delineamento experimental

##### a. Primeiro experimento

Foi usado o delineamento experimental inteiramente casualizado e seu esquema foi do tipo fatorial (3x3x2), com 18 tratamentos e três repetições para cada tipo de solo, distribuídos na seguinte ordem:

TRATAMENTOS kg/ha	TRATAMENTOS kg/ha
1 - LE P <sub>0</sub> N <sub>0</sub> U + K	PVA P <sub>0</sub> N <sub>0</sub> U + K
2 - LE P <sub>0</sub> N <sub>50</sub> U + K	PVA P <sub>0</sub> N <sub>50</sub> U + K
3 - LE P <sub>0</sub> N <sub>100</sub> U + K	PVA P <sub>0</sub> N <sub>100</sub> U + K
4 - LE P <sub>55</sub> N <sub>0</sub> U + K	PVA P <sub>55</sub> N <sub>0</sub> U + K
5 - LE P <sub>55</sub> N <sub>50</sub> U + K	PVA P <sub>55</sub> N <sub>50</sub> U + K
6 - LE P <sub>55</sub> N <sub>100</sub> U + K	PVA P <sub>55</sub> N <sub>100</sub> U + K
7 - LE P <sub>550</sub> N <sub>0</sub> U + K	PVA P <sub>550</sub> N <sub>0</sub> U + K
8 - LE P <sub>550</sub> N <sub>50</sub> U + K	PVA P <sub>550</sub> N <sub>50</sub> U + K
9 - LE P <sub>550</sub> N <sub>100</sub> U + K	PVA P <sub>550</sub> N <sub>100</sub> U + K

----- Cont.

TRATAMENTOS Kg/ha	TRATAMENTOS kg/ha
10 - LE P <sub>0</sub> N <sub>0</sub> SA + K	PVA P <sub>0</sub> N <sub>0</sub> SA + K
11 - LE P <sub>0</sub> N <sub>50</sub> SA + K	PVA P <sub>0</sub> N <sub>50</sub> SA + K
12 - LE P <sub>0</sub> N <sub>100</sub> SA + K	PVA P <sub>0</sub> N <sub>100</sub> SA + K
13 - LE P <sub>55</sub> N <sub>0</sub> SA + K	PVA P <sub>55</sub> N <sub>0</sub> SA + K
14 - LE P <sub>55</sub> N <sub>50</sub> SA + K	PVA P <sub>55</sub> N <sub>50</sub> SA + K
15 - LE P <sub>55</sub> N <sub>100</sub> SA + K	PVA P <sub>55</sub> N <sub>100</sub> SA + K
16 - LE P <sub>550</sub> N <sub>0</sub> SA + K	PVA P <sub>550</sub> N <sub>0</sub> SA + K
17 - LE P <sub>550</sub> N <sub>50</sub> SA + K	PVA P <sub>550</sub> N <sub>50</sub> SA + K
18 - LE P <sub>550</sub> N <sub>100</sub> SA + K	PVA P <sub>550</sub> N <sub>100</sub> SA + K

LE = Latossol Vermelho Escuro

PVA = Podzólico Vermelho Amarelo

U = Uréia

SA = Sulfato de Amônio

b. Segundo experimento:

Este experimento constou de 4 modos de aplicação com três repetições e houve 1 tratamento sem nitrogênio para cada tipo de solo, distribuído na seguinte ordem:

TRATAMENTO	MODOS DE APLICAÇÃO
1. PVA U <sub>0</sub> + PK	
2. PVA U <sub>1</sub> + PK	Sólido e misturado
3. PVA U <sub>1</sub> + PK	Líquido em camadas
4. PVA U <sub>1</sub> + PK	Líquido na superfície
5. PVA U <sub>1</sub> + PK	Líquido parcelado

----- Cont.

TRATAMENTO	MODO DE APLICAÇÃO
1. LE $U_0 + PK$	
2. LE $U_1 + PK$	Sólido e misturado
3. LE $U_1 + PK$	Líquido em camadas
4. LE $U_1 + PK$	Líquido na superfície
5. LE $U_1 + PK$	Líquido parcelado

O delineamento e esquema experimental foram inteiramente casualizados.

### 3.2.2. Preparo e aplicação dos adubos

#### a. Para o primeiro experimento

As doses de nitrogênio, 50 e 100 kg/ha foram aplicadas em forma líquida. A dose de 50 kg/ha de N corresponde a 60 mg/vaso de N e a 133,33 mg/vaso de uréia e a 300 mg/vaso de sulfato de amônio.

Foram aplicados na superfície do solo 20 ml/vaso de uma solução aquosa que continha as quantidades de uréia ou de sulfato de amônio calculada para os vasos dos diferentes tratamentos.

Com relação ao fornecimento do fósforo, foram preparadas, a partir do fosfato monocálcico, três soluções contendo em cada uma delas, 0, 66 e 660 mg de P, os quais foram aplicadas em camadas da seguinte forma: os três quilogramas de solo do vaso foram separados em quatro porções de 700 g cada uma, o restante foi utilizado para cobrir as sementes, e en-

tre a primeira e a segunda camada inferiores, e entre a segunda e a terceira, aplicaram-se 5 ml das soluções de P anteriormente mencionadas, de acordo com os tratamentos. Entre a terceira e a quarta camada foram aplicados 10 ml das soluções de P. Então, as concentrações de fósforo aplicado foram de 0,22 e 220 ppm de P, correspondentes a 0,55 e 550 kg/ha de P, respectivamente.

Uma solução de cloreto de potássio correspondente a uma quantidade de 60 kg/ha de  $K_2O$  foi aplicada na superfície como o nitrogênio. Esta quantidade corresponde a 72 mg  $K_2O$  ou 60 mg/3 kg de solo de K, ou 20 ppm K.

b. Para o segundo experimento

Para o modo de aplicação: **sólido emisturado** foram tomados 3 kg de solo, o qual foi misturado numa bolsa de polietileno com 266,66 mg de uréia; a seguir, foi colocado nos vasos respectivos.

Para os outros modos de aplicação, foi feita uma solução contendo 5,33 g de uréia em 500 ml de água destilada.

Para o modo de aplicação: **líquido em camadas**, os três quilogramas do solo foram separados em três porções de 800 g cada uma, entre a primeira e segunda camada inferiores aplicaram-se 5 ml, entre a segunda e terceira 10 ml e sobre a terceira adicionaram-se os 10 ml remanescentes da solução, e com o resto do solo (600 g) cobriu-se a última aplicação.

Para o modo de aplicação: **líquido na superfície**, colocaram-se 25 ml da solução para os dois solos.

Para o modo de aplicação: líquido parcelado, adicionaram-se 15 ml na superfície, os quais correspondem a 60 kg/ha de N na forma de uréia e a 72 mg/vaso de N e a 160 mg/vaso de uréia. Após 20 dias, aplicaram-se 10 ml da solução que correspondem a 40 kg/ha e a 48 mg/vaso de N e a 106,66 mg/vaso de uréia.

O fósforo e o potássio foram colocados na superfície do solo, na forma líquida. O primeiro foi aplicado na forma de superfosfato triplo, na quantidade de 44 kg/ha de P, correspondente a 53 mg/vaso de P. O segundo foi aplicado na forma de cloreto de potássio, na quantidade de 50 kg/ha de K, correspondente a 60 mg/vaso de K.

### 3.2.3. Semeadura, tratamentos culturais e colheita

#### a. Primeiro experimento

A semeadura foi feita no dia 28 de janeiro de 1980, colocando-se 15 sementes por vaso. A seguir o solo foi regado até 75% da sua capacidade de embebição. Aos 7 dias a germinação alcançou a 90% e aos 10 dias foi feito o desbaste deixando 10 plantas por vaso.

Para combater um ligeiro ataque do fungo *Rizoglyphora*, aplicou-se em cada vaso 50 ml de uma solução misturada de Lusan (PCNB 75%) e de Benlate a 0,7%. Para combater um ligeiro ataque de ácaros, pulverizou-se uma solução de Gusation a 0,2%. Para prevenir o ataque de insetos, as plantas foram pulverizadas com uma solução de Aldrex a 0,6%.

A colheita foi realizada aos 30 dias após a germinação, no dia 4 de março do mesmo ano.

As partes aéreas das plantas foram cortadas a um centímetro do nível do solo e secas em estufas a 60-70°C, por três dias.

#### b. Segundo experimento

Iniciou-se no dia 18 de março de 1981. Realizaram-se os mesmos tratamentos culturais do que no primeiro experimento. A colheita foi realizada no dia 22 de abril do mesmo ano.

#### 3.2.4. Análise do material vegetal

O nitrogênio total foi determinado pelo método do micro Kjeldahl com digestão úmida de 100 mg de material vegetal seco e destilação com NaOH (BREMNER, 1965).

A determinação da relação isotópica  $^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$ , foi feita no Espectômetro de Massa Atlas MET modelo CH-4, pertencente ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura. O preparo do material para ser analisado foi feito seguindo o método de Dumas, descrito por TRIVELIN et alii (1973).

Os valores de abundância natural encontrados nas plantas de arroz no primeiro experimento foram 0,371 e 0,372% para os solos Latossol e Podzol respectivamente. Para o segundo experimento, estes valores foram 0,370% para o Latossolo e 0,372% para Podzolizado.

O cálculo da porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante foi feito usando a seguinte expressão:

$$\%NPPF = \frac{\text{átomos de } ^{15}\text{N em excesso na planta}}{\text{átomos de } ^{15}\text{N em excesso no adubo}} \times 100 \quad (1)$$

A eficiência de utilização do fertilizante foi determinada através da seguinte equação:

$$EUFN = \frac{\% NPPF \times N \text{ total (mg)}}{\text{Quantidade de N adicionado (mg)}} \times 100 \quad (2)$$

### 3.2.5. Fórmula para calcular o nitrogênio disponível no solo

Para isso utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Valor "A}_N\text{"} = \frac{B(1 - y)}{y} \quad (3)$$

onde:

$A_N$  = Quantidade em mg do nitrogênio disponível

$B$  = Quantidade em mg de nitrogênio aplicado

$y$  = Fração do nitrogênio na planta proveniente do fertilizante.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Primeiro experimento

#### 4.1.1. Material vegetal seco (MVS)

Os dados referentes à produção do material vegetal seco encontram-se na Tabela 1 e na Figura 1.

No Latossolo, observa-se que a medida que aumentam os níveis de fósforo aumenta também a produção de material vegetal seco, obtendo-se as máximas produções com o nível de 550 kg/ha de P. Verifica-se também que a medida que aumenta a quantidade de nitrogênio aplicado ao solo na forma de uréia ou sulfato de amônio, o MVS aumenta também notavelmente. As máximas produções foram obtidas com 550 kg/ha de P e 100 kg/ha de N, sendo 8,02 g para a uréia e 8,08 para o sulfato de amônio; então, as duas fontes tem um comportamento similar. Este aumento de produção de MVS com o incremento das doses de nitrogênio e fósforo indica que neste solo existe uma

Tabela 1. Produção do material vegetal seco (MVS) em g/vaso nos dois solos. Primeiro experimento

a. Latossolo

	kg/ha N	0 kg/ha de P	55 kg/ha de P	550 kg/ha de P
U*	0	3,20	4,54	5,50
	50	3,33	5,35	6,49
	100	3,35	5,81	8,02
S.A**	0	2,58	4,88	5,81
	50	3,28	5,27	7,62
	100	3,77	5,93	8,08

dms 5% = 1,43 - CV = 8,98

b. Podzolizado

	kg/ha N	0 kg/ha de P	55 kg/ha de P	550 kg/ha de P
U*	0	3,54	4,72	4,67
	50	4,04	6,07	6,34
	100	4,97	7,65	6,63
S.A**	0	3,53	5,34	4,65
	50	5,31	6,26	5,69
	100	5,71	6,99	6,25

dms 5% = 1,82 - CV = 10,85

\* = Uréia

\*\* = Sulfato de amônio

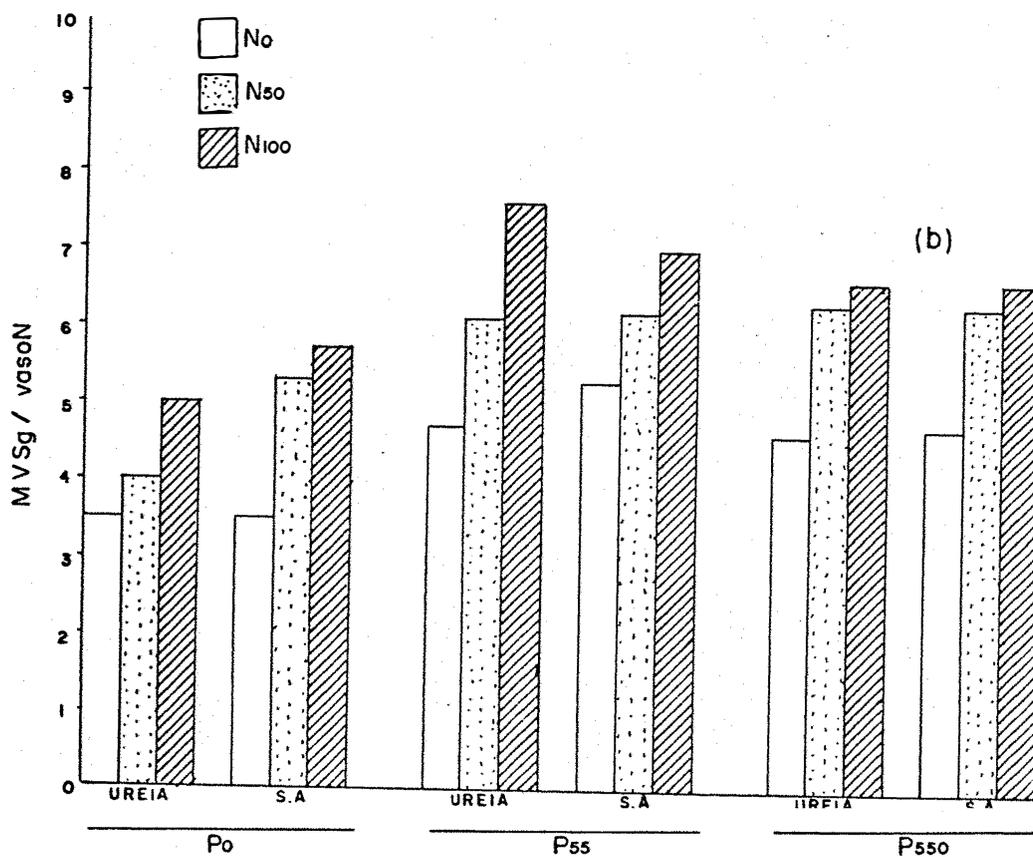
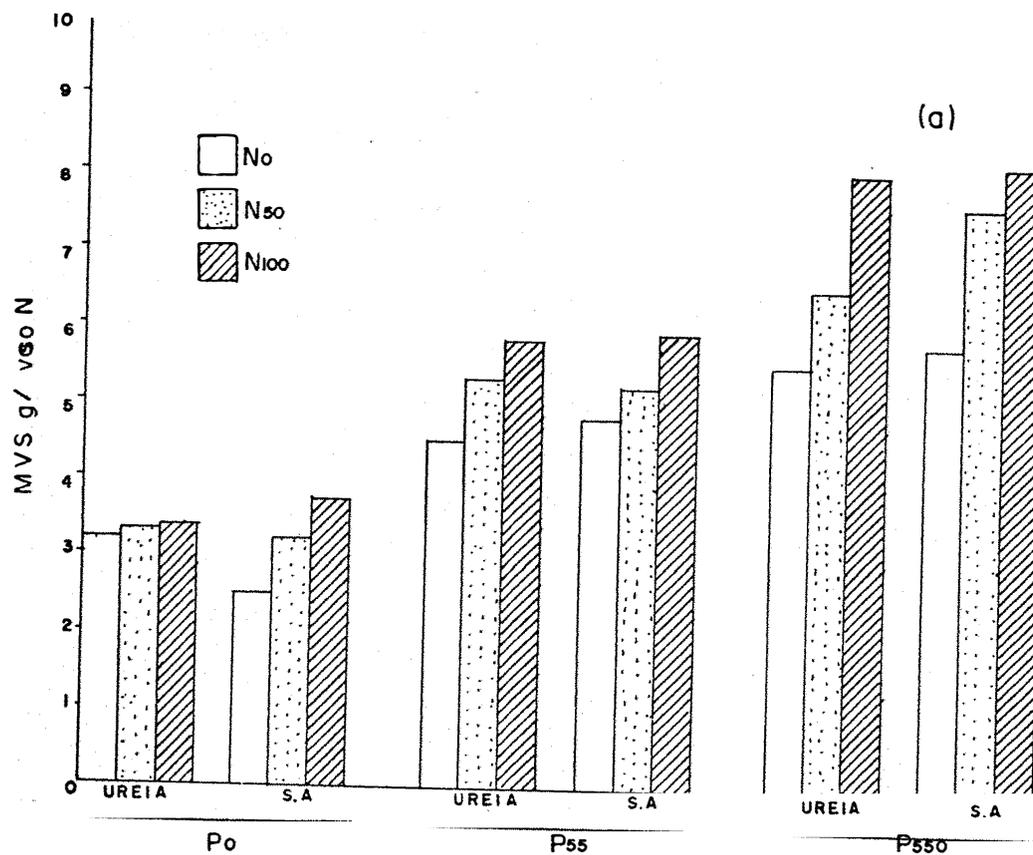


Figura 1. Produção do material vegetal seco (MVS) em g/vaso, em função das doses de nitrogênio adicionado e dos níveis de fósforo nos solos: a) LE; b) PVA.

resposta à adubação nitrogenada e principalmente à fosfatada.

No solo Podzolizado, as maiores produções de MVS foram obtidas com o nível de 55 kg/ha de P e 100 kg/ha de N sendo de 7,65 g com a uréia e 6,99 g com o sulfato de amônio. Isso pode ser devido a que neste solo, o conteúdo original de fósforo (ver Quadro 1) é mais alto que no Latossolo, tendo portanto uma resposta limitada a adubação fosfatada. Neste solo pode-se observar também que na presença do mais alto nível de fósforo (550 kg/ha de P) e 100 kg/ha de N, existe uma diminuição da produção de MVS. É de se pensar que o nível mais alto de fósforo neste solo, produz um efeito depressivo na produção, sendo mais marcante quando utilizou-se como fonte o sulfato de amônio.

Comparando-se as duas fontes de N, mesmo que não hajam diferenças significativas, entre doses iguais de nitrogênio dentro de um mesmo nível de fósforo, nota-se um ligeiro aumento na produção do MVS, quando utilizou-se como fonte o sulfato de amônio nos dois solos. Resultados similares foram encontrados por BROADBENT e MIKKELSEN (1968).

#### 4.1.2. Nitrogênio total na planta (NTP)

Os dados referentes a nitrogênio total na planta em função das duas fontes de nitrogênio e níveis crescentes de fósforo encontram-se na Tabela 2 e na Figura 2.

Tabela 2. Nitrogênio total na planta (mg/vaso) no LE e no PVA  
Primeiro experimento

a. Latossolo

	kg/ha N	0 kg/ha de P	55 kg/ha de P	550 kg/ha de P
U*	0	67,37	86,53	101,03
	50	76,76	120,73	143,32
	100	81,91	161,82	202,54
S.A.**	0	59,39	93,01	109,88
	50	83,34	124,23	146,90
	100	112,85	161,76	181,64

dms 5% = 36,91 - CV = 10,11

b. Podzolizado

	kg/ha N	0 kg/ha de P	55 kg/ha de P	550 kg/ha de P
U*	0	59,21	84,22	99,02
	50	71,28	143,19	147,06
	100	99,04	187,43	185,85
S.A.**	0	58,05	91,93	89,44
	50	110,79	138,87	150,18
	100	138,86	147,06	188,24

dms 5% = 48,02 - CV = 12,81

\* = Uréia

\*\* = Sulfato de amônio

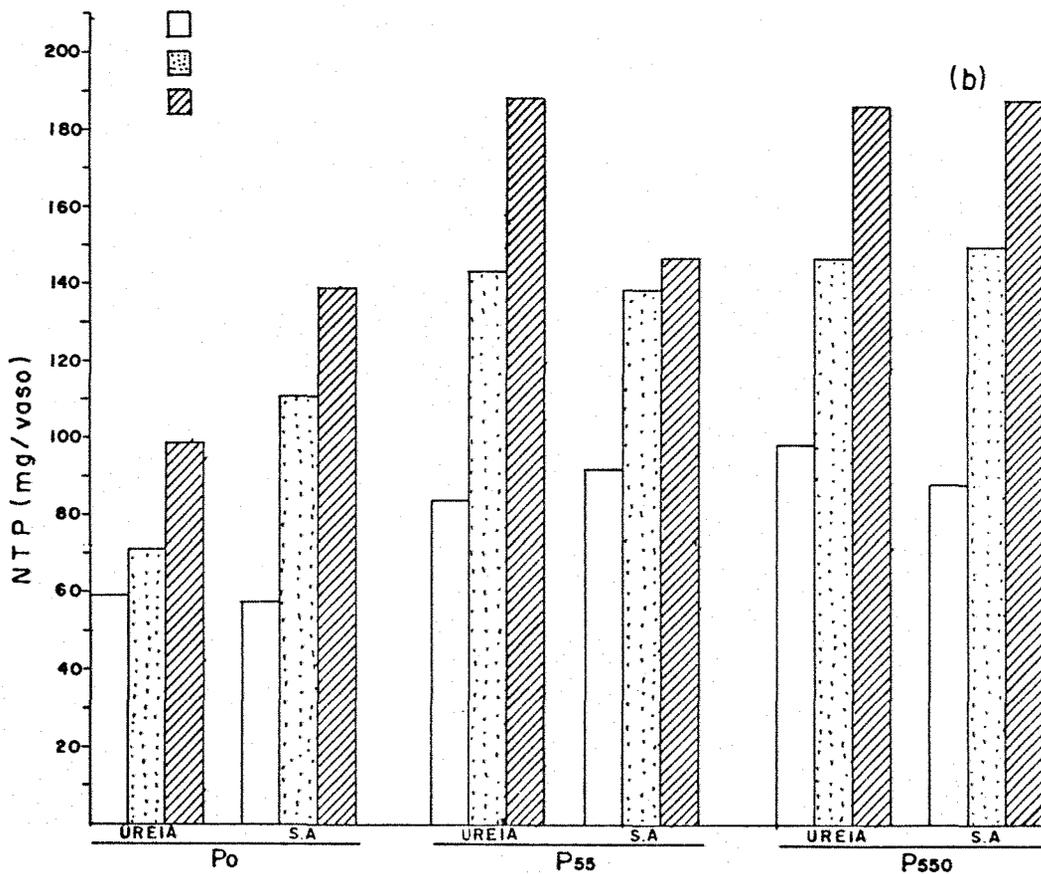
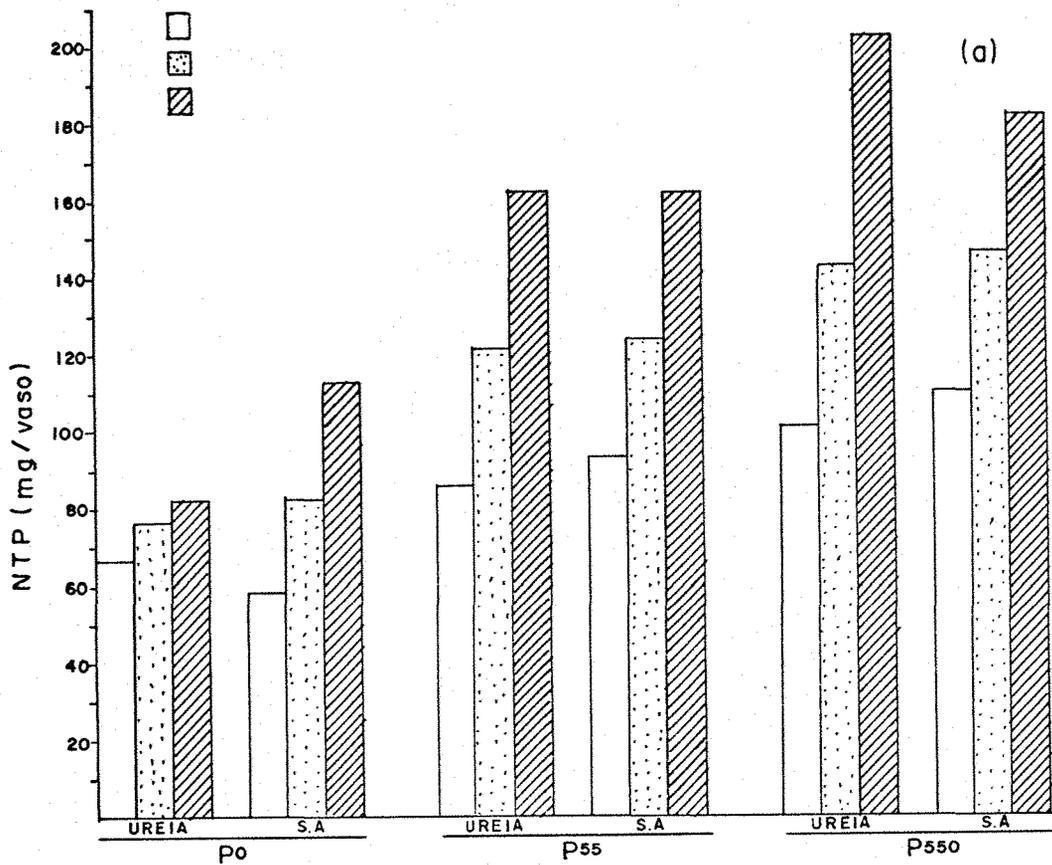


Figura 2. Quantidades de nitrogênio total na planta em mg/vaso, em função das doses de nitrogênio e dos níveis de fósforo nos solos: a) LE; b) PVA.

No Latossolo, verifica-se que com doses crescentes de fósforo aplicadas neste solo; existe um incremento na absorção de nitrogênio total pelas plantas, quando utilizou-se tanto uréia como sulfato de amônio como fonte de nitrogênio.

Comportamento similar é observado com doses crescentes de nitrogênio, obtendo-se a máxima absorção de nitrogênio total na planta, atingindo valores de 202,54 mg de N para a uréia e 181,64 mg de N para o sulfato de amônio. Isso indica um efeito sinérgico entre o fósforo e o nitrogênio, ou seja, um efeito de fósforo para a maior absorção de nitrogênio, pelas plantas de arroz. De maneira geral, as fontes de nitrogênio tem igual comportamento principalmente com a dose de 50 kg/ha de N. Observa-se que o sulfato de amônio se comportou melhor absorvendo 30,94 mg de N a mais que a uréia, sem a presença de fósforo e 100 kg/ha de N.

No solo Podzolizado, observa-se que a quantidade de nitrogênio absorvida pela planta aumentara com as doses crescentes de nitrogênio aplicado. Verifica-se que existe também diferença entre fontes de nitrogênio quando aplicaram-se 55 kg/ha de P obtendo-se a maior absorção de nitrogênio (187,43 mg N), utilizando-se uréia e com a dose de 100 kg/ha de N. Com o sulfato de amônio, a maior absorção de nitrogênio (188,24 mg N) foi atingido com a dose de 100 kg/ha de N e com o nível maior de fósforo. Neste solo, as aplicações de 55 e 550 kg/ha de P com a uréia, produziram aproximadamente

igual absorção de nitrogênio pela planta. Tal não acontece com o sulfato de amônio.

#### 4.1.3. Porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%NPPF)

Os dados referentes à %NPPF nos vários tratamentos encontram-se na Tabela 3 e Figura 3. A análise estatística foi realizada mediante o ajuste dos dados a  $\arcsen \sqrt{x}$ , segundo PIMENTEL GOMES (1978).

No Latossolo, nota-se que a %NPPF se manteve mais ou menos constante quando utilizou-se o sulfato de amônio nas doses de 50 e 100 kg/ha de N e na presença de 55 e 550 kg/ha de P. Quando aplicou-se a uréia, a %NPPF foi maior com as doses de 55 kg/ha de P e 100 kg/ha de N (31,03%).

De maneira geral, verifica-se que a %NPPF aumentaram quando se aumentaram as doses de nitrogênio para ambas as fontes. Maiores %NPPF foram obtidas com a adição de nitrogênio na forma de uréia do que do sulfato de amônio, o que indica que, neste solo, a porcentagem de nitrogênio proveniente da uréia é significativamente maior que aquela proveniente do sulfato de amônio. A máxima %NPPF (24,07%) para o sulfato de amônio obteve-se com a dose de 100 kg/ha de N na presença de 55 kg/ha de P, sendo um valor significativamente menor do que aquele obtido com a uréia (31,03%), com o mesmo tratamento. Esta %NPPF concorda com a obtida por BROADBENT e MIKKELSEN (1968), os quais encontraram uma porcentagem de 27 a 47%.

Tabela 3. Porcentagem de nitrogênio na planta (%NPPF) proveniente do fertilizante. Primeiro experimento

a. Latossolo

kg/ha N	0 kg/ha de P		55 kg/ha de P		550 kg/ha de P		
	%NPPF	arc sen√%	%NPPF	arc sen√%	%NPPF	arc sen√%	
U*	50	15,80	23,81	17,93	25,42	16,93	24,68
	100	26,30	31,17	31,03	34,16	29,72	33,34
S.A**	50	14,23	22,56	12,68	21,29	13,13	21,66
	100	23,93	29,61	24,07	29,71	23,74	29,49

dms 5% = 2,01 - CV = 2,48

b. Podzolizado

kg/ha N	0 kg/ha de P		55 kg/ha de P		550 kg/ha de P		
	%NPPF	arc sen√%	%NPPF	arc sen√%	%NPPF	arc sen√%	
U*	50	26,12	31,05	21,10	27,69	21,17	27,71
	100	36,07	37,20	33,40	35,60	33,27	35,53
S.A**	50	16,21	24,11	15,77	23,79	16,50	24,35
	100	28,24	32,42	27,49	31,93	27,44	31,91

dms 5% = 3,27 - CV = 3,63

\* = Uréia

\*\* = Sulfato de amônio

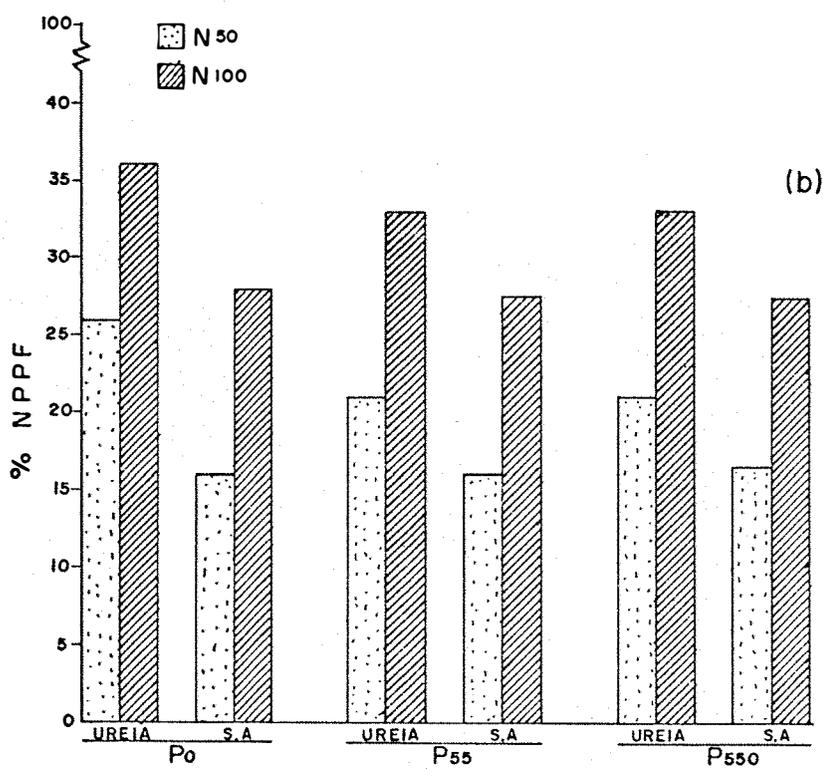
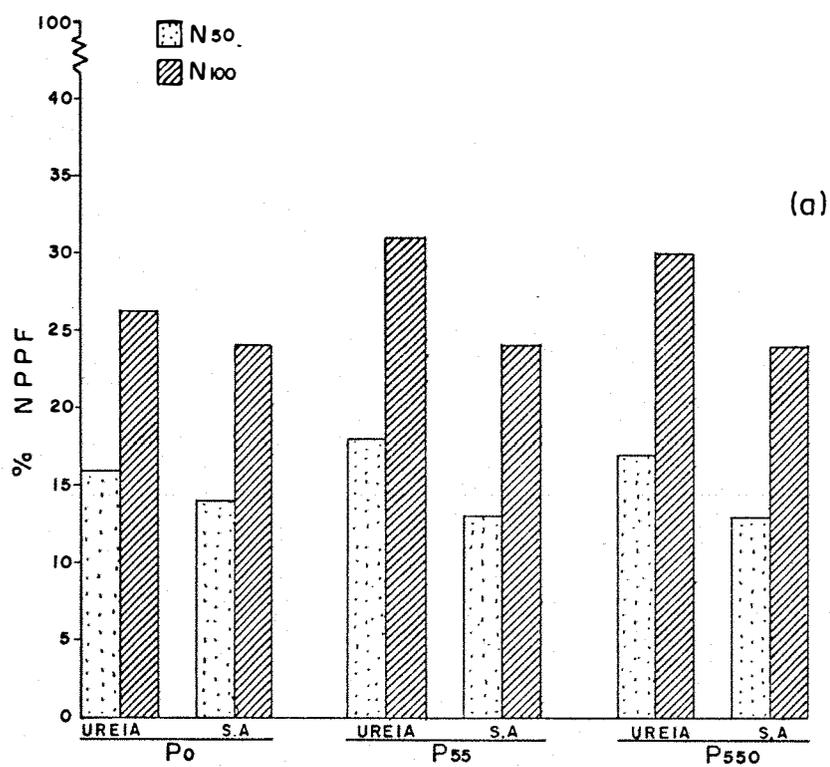


Figura 3. Porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%NPPF) em função das doses de nitrogênio, e dos níveis de fósforo nos solos: a) LE; b) PVA.

No solo Podzolizado, observa-se um fato que merece ser apontado: máximas %NPPF, com as doses de 100 kg/ha de N são obtidas quando não se adicionou o elemento fósforo, sendo para uréia 36,07% e para o sulfato de amônio 28,24%. Quando adicionou-se fósforo (55 e 550 kg/ha), observa-se que estas %NPPF diminuíram em ambas as fontes. De maneira geral, em todos os tratamentos, verifica-se um aumento significativo da %NPPF quando aumentou-se as doses de nitrogênio. Isso indica que neste solo, existe uma resposta positiva à fertilização nitrogenada devido principalmente a um baixo conteúdo de nitrogênio original.

Na mesma Tabela 3, como na Figura 3, pode-se verificar claramente que o comportamento das fontes é diferente. Nota-se que a %NPPF se mantém mais ou menos constante nos três níveis de fertilização fosfatada quando utilizou-se como fonte o sulfato de amônio.

Com a uréia, no Latossolo, obtiveram-se maiores %NPPF com a adição de 55 kg/ha de P, enquanto que no solo Podzolizado, a %NPPF diminuiu significativamente, quando se adicionou fósforo.

#### 4.1.4. Quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (QNPPF) mg/vaso

Os dados referentes à quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante nos diferentes tratamentos nos dois solos encontram-se na Tabela 4 e na Figura 4.

Tabela 4. Quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (QNPPF) mg/vaso. Primeiro experimento

a. Latossolo

	kg/ha N	0 kg/ha de P	55 kg/ha de P	550 kg/ha de P
U*	50	12,12	21,71	24,42
	100	23,54	50,41	59,88
S.A.**	50	11,86	15,77	19,29
	100	26,90	38,95	43,09

dms 5% = 11,96 - CV = 13,27

b. Podzolizado

	kg/ha N	0 kg/ha de P	55 kg/ha de P	550 kg/ha de P
U*	50	18,89	30,05	30,65
	100	35,75	62,46	61,82
S.A.**	50	17,84	21,87	24,76
	100	39,21	40,44	51,43

dms 5% = 10,93 - CV = 10,14

\* = Uréia

\*\* = Sulfato de amônio

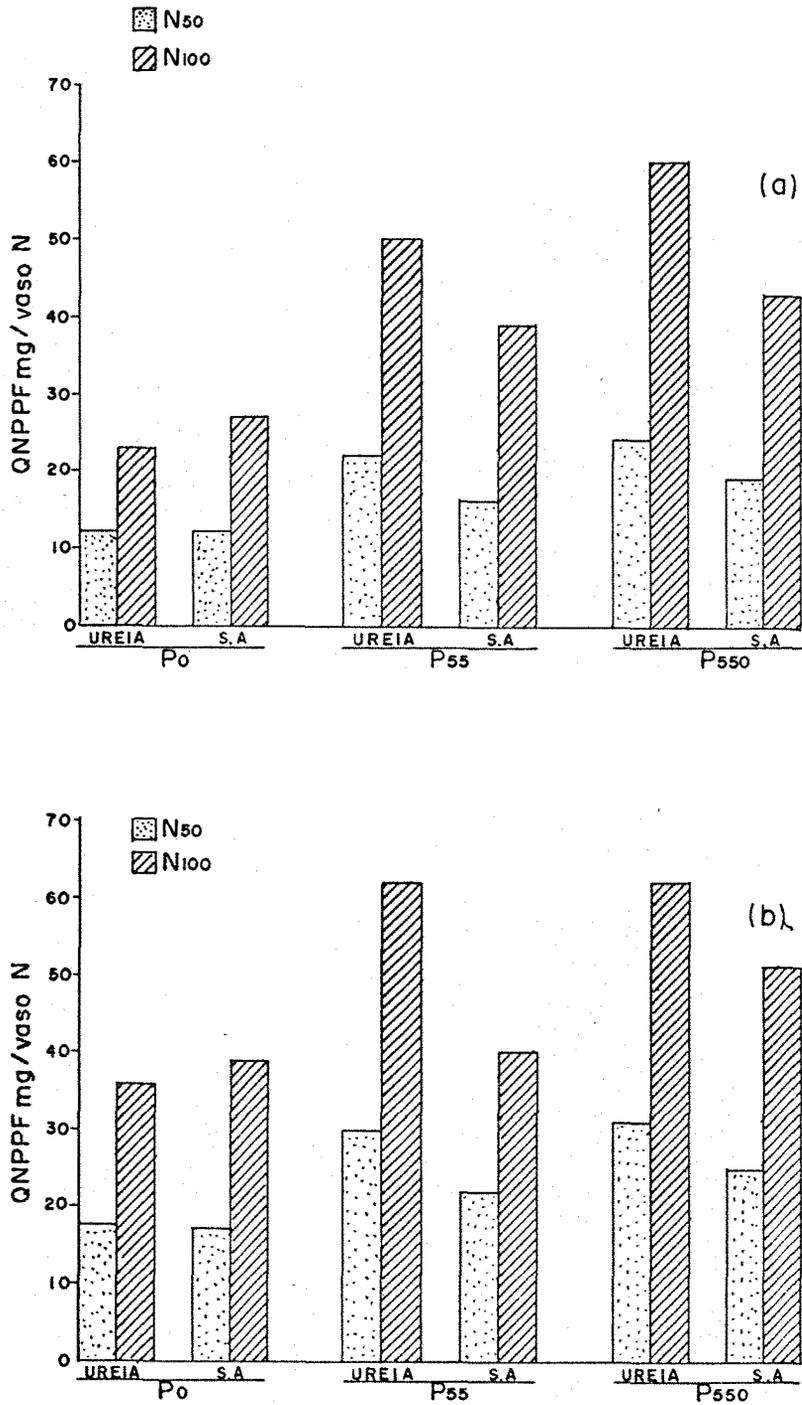


Figura 4. Quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (QNPPF) em função das doses de nitrogênio e dos níveis de fósforo nos solos: a) LE; b) PVA.

No Latossolo, observa-se que as maiores quantidades de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante são obtidas com o nível mais alto de fósforo (550 kg/ha) e com a dose mais alta de nitrogênio (100 kg/ha) sendo de 59,88 mg e 43,09 mg quando utilizou-se a uréia e o sulfato de amônio respectivamente. Isso é devido principalmente a que nestes tratamentos obtiveram-se maior peso do material vegetal seco, e maior o nitrogênio total na planta.

No Podzolizado a quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante, o MVS e a quantidade de nitrogênio total acusaram os valores mais altos quando se aplicaram 55 kg/ha de P e 100 kg/ha de N na forma de uréia. Com o sulfato de amônio a maior QNPPF foi obtida com 550 kg/ha de P e 100 kg/ha de N. Com relação às fontes neste solo, a uréia se comportou muito melhor do que o sulfato de amônio, principalmente na presença de 55 e 550 kg/ha de P, apresentando diferenças significativas entre estas fontes com 55 kg/ha de P e 100 kg/ha de N.

A QNPPF representa um dado de grande valia. De lá, depende o cálculo de EUFN. Assim, quanto maior a QNPPF, maior será a eficiência, como se verá na Tabela 5.

Nem sempre a maior %NPPF corresponde a maior QNPPF. Assim, no tratamento  $P_0N_{100}U$  (Tabela 3 - solo Podzolizado), obteve-se a maior %NPPF (36,07%), enquanto que a QNPPF (35,75 mg) não correspondeu ao valor máximo (Tabela 4). No tratamento  $P_{55}N_{100}U$  a %NPPF foi de 33,4 e a QNPPF foi de 62,46 mg.

Para este tratamento houve menor %NPPF e maior QNPPF devido a que apresentou as maiores quantidades de MVS e nitrogênio total.

#### 4.1.5. Eficiência da utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN)

Os valores médios obtidos para a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (%EUFN) para os diferentes tratamentos encontram-se na Tabela 5 e Figura 5. A análise estatística foi realizada com os valores ar sen  $\sqrt{\%}$  (PIMENTEL GOMES, 1978).

No Latossolo, observou-se que a medida que se incrementaram as doses de fósforo, a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado também aumentou obtendo-se os valores máximos com a aplicação de 550 kg/ha de P e 100 kg/ha de N para ambas as fontes. Os valores máximos de eficiência foram de 49,9% para uréia e de 35,9% para o sulfato de amônio. Estes valores de EUFN concordam com os valores mais altos de MVS, NTP e QNPPF obtidos nos mesmos tratamentos.

No solo Podzolizado, os maiores valores de EUFN (52,05% para uréia e 42,89% para o sulfato de amônio) foram obtidos com a adição de 55 e 550 kg/ha de P, e de 100 kg/ha de N. Os valores obtidos quando utilizaram-se níveis menores de fósforo (0 e 55 kg/ha de P) foram baixos, quando usou-se o sulfato de amônio.

Neste solo, as doses crescentes de nitrogênio

Tabela 5. Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN). Primeiro experimento

## a. Latossolo

	kg/ha N	0 kg/ha de P		55 kg/ha de P		550 kg/ha de P	
		EUFN	arc sen√%	EUFN	arc sen√%	EUFN	arc sen√%
U*	50	20,19	27,06	36,18	37,23	40,70	39,93
	100	19,62	26,46	42,01	40,67	49,90	45,23
S.A**	50	19,78	26,75	26,28	31,16	32,14	34,83
	100	22,41	28,54	32,46	35,03	35,90	37,10

dms 5% = 7,18 - CV = 7,07

## b. Podzolizado

	kg/ha N	0 kg/ha de P		55 kg/ha de P		550 kg/ha de P	
		EUFN	arc sen√%	EUFN	arc sen√%	EUFN	arc sen√%
U*	50	31,14	34,13	50,11	45,35	51,08	45,90
	100	29,79	33,37	52,05	46,46	51,53	46,17
S.A**	50	29,08	32,94	36,46	37,43	41,28	40,26
	100	32,67	35,15	33,70	35,77	42,89	41,19

dms 5% = 7,59 - CV = 6,46

\* = Uréia

\*\* = Sulfato de amônio

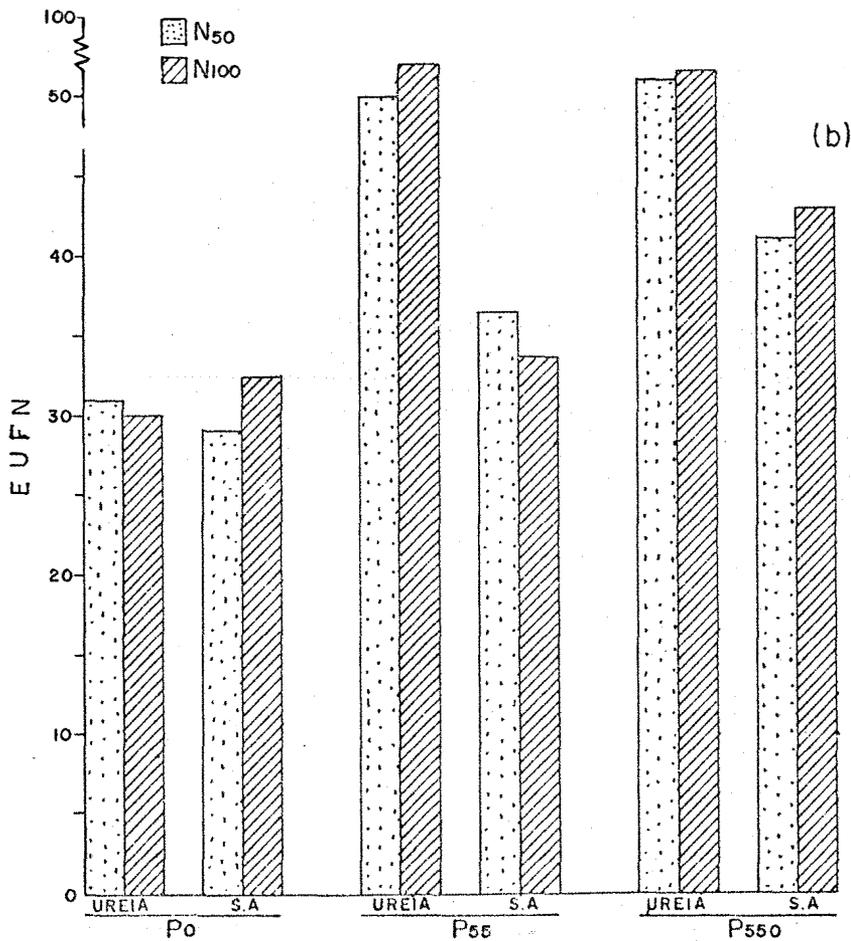
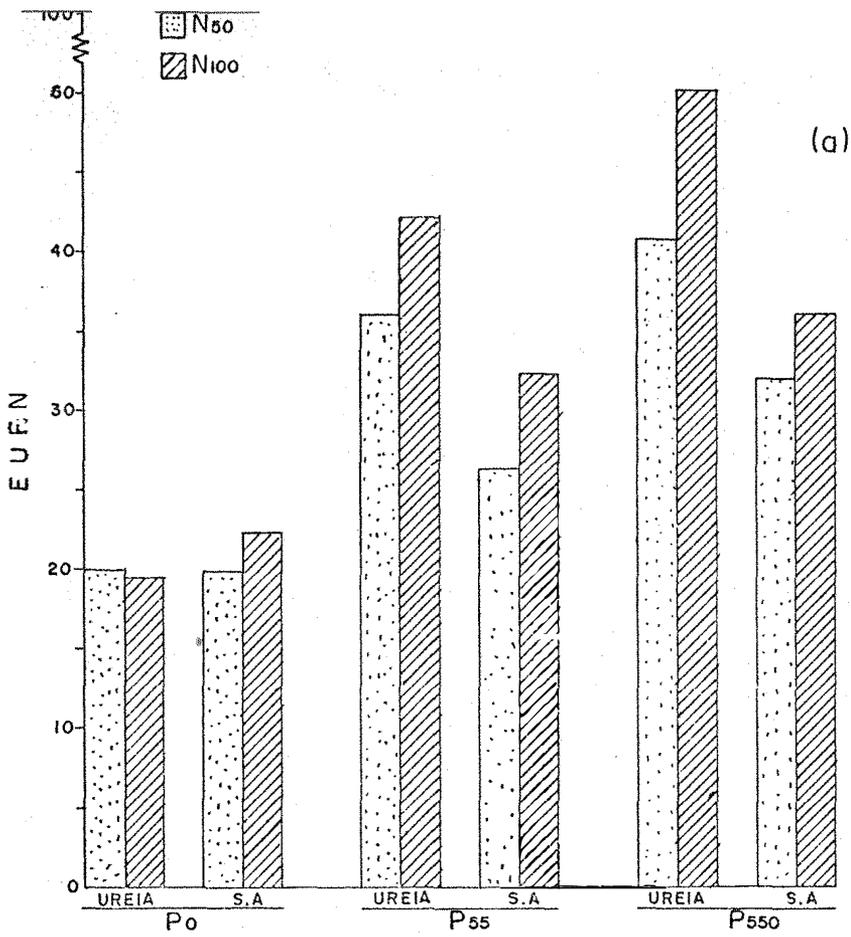


Figura 5. Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN), em função das doses de nitrogênio e dos níveis de fósforo nos solos: a) LE; b) PVA.

não tiveram efeito significativo na eficiência de utilização do fertilizante, uréia ou sulfato de amônio, sendo que para as duas doses, 50 e 100 kg/ha de N, as eficiências são praticamente iguais. Porém, as fontes de nitrogênio apresentam diferenças significativas com o nível de 55 kg/ha de P, obtendo-se maiores eficiências com a uréia. Apenas quando não se adicionou fósforo as EUFN foram aproximadamente iguais para as duas fontes sendo suas médias de 30,46%, e 30,87% para a uréia e para o sulfato de amônio respectivamente. Na presença de 55 kg/ha de P, a diferença de EUFN entre as duas fontes é marcante, sendo 51,08% para a uréia e 35,08% para o sulfato de amônio. Os valores máximos da EUFN obtida para este solo, igualmente no Latossolo, de maneira geral, concordam com os valores mais altos de produção MVS, nitrogênio total e QNPPF.

Comparando a %NPPF e a EUFN pode-se observar que para o solo Podzolizado, a medida que se incrementaram as doses de fósforo, a EUFN aumentou, enquanto que a %NPPF diminuiu principalmente no caso da uréia.

Para o solo Latossol, fazendo a mesma comparação e nas Figuras 3 e 5, pode-se observar que, a medida que aumentaram as doses de fósforo, a EUFN teve uma tendência aumentar, para ambas as fontes, enquanto que a %NPPF apenas teve um ligeiro aumento no caso da uréia, e manteve-se constante para o sulfato de amônio, com 100 kg/ha de N.

Na mesma Figura 5, comparando os valores de eficiência máxima obtida (49,9% para o Latossolo e 51,50% pa-

ra o Podzolizado), pode-se observar que são aproximadamente iguais. No caso do sulfato de amônio, observou-se que no solo Podzolizado, obteve-se aproximadamente 7% mais de eficiência. Os valores obtidos para EUFN poderiam ser mais altos se fosse levado em consideração a massa das raízes. A baixa EUFN pode ser devido ao curto período de duração do experimento.

Quanto as perdas de nitrogênio que podem ter acontecido pela hidrólise enzimática da uréia, elas não se manifestaram uma vez que a EUFN da uréia foi maior do que do sulfato de amônio. Por outro lado não está ainda bem estabelecido até que ponto o processo de desnitrificação ocorre em solo arejado, embora tais solos sejam conhecidos por possuírem microsítios anóxicos (FOCHT e STOLZY, 1978). Podem ocorrer perdas significantes de  $N_2$ ,  $N_2O$  e  $NO + NO_2$  a partir de solos adubados com fertilizantes amoniacais durante a nitrificação, como foi mencionado por SMITH e CHALK (1980).

#### 4.1.6. Valor " $A_N$ "

Os valores  $A_N$  obtidos nos diferentes tratamentos, através da equação (3), página 26 encontram-se na Tabela 6. Este sub-índice N indica nitrogênio disponível e foi tomado do trabalho de ALEKSIC et alii (1968).

Para o Latossolo, observa-se que os valores " $A_N$ " obtidos com aplicação das doses de sulfato de amônio e dos níveis de fósforo foram praticamente iguais. Com a aplicação das doses de uréia observa-se valores maiores apenas no tratamento  $P_0N_{100}U$ .

Tabela 6. Valor "A<sub>N</sub>" em mg N/kg de solo. Primeiro experimento

## a. Latossolo

	kg/ha N	0 kg/ha de P	55 kg/ha de P	550 kg/ha de P
U*	50	106,52	91,95	98,21
	100	112,37	88,85	94,62
S.A.**	50	120,82	137,72	132,45
	100	127,87	126,21	128,57

dms 5% = 18,81 - CV = 5,56

## b. Podzolizado

	kg/ha N	0 kg/ha de P	55 kg/ha de P	550 kg/ha de P
U*	50	56,68	75,02	75,75
	100	71,33	80,13	80,24
S.A.**	50	104,22	106,86	101,22
	100	101,66	106,19	105,97

dms 5% = 23,06 - CV = 8,74

\* = Uréia

\*\* = Sulfato de amônio

De modo geral os valores obtidos para o sulfato de amônio foram superiores significativamente aos da Uréia com os níveis de 55 e 550 kg/ha de P e doses de 50 e 100 kg/ha de N.

Para o Podzolizado, nota-se que no caso da uréia como o sulfato de amônio, os valores se mantiveram praticamente constantes na presença de doses crescentes de fósforo e nitrogênio.

Entre fontes observa-se que existe diferença significativa entre os níveis 0, 55 e 550 kg/ha de P; e doses de 50 e 100 kg/ha de N, excetuando os tratamentos P550N100U e P550N50SA.

Os dados do valor " $A_N$ " apresentados neste trabalho concordam com as assertivas de ALEKSIC et alii (1968) e de SMITH e LEGG (1971), no sentido de que os valores " $A_N$ " são independentes das doses de nitrogênio aplicado e permanecem constantes para um dado solo, a despeito das mudanças na eficiência do fertilizante e na absorção do nutriente do solo.

Porém, deve ser ressaltado que ALEKSIC et alii trabalhavam com sulfato de amônio marcado e aqueles resultados não podem ser generalizados. No trabalho SAITO e NEPTUNE (1977) obteve-se valores "A" diferentes entre as fontes e também entre os solos.

Pode ser que o conceito do valor "A" seja válido em experimentos utilizando apenas um solo e diferentes culturas. Mas é duvidoso querer que o valor "A" seja considera-

do como meio real para medir o nutriente disponível do solo.

O fundamento do conceito do valor "A" está certo. Porém na prática obtemos dados irreais. Os cálculos feitos em base aos teores de nitrogênio total, mostram os seguintes valores: para o solo Podzolizado 2125 kg/ha de N e para o Latossolo 5325 kg/ha de N. Os cálculos feitos em base aos teores de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  mostram os seguintes resultados: para o Podzolizado 13 kg/ha e para o Latossolo 25 kg/ha.

Os valores "A<sub>N</sub>" calculado em kg/ha de N para as diferentes fontes e solos e a variação dos mesmos entre os tratamentos são os seguintes:

Solo	Fonte	Valor "A <sub>N</sub> " (kg/ha N)
	Uréia	222-281
Latossolo	Sulfato de amônio	302-344
	Uréia	141-201
Podzolizado	Sulfato de amônio	253-265

Verifica-se então que os valores "A<sub>N</sub>" obtidos não coincidiram com os dados de nitrogênio total e nem com os dados de nitrato + amônio.

Por outro lado, se o valor "A" é calculado através de uma expressão onde a única variável independente é a

porcentagem de nutriente na planta proveniente do fertilizante, conseqüentemente ele não pode representar fielmente o estado nutritivo do solo em estudo.

Sabe-se que a imobilização e a mineralização dos íons nitrogenados ocorrem no solo e passam por transformações dinâmicas. Quando o adubo nitrogenado marcado é aplicado ao solo, os microorganismos utilizam esse nitrogênio marcado e liberam também o nitrogênio não marcado. O valor "A" deveria refletir a intensidade de atividade microbiana, como também a disponibilidade do nitrogênio no solo. Aliás, KETCHESON e JAKOVILJEVIĆ (1968) afirmam que o valor "A" seria mais real se a forma do nutriente adicionado se mantivesse constante.

#### 4.2. Segundo experimento

Os dados referentes a este experimento que diz respeito a produção do material vegetal seco (MVS) e quantidade de nitrogênio total na planta encontram-se na Tabela 7.

##### 4.2.1. Produção de Material Vegetal Seco (MVS)

Para o solo Latossol, observa-se que existem diferenças significativas entre modos de localização dos fertilizantes. A maior produção do material vegetal seco foi de (4,41 g), quando aplicou-se a uréia na forma líquida e em camadas. Entretanto os tratamentos líquido na superfície e líquido parcelado apresentam quase iguais produções do MVS sen-

Tabela 7. Produção do material vegetal seco (MVS) g/vaso e nitrogênio total (mg/vaso) na planta nos solos LE e PVA

TRATAMENTOS	MVS		NTP	
	SOLOS		SOLOS	
	LE	PVA	LE	PVA
1. U <sub>0</sub> + PK Testemunha	3,29	4,09	84,33	86,49
2. U <sub>100</sub> + PK Sólido misturado	3,82	5,48	130,02	189,11
3. U <sub>100</sub> + PK Líquido em camadas	4,41	5,38	153,67	170,18
4. U <sub>100</sub> + PK Líquido na superfície	3,87	5,49	140,81	171,40
5. U <sub>100</sub> + PK Líquido parcelado	4,27	5,28	147,35	149,81
dms 5%	0,57	0,68	15,17	11,03
CV	5,45	4,95	4,30	2,68
F	**	**	**	**

do esta muito maior que o tratamento PK. O modo de colocação, sólido misturado, foi ligeiramente superior à testemunha, e menor que a localização líquido na superfície.

No solo Podzolizado, todos os modos de localização do adubo não tiveram diferença. Apresentam produções do material vegetal seco muito maiores que a testemunha. Os resultados obtidos neste solo estão em concordância com FAO/IAEA (1970), ALEKSIC et alii (1968), que obtiveram resposta à adubação nitrogenada em comparação à testemunha mas não encontraram diferenças significativas entre outros modos de aplicação.

#### 4.2.2. Nitrogênio total na planta

No solo Latossol, as quantidades de nitrogênio absorvido foram maiores quando aplicou-se este elemento em forma líquida, principalmente no modo de aplicação líquido em camadas, cujo valor foi de 153,67 mg.

A aplicação do nitrogênio, sólido misturado, mostrou menor absorção de nitrogênio total pela planta quando comparado com a aplicação na forma líquida; não entando superou significativamente o tratamento PK.

Para o solo Podzolizado, a maior absorção de nitrogênio total foi obtida com o modo de aplicação sólido misturado (189,11 mg). As aplicações líquidas tiveram comportamento diferente, sendo melhores as em camadas e em superfície quando comparadas com as aplicações parceladas. De fato é difícil explicar a baixa quantidade de nitrogênio neste trata-

mento; não houve perda por volatilização como mostram os dados do tratamento 5 (U<sub>100</sub> + PK líquido na superfície), mas possivelmente esta diminuição na absorção de nitrogênio se deve a que neste tratamento obteve-se menor quantidade do material vegetal seco (5,28 g) que no tratamento líquido na superfície (5,49 g). Esta variação pode ser aduzida a um comportamento individual diferente entre plantas.

#### 4.2.3. Porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%NPPF)

Os dados obtidos quando a %NPPF, QNPPF, EUFN e valor "A<sub>N</sub>" para os dois solos estão contidos na Tabela 8.

A análise estatística foi realizada com os valores arc sen  $\sqrt{\%}$  (PIMENTEL GOMES, 1968).

No Latossolo, não houve diferenças significativas entre os modos de aplicação do adubo nitrogenado, devido a que o nitrogênio é muito dinâmico no solo e que as raízes das plantas de arroz, exploraram quase todo o volume do solo no vaso. Além disso as plantas de arroz puderam absorver uma boa parte de nitrogênio nativo, posto que este solo tem um conteúdo alto de nitrogênio (Ver Quadro 1).

No solo Podzolizado, os modos de aplicação, sólido misturado e líquido em camadas, superaram significativamente aos modos líquido na superfície e líquido parcelado. Resultados similares foram relatados por KOYAMA et alii (1973) que

Tabela 8. Porcentagens e quantidades do nitrogênio na planta proveniente do fertilizante, eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado e valor "A<sub>N</sub>" nos solos LE e PVA

TRATAMENTOS	%NPPF		QNPPF		EUFN		VALOR "A <sub>N</sub> "					
	L.E.	P.V.A.	L.E.	P.V.A.	L.E.	P.V.A.	L.E.	P.V.A.				
	% arc sen√%		% arc sen√%		% arc sen√%		% arc sen√%					
----- SOLOS -----												
2. U100+PK Sólido mistur.	32,84	35,27	37,06	37,79	42,71	70,07	35,59	36,92	58,39	50,12	81,81	67,94
3. U100+PK Líquido em cam.	34,25	36,12	36,92	37,71	52,66	62,85	43,88	41,77	52,37	46,65	76,99	68,34
4. U100+PK Líquido na sup.	33,52	35,68	35,09	36,63	47,17	60,15	39,32	39,12	50,12	45,35	79,38	73,98
5. U100+PK Líquido parc.	34,21	36,09	35,69	36,98	50,35	53,46	41,96	40,66	44,45	42,10	77,25	72,07
dms 5%	2,43	0,54	6,79	4,41	3,28	2,18	14,21	2,67				
CV	2,60	0,55	5,38	2,73	3,17	1,82	6,89	1,45				
F	NS	**	**	**	**	**	NS	**	**	**	NS	**

aconselham que o fertilizante nitrogenado devesse ser misturado com o solo ou colocado em camadas.

#### 4.2.4. Quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (QNPPF)

Como pode-se observar na Tabela 8, no Latossolo, o modo de aplicação, **líquido em camadas**, produziu uma maior quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (52,66 mg). Neste tratamento, obtiveram-se também as máximas produções do MVS e as maiores %NPPF. Pode-se verificar também que este modo de aplicação, é ligeiramente superior aos outros modos de aplicação em forma líquida (**superfície e parcelado**). Poderia-se indicar então, que este tratamento facilitou a absorção de nitrogênio pelas plantas de arroz, devido possivelmente a uma melhor distribuição deste elemento em torno do sistema radicular. Os tratamentos 3 e 5 em forma **líquida**, superam significativamente ao modo de aplicação **sólido misturado**.

No solo Podzolizado, a maior quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante foi obtida com o modo de aplicação **sólido misturado** (70,07 mg), diferenciando-se significativamente dos modos de aplicação líquida. Aliás, para aquele modo de aplicação foram também os máximos valores para produção do MVS (5,48 g), quantidade de nitrogênio total (189,11 mg) e %NPPF (37,06%).

As aplicações líquidas, contrariamente ao que aconteceu no solo Latossol; apresentam as menores QNPPF, devido a que diminuiu também a %NPPF como também a quantidade de nitrogênio total absorvido. Estas quantidades foram menores no tratamento líquido parcelado, o qual possivelmente se deva a que apresentou menor MVS e menor quantidade de nitrogênio total.

#### 4.2.5. Eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN)

A análise estatística foi realizada com os valores  $\text{arc sen } \sqrt{\%}$  (PIMENTEL GOMES, 1968).

Para o Latossolo a maior EUFN foi obtida quando utilizou-se o modo de aplicação líquido em camadas (43,88%) o qual diferiu do tratamento sólido misturado cuja EUFN foi 35,59%. Como foi mencionado no ítem 4.1.4. do primeiro experimento, a maior QNPPF, correspondeu a maior EUFN.

No solo Podzolizado, nota-se que a maior EUFN foi obtida com o modo de aplicação sólido misturado (58,39%) o qual diferiu dos modos de aplicação em forma líquida (em camadas, na superfície e parcelado). O modo de colocação líquido parcelado, foi o que deu a menor EUFN (44,45%).

#### 4.2.6. Valor "A<sub>N</sub>"

No Latossolo não existe diferença significati-

va entre os valores " $A_N$ " e os diferentes modos de aplicação, enquanto que no Podzolizado estas diferenças existem nos tratamentos 2 e 3, quando comparados com os tratamentos 4 e 5. De acordo com a técnica recomendada na determinação do valor "A", o fertilizante padrão deve ser aplicado na forma sólida e granulada e misturada com o solo. Neste segundo experimento, o valor " $A_N$ " obtido desta maneira é representado pelo tratamento 2. O uso do fertilizante padrão, na forma líquida, corresponde ao valor "L". Como pode-se verificar pelos dados do valor " $A_N$ " no Latossolo, esse acerto não pode ser sustentado. É de se supor que devido à solubilidade e movimentação dos adubos nitrogenados a aplicação do fertilizante padrão em forma sólida ou líquida daria valores " $A_N$ " iguais. Porém, no Podzolizado tal fato não ocorreu, o que demonstra que o valor "A" varia com tipos de solos e modos de aplicação. No restante cabem aqui as mesmas observações feitas a respeito do valor " $A_N$ " do primeiro experimento. Além disso, segundo BROADBENT (1970) a forma nítrica é mais facilmente assimilável do que a amoniacal, pois esta é facilmente fixada pelas argilas do solo, o que poderia influir no valor "A".

## 5. CONCLUSÕES

Pelo presente trabalho, podemos apresentar as seguintes conclusões:

- 1 - Há um comportamento diferente entre os solos utilizados, com respeito a produção do material vegetal seco (MVS), nitrogênio total na planta (NTP), porcentagem de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (%NPPF), quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (QNPPF), eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado (EUFN) e valor " $A_N$ ".
- 2 - A produção de MVS no Latossolo, que é mais deficiente em fósforo, aumenta com as doses crescentes de nitrogênio e fósforo, com a uréia e o sulfato de amônio, enquanto que no Podzolizado há um efeito depressivo na produção de MVS, com aplicação de 550 kg/ha de P.

- 3 - Quanto aos modos de aplicação, os valores de MVS são similares para os dois solos.
- 4 - A quantidade de nitrogênio total na planta, aumenta com os níveis de fósforo e com as doses de nitrogênio para ambas as fontes em ambos os solos.
- 5 - A maior %NPPF no Latossolo, obteve-se com o nível de 55 kg/ha de P e 100 kg/ha de N, para ambas as fontes, enquanto que no Podzolizado, as maiores %NPPF foram obtidas com as doses de 100 kg/ha de N quando não se adicionou fósforo, para ambas as fontes.
- 6 - A maior QNPPF nos dois solos foi obtida com aplicação da maior dose de nitrogênio para ambas as fontes e com os níveis de 55 kg/ha de P para o PVA, e 550 kg/ha de P para o LE.
- 7 - A EUFN aumentou com os níveis crescentes de N e P, obtendo-se o máximo valor de 52,05% com a uréia e 42,89% com o sulfato de amônio no solo Podzolizado. Para o Latossolo, os maiores valores foram 49,9% com a uréia e 35,9% com o sulfato de amônio.
- 8 - O modo de aplicação da uréia sólido misturado, acusou a maior EUFN no Podzolizado (58%). No Latossolo, a maior EUFN foi obtida com o modo de aplicação líquido em camadas (43,88%).
- 9 - Os valores " $A_N$ " foram constantes na maioria dos tratamentos dentro das fontes e dentro dos solos. Estudos mais apurados devem ser feitos a respeito da técnica a ser utilizada e da interpretação a ser dada a estes valores.

## 6. LITERATURA CITADA

ALEKSIC, Z.; H. BROESHART; V. MIDDLEBOE, 1968. The effect of nitrogen fertilization on the release of soil nitrogen. *Plant and Soil*, The Hague, 29(3): 474-477.

ALLISON, F.E., 1966. The fate of nitrogen applied to soil. *Advances in Agronomy*, New York, 18: 219-258.

ALOISI, R.R.; G. RANZANI; J.L.I. DEMATTÉ; C.C. CERRI, 1975. Mineralogia da fração argila de alguns solos do município de Jaboticabal, S.P. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, Campinas, 457-460.

BREMNER, J.M., 1965, Total nitrogen, In: BLACK, C.A., ed. *Methods of Soil Analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 2: 1149-1176. (Agronomy, 9).

- BREMNER, J.M. e D.R. KEENEY, 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction-distillation methods. Proceedings, Soil Science Society of America, Madison, 30: 577-582.
- BROADBENT, F.E. e D.S. MIKKELSEN, 1968. Influence of placement on uptake of tagged nitrogen by rice. Agronomy Journal, Washington, 60: 674-677.
- BROADBENT, F.E. e T. NAKASHIMA, 1968. Plant uptake and residual value of six tagged nitrogen fertilizers. Proceedings. Soil Science Society of America, Madison, 32: 388-392.
- BROADBENT, F.E., 1970. Variables affecting "A" values as a measure of soil nitrogen availability. Soil Science, New Brunswick, 110(1): 19-23
- BROADBENT, F.E. e O.C. REYES, 1971. Uptake of soil fertilizer nitrogen by rice in some Philippine soils. Soil Science, New Brunswick, 112(1): 200-205.
- BROESHART, H., 1971. The fate of nitrogen fertilizer in flooded rice soils. In: Proceedings of the Meeting on Recent Developments in the Use of Nitrogen-15 in Soil - Plant Studies, Sofia, 1969. Nitrogen-15 in soil-plant studies. Vienna, IAEA, p.47-54.

- CATANI, R.E.; J.R. GALLO; H. GARGANTINI, 1955. Amostragem do solo, métodos de análises, interpretação e indicações para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo, 29p. (Boletim 69).
- COPE, F. e I.G. HUNTER, 1968. Interactions between nitrogen and phosphate in agriculture. Postępow Nauk Rolniczych, Warszawa, 84: 37-66.
- CRASWELL, E.T. e S.K. DE DATTA, 1980. Recent developments in research on nitrogen fertilizers for rice. Manila, International Rice Research Institute. 11p. (IRRI Research Paper Series, 49).
- CRASWELL, E.T. e P.L.G. VLEK, 1979. Fate of fertilizer nitrogen applied to wetland rice. In: Symposium on Nitrogen and Rice, Manila, 1979. Nitrogen and rice. Manila, IRRI, p.175-192.
- FAO/IAEA, 1970. Rice fertilization. Vienna, IAEA. p.44 - 95. (Technical reports series, 108).
- FAO/IAEA, 1978. Isotope studies on rice fertilization. Vienna. 134p. (Technical reports series, 181).
- FOCHT, D.D. e L.H. STOLZY, 1978. Long - term denitrification studies in soils fertilized with  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Journal Soil Science Society of America, 42(6): 894-898.

- FRIED, M. e L.A. DEAN, 1952. A concept concerning the measurement of available soil nutrients. *Soil Science*, New Brunswick, **73**: 263-271.
- FRIED, M. e H. BROESHART, 1967. Determination of soil nutrient supply. In: FRIED, M. e H. BROESHART. *The soil plant system in relation to inorganic nutrition*. New York, Academic Press. Cap. 6, p.150-219.
- GRUNES, D.E., 1959. Effect of nitrogen on the availability of soil and fertilizer phosphorus to plants. *Advances in Agronomy*, New York, **11**: 369-396.
- HUNTER, A.S. e D.L. CARTER, 1965. Studies of methods for measuring forms of available soil nitrogen. *Soil Science*, New Brunswick, **100**(2): 112-117.
- HAUCK, R.D. e J.R. BREMNER, 1976. Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen research. *Advances in Agronomy*, New York, **28**: 219-266.
- KHAN, D.H. e M.Z. HAQUE, 1965. Volatilization loss of nitrogen from urea added to some soils of East Pakistan. *Journal of the of Science of Food and Agriculture*, London, **16**: 725-729.

- KANAPATHY, K., 1957. Mineral nutrition of padi. I. Nitrogen and phosphorus uptake of padi grown on an extremely poor lateritic soil, compared with that of dry land crops. *Malayan agricultural Journal*, Kuala Lumpur, 40(2): 110-121.
- KETCHESON, J.W. e M. JAKOVJLJEVIĆ, 1968. Transformation of  $\text{NO}_3$  and  $\text{NH}_4$  in soils. In: Proceedings of the Symposium on the Use of Isotopes and Radiation in Soil Organic-Matter Studies, Vienna. Vienna, IAEA, p.125-130.
- KILMER, V.J. e L.T. ALEXANDER, 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Science*, Baltimore, 68: 15-26.
- KOYAMA, T.; C. CHAMMEK; N. MIAMSRICHAND, 1973. Nitrogen application technology for tropical rice as determined by field experiments using  $^{15}\text{N}$  tracer technique. *Technical Bulletin. Tropical Agriculture Research Center, Tokyo*, (3): 1-79.
- LEGG, J.O. e F.E. ALLISON, 1959. Recovery of  $^{15}\text{N}$ -tagged nitrogen from ammonium-fixing soils. Proceedings. *Soil Science Society of America*, Madison, 23(2): 31-134.
- LEGG, J.O. e G. STANFORD, 1967. Utilization of soil and fertilizer nitrogen by oats in relation to the available nitrogen status of Soils. Proceedings. *Soil Science Society of America*, Madison, 31: 215-219.

- MAC VICAR, R.; W.L. GARMAN; R. WALL, 1951. Studies on N fertilizer utilization using  $^{15}\text{N}$ . Proceedings. Soil Science of America, Madison, 15: 265-268.
- MANGUIAT, I.J. e F.E. BROADBENT, 1977. Recoveries of tagged N ( $^{15}\text{N}$ -labelled) under some management practices for lowland rice. Phillipine Agriculturist, Los Baños, 60(9-10): 367-377.
- MEDINA, H.P., 1972. Classificação textural. In: MONIZ, A.C., coord., Elementos de Pedologia. São Paulo, Ed. USP, Polígono, p.21-28.
- MERZARY, A.H. e H. BROESHART, 1968. The utilization by rice of N from ammonium fertilizers as affected by fertilizer placement and microbiological activity. In: IAEA Isotope Studies of the N chain. Vienna, p.79-87.
- MURAYAMA, N., 1979. The importance of nitrogen for rice production. In: Symposium on Nitrogen and Rice, Manila, 1979. Nitrogen and Rice, Manila, IRRI. p.25-43.
- MURTY, K.S., 1974. Note on the effect of depth placement of N on the N uptake by rice. Indian Journal of Agricultural Science, Delhi, 44(9): 617-618.

- NAGARAJAH, S.; M.M.M. JAUFFER; S.M. WILLENBERG, 1975. Timing of nitrogen application - its effect on nitrogen utilization and protein content of rice. **Plant and Soil**. The Hague, **42**: 349-358.
- NEPTUNE, A.M.L., 1966. Estudos sobre adubação e diagnose foliar do milho (*Zea mays* L.). Tese de concurso aprovada para provimento efetivo do cargo de Professor Catedrático da cadeira nº 2, Química Agrícola, ESALQ, USP, p.166 (mimeografado).
- NEPTUNE, A.M.L.; E.A. DE SOUZA; A. PASQUAL e L.C. BASSO, 1970. Efeitos recíprocos de fontes de nitrogênio e de fósforo na absorção de doses desses dois nutrientes pelo milho (*Zea mays* L.). In: I Simpósio Brasileiro de Radioisótopos, Rio de Janeiro, p.30.
- NEPTUNE, A.M.L. e T. MURAOKA, 1978. Uso de isótopos em química e fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, **2**(3): 151-163.
- OLSON, R.A., 1979. Isotope studies on soil and fertilizer nitrogen. In: Proceedings of a Symposium on Isotopes and Radiation in Research on Soil-Plant Relationships, Colombo, 1978. Vienna, IAEA, p.3-32.
- PATNAIK, S. e F.E. BROADBENT, 1967. Utilization of trace nitrogen by rice in relation to time of application. **Agronomy Journal**, Washington, **59**: 287-288.

- PATNAIK, S. e M.V. RAO, 1979. Sources of nitrogen for rice production. In: Symposium on Nitrogen and Rice, Manila, 1979, **Nitrogen and rice**. Manila, IRRI. p.25-43
- PATRICK, J.W.H.; R.D. DELAUNE; F.J. PETERSON, 1974. Nitrogen utilization by rice using  $^{15}\text{N}$ -depleted ammonium sulphate. **Agronomy Journal**, Washington, 66: 819-820.
- PRASAD, R. e S.K. DE DATTA, 1979. Increasing fertilizer nitrogen efficiency in wetland rice. In: Symposium on Nitrogen and Rice, Manila, 1979. **Nitrogen and rice**. Manila, IRRI, p.465-484.
- RAMOS, M., 1973. Efeitos do nitrogênio e fósforo sobre características agronômicas da variedade do trigo IAS 54 e suas relações com a produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronômica**, Rio de Janeiro, 8(6): 213-216
- REDDY, K.R. e W.H. PATRICK JR., 1976. Yield and N utilization by rice as affected by method and time of application of labelled N. **Agronomy Journal**, Washington, 68: 965-969.
- ROY, R.N. e J.S. KANWAR, 1979. Importance of phosphorus in balanced fertilization in India. **Phosphorus in Agriculture**, London, 33(76): 97-120.

- SAHARAWAT, K.L., 1980. Nitrogen supplying ability of some Philippine rice soils. *Plant and Soil*, The Hague, 55, 181-187.
- SAITO, S.M.T. e A.M.L. NEPTUNE, 1977. Efeito da matéria orgânica e de um inibidor da nitrificação na absorção de  $^{15}\text{NH}_4$  e  $^{15}\text{NO}_3$  pelo milho. Piracicaba, CENA. 150p. (Boletim científico, 44).
- SARRUGE, J.R. e H.P. HAAG, 1974. Análise química em plantas. *Anais Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 33: 721-750.
- SMITH, C.J. e J.O. LEGG, 1971. Reflections on the A value concept of soil nutrient availability. *Soil Science*, New Brunswick, 112(5): 373-375.
- SMITH, C.J. e P.M. CHALK, 1980. Comparison of the efficiency of urea, aqueous ammonia and ammonium sulphate as nitrogen fertilizers. *Plant and Soil*. The Hague, 55(2): 333-337.
- SPRATI, E.D. e D.A. RENNIE, 1962. Factors affecting and the significance of "A" values using band placement. In: *radioisotopes in Soil-Plant Nutrition Studies*. Vienna. IAEA, p.329-342.

STAROSTKA, R.W. e W.L. HILL, 1955. Influence of soluble salts on the solubility of and plant response to dicalcium phosphate. Proceedings of **Soil Science Society of America**, Madison, **19**: 193-198.

STEPHEN, R.C. e J.S. WAID, 1963. Pot experiments on urea as a fertilizer. I. A comparison of responses by various plants. **Plant and Soil**, The Hague, **18(3)**: 309-316.

TRIVELIN, P.C.O.; E. SALATI; E. MATSUI, 1973. Preparo de amostras para análise de  $^{15}\text{N}$  por espectrometria de massa. CENA. Piracicaba, 41p. (Boletim técnico, 2).