

MOIZÉS DE SOUSA REIS

**RESPOSTA DE CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) IRRIGADO
POR INUNDAÇÃO À ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de "Doutor".

Orientador:

Augusto Ferreira de Souza

**Lavras
Minas Gerais - Brasil
1997**

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação
da Biblioteca Central da UFLA

Reis, Moizés de Sousa

Resposta de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por
inundação à adubação nitrogenada / Moizés de Sousa Reis.

-- Lavras : UFLA, 1997. 102 p. : il.

Orientador: Augusto Ferreira de Souza.

Tese (Doutorado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Arroz irrigado. 2. Inundação. 3. Adubação nitrogenada.
 4. Cultivar. 5. Solo. 6. Irrigação por inundação. 7. Arroz.
- I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.1887

MOIZÉS DE SOUSA REIS

**RESPOSTA DE CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) IRRIGADO
POR INUNDAÇÃO À ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de "Doutor".

APROVADA EM 28/02/97



Prof. Dr. Antônio Alves Soares



Pesqª. Drª. Miralda Bueno de Paula



Profª. Drª. Janice Guedes de Carvalho



Pesq. Dr. Francisco Dias Nogueira



**Prof. Dr. Augusto Ferreira de Souza
(Orientador)**

DEDICO

**Aos meus pais,
pelo exemplo de vida, humildade, coragem;
pelo sacrifício e amor em prol da minha felicidade.**

**À minha esposa, Celma, e as minhas
filhas, Livia e Ana Alice, pelo amor,
carinho, dedicação e
compreensão, a mim
dispensado.**

AGRADECIMENTOS

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais e a Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Professor Augusto Ferreira de Souza, pela orientação e boa convivência.

Ao Professor Antônio Alves Soares pela amizade e apoio no decorrer do Curso.

Aos Professores Fabiano Ribeiro do Vale e Janice Guedes de Carvalho e aos Pesquisadores Francisco Dias Nogueira e Miralda Bueno de Paula, pelas sugestões apresentadas.

Às secretárias Josélia Bueno de Oliveira e Rozane Aparecida da Silva pelo trabalho de digitação e confecção de gráficos.

Aos técnicos Delanne Ribeiro e Janir Guedes de Carvalho pelas análises de laboratório e ao Sr. Waldemar Menezes de Oliveira Filho pela condução do experimento.

E, a todas as pessoas que no decorrer do Curso de Doutorado, de alguma maneira, me apoiaram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
Lista de tabelas	viii
Lista de figuras	x
Resumo	xii
Abstract	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1. Solos de Várzea	5
2.2. Nitrogênio no solo	6
2.2.1. Eficiência de utilização do Nitrogênio no solo.....	6
2.2.2. Perdas de Nitrogênio no solo	8
2.2.3. Fontes de Nitrogênio	10
2.3. Nitrogênio na planta de arroz	12
2.3.1. Funções do Nitrogênio	12
2.3.2. Absorção de Nitrogênio	14
2.3.3. Concentração de Nitrogênio	17
2.4. Fatores que afetam a utilização de Nitrogênio.....	20
2.4.1. Cultivar	20
2.4.2. Doses de Nitrogênio	28
2.4.3. Fontes de Nitrogênio	31
2.4.4. Época de aplicação de Nitrogênio	33
2.4.5. Modo de aplicação de Nitrogênio	36
2.4.6. Condições climáticas	36
2.4.7. Outros fatores	40
2.5. Influência do Nitrogênio sobre o rendimento de grãos e componentes da produção.....	43

3. MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1. Caracterização do experimento	49
3.2. Cultivares utilizadas e suas características	51
3.3. Parâmetros avaliados	52
3.3.1. Altura das plantas	52
3.3.2. Número de panículas/vaso.....	52
3.3.3. Número total de grãos/panícula	53
3.3.4. Número de grãos cheios/panícula	53
3.3.5. Percentagem de grãos cheios/panícula	53
3.3.6. Peso de 100 grãos	53
3.3.7. Rendimento de grãos (g/vaso)	53
3.3.8. Matéria seca da palha e dos grãos	53
3.3.9. Matéria seca da parte aérea	53
3.3.10. Índice de colheita	53
3.3.11. Relação grãos/palha	53
3.3.12. Teor de Nitrogênio na palha e nos grãos	53
3.3.13. Quantidade de Nitrogênio na palha e nos grãos	54
3.3.14. Quantidade de Nitrogênio na parte aérea	54
3.3.15. Eficiência de utilização de Nitrogênio	54
3.3.16. Exportação de nitrogênio	54
3.3.17. Extração de nitrogênio	54
3.4. Análise estatística dos dados	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1. Efeito do Nitrogênio sobre os componentes da produção	56
4.1.1. Número de panículas/vaso	56
4.1.2. Número de grãos/panícula	58
4.1.3. Percentagem de grãos cheios	62
4.1.4. Peso de 100 grãos	65
4.2. Influência do Nitrogênio sobre o rendimento de grãos	67
4.3. Efeito do Nitrogênio sobre outros parâmetros	70
4.3.1. Altura das plantas	70

4.3.2. Matéria seca	72
4.3.3. Índice de colheita	78
4.3.4. Relação grãos/palha	79
4.4. Teor de Nitrogênio na planta	80
4.5. Quantidade de Nitrogênio na planta	85
4.6. Eficiência de utilização de Nitrogênio	92
5. CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Quantidades e fontes dos elementos aplicados para a correção do solo.....	50
Tabela 2 - Resultado da análise química e física do solo utilizado no experimento, antes da correção do solo (calagem e adubação).....	51
Tabela 3 - Resultado da análise química do solo utilizado no experimento, após a correção do solo (calagem e adubação).....	51
Tabela 4 - Número de panículas/vaso de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	57
Tabela 5 - Número total de grãos/panícula de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	60
Tabela 6 - Número de grãos cheios/panícula de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	61
Tabela 7 - Percentagem de grãos cheios de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	64
Tabela 8 - Peso de 100 grãos (g) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	66
Tabela 9 - Rendimento de grãos (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	69
Tabela 10 - Altura de plantas (cm) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	71
Tabela 11 - Peso de matéria seca dos grãos (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	75
Tabela 12 - Peso de matéria seca da palha (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	75
Tabela 13 - Peso de matéria seca da parte aérea (g/vaso) de três cultivares de	

	arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	76
Tabela 14 -	Índice de colheita de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	79
Tabela 15 -	Relação grãos/palha de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	80
Tabela 16 -	Teor médio de nitrogênio na palha de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	83
Tabela 17 -	Teor médio de nitrogênio nos grãos de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	83
Tabela 18 -	Quantidade média de nitrogênio (mg) na palha de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	88
Tabela 19 -	Quantidade média de nitrogênio (mg) nos grãos de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	89
Tabela 20 -	Quantidade média de nitrogênio (mg) na parte aérea (palha + grãos) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	89
Tabela 21 -	Porcentagem de nitrogênio exportado pelos grãos em relação ao contido na parte aérea de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	90
Tabela 22 -	Eficiência de utilização de nitrogênio de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio.....	93

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Número de panículas/vaso de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio.....	58
FIGURA 2 - Número de grãos/panícula de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio.....	61
FIGURA 3 - Número de grãos cheios/panícula de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio.....	62
FIGURA 4 - Percentagem de grãos cheios de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio.....	64
FIGURA 5 - Peso de 100 grãos (g) de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio.....	67
FIGURA 6 - Rendimento de grãos (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio.....	70
FIGURA 7 - Altura média de plantas (cm) de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio.....	72
FIGURA 8 - Peso de matéria seca dos grãos (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio.....	76
FIGURA 9 - Peso de matéria seca da palha (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio.....	77
FIGURA 10 - Peso de matéria seca da parte aérea (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio.....	77
FIGURA 11 - Teor de nitrogênio na palha de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio.....	84
FIGURA 12 - Teor de nitrogênio nos grãos de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio.....	84

- FIGURA 13 - Quantidade média de nitrogênio (mg) na palha de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio..... 90**
- FIGURA 14 - Quantidade média de nitrogênio (mg) nos grãos de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio..... 91**
- FIGURA 15 - Quantidade de nitrogênio (mg) na parte aérea de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio..... 91**

RESUMO

REIS, Moizés de Sousa. **Resposta de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado por inundação à adubação nitrogenada.** Lavras, UFLA, 1997. 102p. (Tese-Doutorado em Fitotecnia).*

O presente trabalho foi realizado em Casa de Vegetação, no Departamento de Ciência do solo, da Universidade Federal de Lavras, no ano agrícola 1994/95. O objetivo foi avaliar a resposta de três cultivares de arroz irrigado (Inca, Capivari e Sapucaí) recomendadas para o estado de Minas Gerais, às diferentes dosagens de nitrogênio, quanto ao rendimento de grãos e componentes da produção, bem como da concentração de nitrogênio na planta e sua eficiência de utilização. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 3 com 4 repetições. Os fatores constituíram-se das três cultivares de arroz irrigado (Capivari, Inca e Sapucaí) e de cinco doses de nitrogênio (0, 100, 200, 400 e 800 mg de N/kg de solo). O nitrogênio foi aplicado na forma de uréia, em três parcelas; 10, 30 e 50 dias após a emergência, nas proporções de 30%, 30% e 40% da dose total, respectivamente. Os resultados obtidos mostraram que as cultivares responderam significativamente (Tukey - 0,05) e de modo diferencial à aplicação das diferentes dosagens de nitrogênio, para o rendimento de grãos. A maior resposta à aplicação de nitrogênio foi da cultivar Capivari que respondeu até o limite máximo aplicado (800 mg de N/kg de solo), enquanto a menor resposta foi da cultivar Sapucaí que atingiu o

*Orientador: Augusto Ferreira de Souza. Membros da Banca: Antônio Alves Soares, Janice Guedes de Carvalho, Francisco Dias Nogueira, Miralda Bueno de Paula.

máximo rendimento de grãos com dose inferior de nitrogênio (584 mg de N/kg de solo). A cultivar Inca apresentou resposta intermediária entre as cultivares Capivari e Sapucaí. Com relação aos componentes da produção, observou-se que o número de panículas/vaso e o número de grãos/panícula aumentaram, com as maiores doses de nitrogênio, em todas as cultivares estudadas. O rendimento de grãos foi altamente correlacionado com o número de panículas/vaso ($r = 0,99^{**}$) e com o número de grãos/panícula ($r = 0,94^{**}$). A percentagem de grãos cheios e o peso de 100 grãos decresceram com o incremento das doses de nitrogênio, para todas as cultivares, exceto para peso de 100 grãos da Capivari. Quanto à eficiência de utilização de nitrogênio, verificou-se uma redução, à medida que se aumentaram as doses, em todas as cultivares, apesar do aumento do teor nas plantas. A concentração de nitrogênio foi maior na Sapucaí, mas esta cultivar produziu menos matéria seca e foi a menos produtiva das cultivares estudadas, indicando ser menos eficiente na utilização do mesmo. Os resultados obtidos permitem concluir que a cultivar Sapucaí foi menos eficiente na absorção e utilização de nitrogênio, enquanto a Capivari foi a mais eficiente no aproveitamento desse elemento.

ABSTRACT

Nitrogen fertilization response of three irrigated rice (*Oryza sativa* L.) cultivars.

One greenhouse study was conducted at Soil Science Department from Federal University of Lavras in 1994/95, to evaluate for three recommended to Minas Gerais state irrigated rice cultivar (Inca, Capivari, and Sapucaí) the response at different nitrogen rates as grain yield, yield components, as well plant nitrogen concentration and nitrogen use efficiency. One completely randomized experimental design was used in 5 x 3 factorial arrangement, with four replications, with three rice cultivars (Capivari, Inca and Sapucaí) five nitrogen (0, 100, 200, 400 and 800 mg of N/kg of soil) rates as factors. Nitrogen at 30, 30 and 40% of the total nitrogen rate was applied in three times, 10, 30 and 50 days after emerging, respectively. There was significantly and differentially grain yield. The greater nitrogen application response was given by Capivari cultivar up to higher rate applied (800 N kg/ha) and the lower response was given by Sapucaí cultivar producing maximum action; the greater nitrogen response was obtained by Capivari responding to the maximum nitrogen rate applied and low cultivar response was obtained by Sapucaí cultivar, reaching maximum grain yield with the lower nitrogen rate (584 N mg/kg of soil). The Inca cultivar gave intermediary response, between Capivari and Sapucaí cultivars. Grain yield was highly

correlated to panicles number per pot ($r=0.99$) and grain number/panicles ($r=0.94$) Filled grain percent and hundred grain weight decreased as the nitrogen rates increased in all rice cultivars exception is made to hundred grain weight of the Capivari cultivar. Although the nitrogen rate increase there was a reduced use efficiency with the increased nitrogen rate in all rice cultivars. The nitrogen concentration was higher in Sapucaí cultivar, but this cultivar produced low dry matter and presented lower yield than the other cultivars, suggesting this cultivar is low use N efficiency. The obtained results indicate that Sapucaí cultivar was less efficient in absorption, and nitrogen use, while the Capivari cultivar was the more N efficient.

1. INTRODUÇÃO

O arroz constitui-se em alimento básico da maioria da população brasileira, havendo necessidade de se aumentar a produção tendo em vista a crescente demanda decorrente do aumento populacional. Para solucionar o problema é preciso aumentar a área e, principalmente, a produtividade, através da combinação de fatores tecnológicos e sócio-econômicos. No estado de Minas Gerais, especificamente, a extensão de várzeas irrigáveis e plenamente viáveis para a exploração agrícola é estimada em 1,5 milhões de hectares (RURALMINAS, 1980). Daí a grande potencialidade do estado para a expansão da cultura do arroz irrigado.

A fertilidade do solo é condição importante para se obterem altas produtividades nas várzeas, e os solos aluviais são os melhores. Os solos hidromórficos (Gley Húmico, Gley Pouco Húmico e Orgânicos) raramente proporcionam elevado rendimento de grãos, mesmo que se utilize alta tecnologia. Tem-se observado que, de um modo geral, as melhores produtividades de arroz irrigado em Minas Gerais são obtidas nas regiões do Norte de Minas, Vale do Rio Doce e Zona da Mata, enquanto que as mais baixas são obtidas no Sul de Minas onde predominam os solos hidromórficos e, raras vezes, a produtividade ultrapassa 6 t/ha (Soares, 1988). Além do mais, com o cultivo sucessivo do arroz irrigado nas várzeas, tem-se observado uma queda na produtividade das lavouras e, é bem provável que este problema esteja ligado a desequilíbrios nutricionais e à alelopatia.

Com a utilização de cultivares de alto potencial para rendimento de grãos, espera-se uma redução nos teores de nutrientes do solo devido à exportação relativamente alta após alguns cultivos sucessivos. Esse fato faz com que a fertilidade natural do solo ou mesmo aplicações de pequenas quantidades de fertilizantes não sejam suficientes para manter esses níveis de produtividade por muito tempo, portanto, nessas condições, os nutrientes devem ser repostos ao solo por meio de adubações equilibradas. De maneira geral, mesmo considerando-se que muitas várzeas apresentam um alto potencial de fertilidade natural, este potencial não é inesgotável, o que demanda o uso racional de corretivos e fertilizantes para manter esta fertilidade ou corrigir desequilíbrios nutricionais (Barbosa Filho, 1989).

Sob condições de inundação, ocorrem modificações em uma série de características e propriedades do solo, que afetam as práticas de manejo da fertilidade. Estas modificações são bastante complexas e o seu conhecimento é indispensável quando se tem em mente a maximização do potencial de produção dos solos de várzeas, na cultura do arroz. Quando o solo é inundado, inicia-se uma série de processos físicos, físico-químicos e microbiológicos, que afetam profundamente o crescimento e a absorção dos nutrientes pela cultura do arroz, bem como a disponibilidade e as perdas de nutrientes do solo, especialmente o nitrogênio, que sofre uma série de transformações nessas condições de cultivo.

O nitrogênio é de fundamental importância na cultura do arroz irrigado, pois promove um melhor desenvolvimento da planta, aumentando a produção de palha, o perfilhamento e, conseqüentemente o número de panículas por unidade de área e desempenhando papel importante na formação de órgãos reprodutivos e dos grãos (Brandão, 1974), mas seu aproveitamento somente será eficiente se forem

considerados todos os fatores que lhe condicionam a utilização. Dentre os vários fatores que afetam a sua utilização, tais como: tipo de solo; condições climáticas; manejo da água; práticas culturais; dose, fonte, modo e época de aplicação, merece atenção especial a cultivar utilizada.

O emprego de cultivares com maior eficiência de utilização de nitrogênio constitui, hoje, em um dos fatores mais importantes para reduzir o custo de produção do arroz e, um melhor entendimento das diferenças entre cultivares é importante como base na estratégia de uso de menor quantidade de insumos, sem diminuir os rendimentos. Portanto, pesquisas contínuas são necessárias para determinar as exigências de nitrogênio das novas cultivares e identificar aquelas que são mais eficientes na utilização deste elemento.

Considerando que ainda não existe um método capaz de avaliar satisfatoriamente a disponibilidade de nitrogênio no solo para as plantas, devido a maior parte do nutriente se encontrar sob a forma orgânica e, como a forma nítrica está sujeita a lixiviação, imobilização e denitrificação, não sendo possível traçar uma curva de calibração, torna-se necessário trabalhos de pesquisa para estabelecer curvas de resposta em relação às várias doses de nitrogênio (Barbosa Filho, 1987), bem como avaliar a resposta de diferentes cultivares em cada região de cultivo.

O presente trabalho teve como objetivos principais avaliar o efeito de doses de nitrogênio sobre o rendimento de grãos e componentes da produção, de três cultivares de arroz irrigado (Inca, Capivari e Sapucaí), em um solo Glei Pouco Húmico da região do Sul de Minas, bem como estabelecer relações entre tais doses,

concentração de N nas plantas e sua eficiência de utilização pelas cultivares estudadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Solos de Várzea

Nos solos de várzeas de Minas Gerais predominam as classes dos solos aluviais e solos hidromórficos, sendo os últimos classificados como Gley Pouco Húmico, Gley Húmico e Orgânicos. Esses últimos apresentam um horizonte A escurecido devido à matéria orgânica, o qual repousa sobre camadas acinzentadas, evidenciando a presença de Fe^{++} e condições de baixo potencial de oxi-redução. Normalmente são solos pobres quimicamente, ácidos e de baixa saturação de bases, o que acarreta também fertilidade natural baixa (Naime, 1979).

Em se tratando da fertilidade do solo, Freire e Novais (1980) afirmam que o assunto é bastante complexo, visto a grande variação dos solos de várzeas em termos químicos. Pode-se citar que são encontrados desde solos minerais até orgânicos e para cada situação um estudo particular se faz necessário.

Segundo Barbosa Filho (1989), as quantidades de nutrientes extraídas do solo pela cultura do arroz são bastante elevadas e dessa forma, mesmo os solos mais férteis não podem, por muito tempo, fornecer a quantidade suficiente de nutrientes para atender às exigências do arroz e manter altas produções. Daí a necessidade de suprir o solo adequadamente, através da aplicação de adubos e corretivos.

Com o cultivo sucessivo do arroz irrigado nas várzeas, tem-se observado

uma queda na produtividade das lavouras. Muitas hipóteses são levantadas acerca do assunto, tais como, redução do teor de matéria orgânica, aumento da incidência de pragas e doenças e maior infestação de plantas daninhas. Possivelmente estes fatores sejam apenas agravantes da queda da produtividade, porque mesmo que eles não aconteçam, o rendimento de grãos continua caindo. É bem provável que este problema esteja ligado à ausência de uma adubação equilibrada (Soares, 1988), ou ao que se tem especulado mais recentemente: autotoxicidade/alelopatia.

2.2. Nitrogênio no solo

2.2.1. Eficiência de utilização do Nitrogênio no solo

Diversos trabalhos têm mostrado a necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados para sustentar altos rendimentos de arroz em solos tropicais. Mota (1991) afirma que tal fato é devido, principalmente, à baixa capacidade desses solos em suprir nitrogênio e à baixa eficiência de utilização tanto do nitrogênio presente no solo como do fertilizante aplicado. Segundo Bartholomew (1975), citado por Mota (1991), a baixa eficiência dos fertilizantes nitrogenados em condições tropicais tem sido atribuída ao grande potencial de perdas, sendo a denitrificação e a volatilização da amônia os mecanismos mais importantes. Nessas condições, o aproveitamento do nitrogênio aplicado é da ordem de 30 a 50%. Já Broadbent e Tusneem (1971) encontraram, em casa de vegetação, uma absorção de 56 a 65% do nitrogênio aplicado na cultura do arroz. Para Patrick e Reddy (1976), este valor variou de 49 a 62% e foi igual a 55% para Moore, Gilmour e Wells (1981). Craswell e Vlek (1979) observaram também em

casa de vegetação perdas de 30 a 50% quando o nitrogênio foi aplicado como uréia e de 6 a 14% quando aplicado como sulfato de amônio.

Vlek, Hong e Youngdahl (1979) relatam que a eficiência de absorção do fertilizante nitrogenado numa cultura de arroz variou de 31 a 64%. Reddy e Patrick (1976) afirmam que, no início do ciclo, a planta de arroz utiliza mais o nitrogênio proveniente do fertilizante e no fim do ciclo o absorve mais do solo.

Segundo Fageria (1984), vários experimentos de resposta ao nitrogênio mostram que sua absorção na cultura do arroz dificilmente atinge mais que 30-40%. Utilizando melhor prática agrônômica, em condições controladas, pode-se chegar a 60-65%. Portanto, são necessários estudos detalhados sobre o uso de fertilizantes e manejo da cultura, para minimizar as perdas de nitrogênio e aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados.

O nitrogênio destaca-se dos demais nutrientes por apresentar acentuado dinamismo no sistema solo e por ser, normalmente, o nutriente exigido em maior quantidade pelas culturas. Dado ao seu elevado dinamismo, quando comparado com os demais nutrientes, é muito mais difícil de ser mantido no solo ao alcance das raízes. Portanto, dado ao seu baixo efeito residual e sua grande exigência pelas culturas, a adubação nitrogenada precisa ser feita de forma mais pesada e constante que a dos demais nutrientes (Vale, Guilherme e Guedes, 1994).

Com relação à eficiência de uso do nitrogênio aplicado ao solo, para produção de grãos, Leon e Arregocés (1985) relatam que vários trabalhos mostram que o aumento em rendimento de grãos pode chegar até a 41 kg de arroz para cada kg de nitrogênio, sendo que a média mundial está entre 21 e 24 kg de grãos por unidade de N aplicado.

2.2.2. Perdas de Nitrogênio no solo

Segundo De Datta et al. (1974), citados por Curi, Resende e Santana (1988), além do nitrogênio extraído pela colheita, os processos que conduzem às perdas incluem a lixiviação, a desnitrificação e a volatilização da amônia, sendo a amplitude dessas formas de perdas de 1-70%; 25-90% e 0,5-20%, respectivamente. A lixiviação está altamente relacionada com o movimento de água no solo, sendo que a quantidade de nitrogênio perdida depende da forma e quantidade adicionada ao solo, velocidade de infiltração, manejo da água (inundação permanente ou intermitente) e taxa de remoção de nitrogênio pela cultura. A fonte amoniacal é menos susceptível às perdas por lixiviação, porque o íon NH_4^+ é mais fortemente retido pelo complexo coloidal do solo que o íon NO_3^- .

A desnitrificação é o processo de redução que sofrem os nitratos ao se transformarem em óxidos de nitrogênio e em nitrogênio molecular. Os nitratos são convertidos a nitrito, na camada reduzida do solo, e logo se transformam em gases (N_2O e N_2) que escapam para a atmosfera. A volatilização da amônia refere-se à passagem do amônio (NH_4^+) para amônia (NH_3) quando presente na camada oxidada.

Segundo Park e Shin (1973), citados por Stone (1983), as perdas de nitrogênio através da volatilização, desnitrificação e lixiviação parecem ser a causa principal da baixa eficiência de utilização do adubo nitrogenado pelo arroz, embora mais de 25% do fertilizante nitrogenado pode se tornar indisponível às plantas por imobilização biológica no solo. O arroz pode também perder nitrogênio pelas folhas. Silva e Stutte (1981), também citados por Stone (1983), verificaram que o arroz perdeu 14 a 15 kg/ha de nitrogênio pelas folhas durante um período de 100 dias. O nitrogênio

é perdido na forma volátil junto com os vapores de água na transpiração.

De acordo com Fageria (1984) não é possível determinar as perdas de nitrogênio em condições naturais, pois ainda não existe método apropriado. As perdas de nitrogênio podem ser determinadas indiretamente pelo isótopo ^{15}N . O mesmo autor cita trabalho mostrando que 40% do elemento aplicado é absorvido pela planta de arroz, 20% ficam no solo e nas raízes e os 40% restantes são perdidos.

Nos solos inundados, os processos biológicos de oxi-redução e das reações químicas que as acompanham, afetam o comportamento do nitrogênio. Este, presente no ar e/ou dissolvido na água pode difundir-se até a camada oxidada do solo, onde é fixado por algas verde-azuladas e bactérias, transformando-se em N orgânico (Fornasieri Filho e Fornasieri, 1993). Este nitrogênio presente, bem como o existente nos resíduos culturais sofrem, posteriormente, uma mineralização até transformar-se em NH_4^+ , forma predominantemente utilizada pelas plantas do arroz inundado. Entretanto, boa parte do íon amônio, pode oxidar-se até NO_3^- , e ser absorvido pela planta ou percolar para a zona de redução do solo, onde poderá sofrer denitrificação por ação de microorganismos anaeróbicos.

Machado (1985) afirma que existem tecnologias para diminuir as perdas de nitrogênio no solo e, conseqüentemente, aumentar a sua eficiência sobre o rendimento da cultura do arroz, tais como, o uso de inibidores da nitrificação, fontes de liberação lenta e aplicação em profundidade. Entretanto, não existe no momento, viabilidade prática e econômica para recomendá-las às lavouras, apesar de alguns experimentos conduzidos no Rio Grande do Sul apresentarem resultados positivos na utilização de algumas dessas técnicas.

2.2.3. Fontes de Nitrogênio

A fixação biológica do nitrogênio atmosférico por bactérias e algas, que existem na lâmina d'água, é fonte de enriquecimento do meio, podendo fornecer em torno de 10-20 kg de N/ha por ciclo de cultura e contribuem mais eficientemente quando presentes em associação com azolla (Fornasieri Filho e Fornasieri, 1993).

Em condições naturais, a planta de arroz depende do nitrogênio fornecido principalmente pela matéria orgânica do solo e, em pequena quantidade, através das águas de chuva e de irrigação. Além dessas fontes, acrescenta-se a fixação do nitrogênio atmosférico. Essas fontes naturais são capazes de fornecer 40 a 80 kg de N/ha/ano (Brandão, 1974).

A decomposição parcial da matéria orgânica nos solos alagados resulta no acúmulo de amônio e deve ser considerada nas adubações nitrogenadas em arroz. Ponnampereuma (1965), citado por Gomes (1978), afirma que em solos bem providos de matéria orgânica, pode haver liberação de 300 ppm de amônio, em 30 dias de alagamento, dispensando assim adubações basais em solos ricos em matéria orgânica.

De acordo com Fornasieri Filho e Fornasieri (1993), a disponibilidade de nitrogênio no solo para o arroz irrigado pode ser estimada através do teor de matéria orgânica do solo. Entretanto, resultados de experimentos de campo demonstraram haver baixa relação entre o teor de matéria orgânica do solo e a resposta da cultura à aplicação de fertilizantes nitrogenados, em decorrência da decomposição da matéria orgânica ser resultante da interação de múltiplos fatores (Ponnampereuma, 1972). O emprego do teor de matéria orgânica como critério de avaliação da disponibilidade de nitrogênio às plantas baseia-se na premissa de que a mineralização ocorreria durante

todo o cultivo, numa taxa de 1 a 4%. Desta forma, o sucesso do uso do teor de matéria orgânica vai depender de condições ambientais para uma maior atividade microbiana, principalmente em termos de temperatura, umidade e acidez do solo.

Segundo Machado (1985) e Vahl (1979), experimentos conduzidos no Rio Grande do Sul mostraram uma baixa relação entre o teor de matéria orgânica no solo e a resposta do arroz à aplicação de nitrogênio. Paula et al. (1990), avaliando a fertilidade de um solo de várzea (Gley Húmico) para a cultura do arroz, na região do Sul de Minas, concluíram também que o teor de matéria orgânica não se mostrou como bom indicador da disponibilidade de nitrogênio.

A quase totalidade do nitrogênio presente no solo está na forma orgânica que representa importante reservatório, mas não está diretamente disponível para as plantas. Para sua utilização pelas plantas, é preciso que seja transformado em formas inorgânicas ou minerais, através do processo de mineralização (Vale, Guilherme e Guedes, 1994). O N orgânico tende a acumular-se na forma de NH_4^+ que é estável sob condições de alagamento e pode ser fixado pelos colóides do solo, no entanto, ocorrem perdas por volatilização (NH_3) e também por lixiviação (NH_4^+ e NO_3^-) devido a alta acumulação de amônio e a substituição deste nos sítios de troca pelos íons de Mn^{+2} e de Fe^{+2} . O NH_4^+ pode acumular-se no solo e através do gradiente de concentração, por difusão, chegar à camada oxidada.

O nitrogênio disponível para as plantas é representado pelo N mineral (NH_4^+ e NO_3^-), o qual representa apenas de 1 a 2% do N total do solo (Fageria, 1984). Estas duas formas de N mineral, produzidas a partir da mineralização do N orgânico, são muito dinâmicas e, dessa forma, a disponibilidade de nitrogênio depende dos fatores que afetam a produção de amônio e nitrato no sistema solo.

2.3. Nitrogênio na planta de arroz

2.3.1. Funções do Nitrogênio

O nitrogênio é considerado o elemento com maior capacidade em aumentar a produção de arroz, sendo o fósforo e o potássio considerados como nutrientes que estabilizam a produção em altos níveis (Malavolta, 1979). O nitrogênio promove um melhor desenvolvimento geral da planta de arroz, aumentando a produção de palha e, assim como o fósforo, o número de panículas por unidade de área. Uma grande parte do elemento absorvido desempenha papel importante na formação de órgãos reprodutivos e dos grãos (Brandão, 1974)

Malavolta (1979) afirma que o nitrogênio estimula o crescimento do sistema radicular do arroz, tem um efeito muito forte no perfilhamento, aumenta o número de espiguetas/panícula, bem como a percentagem de proteína nos grãos. Contudo, a resposta do arroz ao nitrogênio varia grandemente entre as cultivares, condições climáticas, manejo de água e propriedades do solo (Fageria e Wilcox, 1977).

De acordo com Barbosa Filho (1987), o nitrogênio participa das moléculas de proteínas, da molécula da clorofila e é constituinte dos ácidos nucléicos. A matéria seca do arroz contém de 2 a 4% de nitrogênio, e este é absorvido principalmente nas formas de NO_3^- e NH_4^+ , as quais sofrem uma série de transformações antes de se converterem em compostos orgânicos.

Murata (1969) cita que o nitrogênio é um dos constituintes mais importantes da proteína, exerce influência marcante sobre sua síntese e sobre o metabolismo dos carboidratos. Segundo Malavolta (1976) a deficiência de nitrogênio na planta provoca

aumento na relação carboidratos solúveis/proteína, diminuição na quantidade de clorofila e alterações nos cloroplastos. Devido à grande diversidade de compostos nitrogenados na planta e ao grande número de funções, a deficiência de nitrogênio provoca inúmeras alterações no metabolismo.

A deficiência de nitrogênio provoca o empalidecimento e estreitamento das folhas novas. As folhas adultas perdem progressivamente a cor verde normal, adquirindo uma tonalidade verde-amarelada em decorrência da elevada mobilidade do nitrogênio no floema, o qual é translocado das folhas velhas para as mais novas. Com a evolução da deficiência ocorrerá uma descoloração intensa nas extremidades das folhas, quase sempre ocasionando necrose. O crescimento é drasticamente reduzido, quase não ocorre emissões de novas folhas e o perfilhamento cessa. Se ocorrer deficiência marcante na fase reprodutiva, ocorrerá atraso na emissão da panícula, que será menor e apresentará grande número de espiguetas estéreis, além de menor peso dos grãos formados. Por outro lado, o nitrogênio em excesso pode ocasionar o acamamento das plantas, esterilidade de espiguetas (reduz viabilidade do pólen), maturação tardia e maior susceptibilidade às doenças, especialmente à brusone (Del Giudice, Freire e Tanaka, 1979).

De acordo com Murata (1969) a aplicação excessiva de nitrogênio, em especial nas cultivares de baixa resposta, pode levar a um crescimento excessivo no índice de área foliar, provocando desequilíbrio no balanço fotossíntese-respiração. Em decorrência haverá pequena acumulação de amido e ocorrerão outros efeitos já citados anteriormente. A maior incidência de doenças é devido às altas concentrações de aminas, aminoácidos e açúcares de baixo peso molecular, que tornam o tecido das plantas susceptível ao desenvolvimento de patógenos.

2.3.2. Absorção de Nitrogênio

O nitrogênio é, entre os macronutrientes, o segundo mais exigido depois do potássio, pela cultura do arroz e o mais exportado como produto colhido. Segundo Fornasieri Filho e Fornasieri (1993), seu consumo inicia-se lentamente a partir da emergência, alcançando intensidade máxima no florescimento, quando a planta já absorveu mais de 75% de que necessita. Depois do florescimento, grande parte do nutriente é translocado para os grãos em desenvolvimento. Perdomo et al. (1985) relatam que o nitrogênio é absorvido rapidamente durante as primeiras etapas do desenvolvimento até o final do período vegetativo, decai ligeiramente durante o estágio de máximo perfilhamento e diferenciação do primórdio floral, voltando a ser absorvido com rapidez até o estágio de grão pastoso. Segundo Murayama (1979), 50-60% do total de nitrogênio na planta é absorvido até o estágio de formação da panícula e aproximadamente 70-80% até o florescimento, sendo 20-30% absorvido na maturação.

De Datta (1981) descreve que o acúmulo de nitrogênio nos órgãos vegetativos é alto durante os estádios precoces de crescimento e decresce nos mais avançados. Após o florescimento, a translocação do nitrogênio dos órgãos vegetativos para os grãos é bastante significativa. O mesmo autor afirma que, para se obter altos rendimentos de arroz é importante a nutrição nitrogenada em quatro estádios de crescimento, ou seja, no perfilhamento, no início do primórdio floral, na divisão reducional da célula mãe do grão de pólen e no florescimento.

A absorção de nitrogênio após o florescimento é de grande importância no aumento do índice de colheita e, conseqüentemente, para altas produções. Durante a

maturação, 70% do nitrogênio absorvido é translocado da palha para os grãos e, portanto, é essencial a manutenção do nível de nitrogênio foliar requerido, devido alta atividade fotossintética (Yoshida, 1981). Experimentos conduzidos no Japão sugerem que a absorção contínua de nitrogênio é importante para a obtenção de altos rendimentos.

Malavolta (1979) relata que depois da formação da panícula, grande parte do nitrogênio, também de outros elementos e de carboidratos são translocados para os grãos que se desenvolvem, os quais, no fim do ciclo, contém cerca de 66% do nitrogênio total da parte aérea. Reddy e Patrick (1978) verificaram que este valor foi igual a 60% em seus experimentos.

Estudando absorção de nutrientes pelo arroz irrigado, Lopes, Volkweiss e Tedesco (1993) observaram que as maiores quantidades absorvidas (palha + grãos) foram de potássio, com 174 kg/ha, seguida de nitrogênio, com 162 kg/ha. A exportação de nitrogênio foi maior, com 101 kg/ha, o que representa 62% do total absorvido pela parte aérea. Observaram-se as seguintes ordens decrescentes de quantidades de nutrientes absorvidos pela parte aérea (palha + grãos) e exportados (grãos em casca): Absorvidos (K > N > P > Mg > Ca > S > Na > Fe > Mn > Zn > Cu); Exportados (N > P > K > Mg > S > Ca > Fe > Mn > Na > Zn > Cu).

A quantidade de nutrientes removidos do solo pelas plantas de arroz é muito variável e depende da quantidade de matéria seca produzida e seu teor nas plantas que, por sua vez, varia segundo a disponibilidade de nutrientes do solo. Perdomo et al. (1985) citam trabalho em que a cultivar CICA 8, em solo com alto teor de matéria orgânica, utiliza os macronutrientes na seguinte seqüência N > K > P, numa proporção entre as quantidades extraídas, pela parte aérea da planta de arroz, de 7:3:1.

Entretanto, esta cultivar, em solos de média fertilidade, se comporta de forma similar às outras cultivares na seqüência $K > N > P$. Perdomo et al. (1985) afirmam ainda que a absorção de nitrogênio varia segundo a cultivar utilizada e a quantidade aplicada. A quantidade de nitrogênio utilizada aumenta à medida que se incrementam as dosagens deste nutriente.

Segundo Gomes (1978) a matéria seca acumulada na panícula provém de reservas de carboidratos translocados das partes verdes da planta ou de produtos fotossintéticos formados após o espigamento. Em condições normais de desenvolvimento, a panícula contém duas vezes mais carboidratos do que os formados na fase vegetativa. Daí a importância do acúmulo de matéria seca, depois do espigamento, para a produção de grãos. De acordo com Murata (1964), citado por Gomes (1978), com a elevação do teor de nitrogênio na planta, aumenta a taxa fotossintética e a produção de matéria seca. Em torno de 80% dos carboidratos são acumulados após o florescimento, portanto, nessa fase a planta deve ter um teor do nutriente suficiente para as necessidades fotossintéticas.

Até o perfilhamento a matéria seca aumenta pouco, passando a intensificar-se a partir daí, de modo quase linear, até o florescimento. Malavolta e Fornasieri Filho (1983) afirmam que a matéria seca dos grãos na cultura do arroz irrigado pode chegar à metade do peso da matéria seca total acumulada. O aumento no peso dos grãos reflete em grande parte a translocação de assimilados (carboidratos) das folhas e dos colmos para os grãos.

Stone (1983) cita diversos trabalhos a nível mundial, relacionando a quantidade de nitrogênio absorvida pela planta de arroz com a produção de grãos. Ajustando os dados desses trabalhos para uma produtividade de 1 t/ha, para fins de

comparação, tem-se que no Vietnam foram retirados do solo 15 a 28 kg de N; nas Filipinas a quantidade extraída foi de 32,5 kg de N; em Taiwan, as quantidades variaram de 18,7 a 24,4 kg de N e nos Estados Unidos, foram retirados do solo 36,8 kg de N. No Brasil, Furlani et al. (1977) encontraram a quantidade de 25,8 kg como um valor médio para três cultivares de arroz estudadas, enquanto Gargantini e Blanco (1965) verificaram que a cultivar Dourado-agulha absorveu 26,7 kg de N para cada tonelada de arroz produzido.

Segundo Yoshida (1981) as exigências nutricionais, em termos de macronutrientes, para se produzir 1 t de arroz nos trópicos são de 18-27 kg de N, 4-5 kg de P, 15-35 kg de K, 3-8 kg de Ca, 3-4 kg de Mg e 1,5-2,5 kg de S. O mesmo autor afirma que a eficiência de uso de nitrogênio nos trópicos é de 50 kg de arroz/kg de N, enquanto no Japão é de 62 kg de arroz/kg de N, sendo, portanto, 20% maior no Japão em relação aos trópicos.

2.3.3. Concentração de Nitrogênio

Ishizuka (1971) menciona que a concentração de nitrogênio na planta é alta para o primeiro estágio de crescimento, decrescendo ligeiramente com o tempo após a translocação e volta a crescer até a diferenciação do primórdio floral, onde novamente decresce até o estágio de enchimento de grãos, quando a concentração permanece quase constante até a completa maturação do grão. A concentração nas folhas e colmos é de 4,1% no transplântio; 3,41% no início do primórdio floral; 2,18% na alongação do colmo; 1,43% no florescimento e 0,74% na maturação completa, enquanto na panícula, tem-se 2,53% durante a alongação do colmo; 1,30% no

florescimento e 1,26% na maturação (Ishizuka, 1964; citado por Fornasieri Filho, 1982).

O conhecimento das concentrações críticas de nitrogênio, em diferentes estádios de crescimento, deve melhorar a eficiência de utilização do mesmo por prevenir escassez ou excesso do elemento. Segundo Brandon et al. (1984), pesquisas indicam que valores de 2,3 a 3,5% de nitrogênio em folhas recém maduras é o exigido para máxima produção de grãos, dependendo do estágio de crescimento da planta. Para Von Uexkull (1976), citado por Aquino (1984), o teor de nitrogênio na folha, para se obter ótima produção de grãos deve ser ao redor de 0,85 e 0,90% na colheita.

Fageria (1976) encontrou em folhas recém-maduras do arroz, no estágio de diferenciação da panícula, como zona de deficiência, < 1,8% de N; crítica, 1,8-2,6% e adequada, 2,6-4,2% de N. Perdomo et al. (1985) afirmam que o nível crítico de nitrogênio para uma alta taxa fotossintética é de 2% de N.

Com relação a concentração de nitrogênio nos grãos, Wallihan, Moomaw e De Datta (1974) encontraram concentrações ótimas de nitrogênio, em diferentes cultivares, variando de 1,8 a 2,5% em condições de campo. Chiu et al. (1963), citados por Stone (1983), observaram teores de nitrogênio nos grãos 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 e Blanco (1965) encontraram, em experimento com vasos, 0,47% na parte aérea e 1,29% nos grãos.

Furlani et al. (1977) afirmam que, por ocasião da maturação, a concentração de nitrogênio é geralmente maior nos grãos. Analisando a composição química inorgânica de plantas de arroz, os mesmos autores verificaram que a concentração 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. De acordo com Perdomo

et al. (1985), o teor de nitrogênio nos grãos aumenta à medida que se aumentam as doses do elemento no solo.

Segundo Mueller, Gomes e Brauner (1984), vários pesquisadores têm feito uso da análise de tecidos visando avaliar o estado nutricional das plantas quanto ao nitrogênio, bem como para estudar níveis, fontes ou épocas de aplicação, marcha de acumulação e exportações através da colheita. Westfall, Flinchum e Stansel (1973) revelam que, de acordo com as mais recentes recomendações, a época de coleta de amostras de tecidos da planta de arroz é o estágio da diferenciação do primórdio floral. Segundo Mueller (1980) as folhas inferiores e os colmos coletados aos 28 dias após a emergência se mostraram como os melhores órgãos para determinação do nível crítico de nitrogênio.

O teor foliar de N determinado aos 30 dias após a germinação parece ser um melhor indicativo da disponibilidade desse nutriente pois foram observadas respostas a adição de N quando a análise mostrou teores abaixo de 3,12%. Como a época de coleta da folha é no início da cultura podem ser feitas aplicações de N em cobertura quando necessárias (Paula et al., 1991).

As informações sobre análise de tecidos ainda são relativamente insuficientes e o assunto é complexo, pois os níveis de compostos nitrogenados influem na distribuição de outros nutrientes na planta de arroz. É preciso que a análise de tecidos seja aperfeiçoada a fim de que se possa ter informações que sirvam como guia ou procedimento mais correto para aplicação de nitrogênio na cultura do arroz (Westfall, Flinchum e Stansel, 1973).

2.4. Fatores que afetam a utilização de nitrogênio

O nitrogênio é o nutriente mais importante na determinação da produção de arroz, mas seu aproveitamento somente será eficiente caso sejam considerados todos os fatores que lhe condicionam a utilização (Matsushima, 1964) citado por Moraes, Freire e Silva, 1975. Segundo Lopes, Lopes e Macedo (1996), a adubação nitrogenada é a que, isoladamente, proporciona maior acréscimo de rendimento de grãos na cultura do arroz irrigado. Entretanto, como os adubos nitrogenados são bastante solúveis no solo, é importante observar uma série de aspectos que interferem no aproveitamento desse elemento e, dessa forma manejá-los adequadamente para reduzir as perdas e aumentar sua eficiência.

De acordo com Barbosa Filho (1989), os adubos adicionados ao solo não são totalmente aproveitados pela planta, ou seja, a eficiência da adubação (capacidade de suprir as plantas com nutrientes) depende de vários fatores, tais como: cultivar, radiação solar, fontes, doses, épocas e modo de aplicação, tipo de solo, práticas culturais, enfim, de todos os fatores que afetam o desenvolvimento da planta.

2.4.1. Cultivar

Segundo Murata (1969), a resposta da cultura do arroz à adubação nitrogenada é variável de região para região e, um dos fatores responsáveis por essa variação é a utilização de cultivares com maior ou menor resposta ao nitrogênio.

As cultivares de arroz têm sido separadas em tradicionais e modernas ou melhoradas. As tradicionais se caracterizam por um porte alto, baixa capacidade de perfilhamento, crescimento vigoroso, colmos fracos e baixa relação grãos/palha,

enquanto as cultivares melhoradas apresentam porte baixo, alta capacidade de perfilhamento, colmos e folhas eretas e alta relação grãos/palha.

Dentre os três componentes de rendimento (número de panículas/área, número de grãos/panícula e peso de 100 grãos), o número de panículas por unidade de área está mais relacionado com o aumento de rendimento nas cultivares de porte baixo. Por outro lado, com as cultivares de porte alto, respostas na produção são relacionadas com o número de panículas por unidade de área e também com o número de grãos/panícula (Sanchez, 1972; citado por Lopes e Abreu, 1988). Estas observações sugerem que as cultivares melhoradas respondem ao uso de nitrogênio principalmente pelo aumento no número de perfilhos, enquanto as cultivares de porte alto respondem em termos de tamanho de panículas. Além disso, as cultivares melhoradas têm mais habilidade para transformar nitrogênio e outros produtos da fotossíntese em grãos, usando uma menor quantidade de palha que as cultivares de porte alto, apesar da acumulação de nitrogênio por ocasião da colheita ser praticamente idêntica nos dois tipos de planta.

Leon e Arregocés (1985), citam trabalho de Sanchez (1972), mostrando diferença de resposta ao nitrogênio entre uma cultivar de porte baixo (IR 8) e uma tradicional de porte alto (Minabir 2). O menor rendimento obtido pela cultivar tradicional é devido aos fatores fisiológicos limitantes como a baixa relação grãos/palha. De acordo com Yoshida (1981), uma maneira utilizada para avaliar a eficiência de cultivares para produção de grãos é o índice de colheita ou relação grãos/palha. O índice de colheita é aproximadamente de 0,3 para cultivares tradicionais e 0,5 para as modernas de porte baixo, enquanto que a relação grãos/palha varia de 0,5 para as cultivares tradicionais até 1,0 para as melhoradas.

De Datta, Tauro e Balaoing (1968) afirmam que dos vários fatores que afetam a resposta da cultura do arroz ao nitrogênio, a arquitetura da planta é de significância particular. Anteriormente, as cultivares japônicas eram tidas como cultivares de alta resposta ao nitrogênio. Hoje, sabe-se que as cultivares com arquitetura de planta melhorada, seja japônica ou indica, respondem aos altos níveis de nitrogênio. A introdução da cultivar IR 8 nos trópicos e sua rápida distribuição mudou por completo as práticas de manejo do nitrogênio. A referida cultivar é de porte baixo, alta capacidade de perfilhamento, colmos e folhas eretas, alta relação grãos/palha e resistente ao acamamento (Sanchez, 1981). Segundo Yoshida (1981) a cultivar IR 8 possui maior índice de colheita que a cultivar tradicional Peta. Esta característica é refletida na distribuição de nutrientes entre grãos e palha.

Comparando cultivares de arroz de sequeiro com a cultivar de arroz irrigado IR 8, Malavolta e Fornasieri Filho (1983) verificaram que a IR 8 apresentou maior proporção de macronutrientes nos grãos. Estudando também diferentes cultivares quanto a eficiência de utilização de nitrogênio, Mueller (1980) constatou que as cultivares BR-IRGA 409 e Bluebelle apresentaram uma concentração de nitrogênio superior à da cultivar EEA-406, nos diversos órgãos e estádios de crescimento.

Trabalho realizado em Minas Gerais por Soares e Moraes (1980), com duas cultivares de arroz em condições irrigadas (Matão e IR 841), mostrou que embora não havendo interação significativa entre níveis de nitrogênio e cultivares, com relação a produção de grãos, houve uma tendência de comportamento diferente das duas cultivares, em relação à adubação nitrogenada. A cultivar tradicional Matão não respondeu à adubação e, com incrementos nos níveis de nitrogênio houve tendência a diminuir a produção. Quanto à cultivar melhorada IR 841, houve uma certa

tendência ao aumento da produção com incrementos nos níveis de nitrogênio, até em torno de 90 kg de N/ha, mantendo-se praticamente o mesmo rendimento até a dosagem de 135 kg/ha, entretanto, houve redução quando foram aplicados 180 kg de N/ha.

Segundo Brandon et al. (1984) as cultivares de arroz podem diferir na quantidade de nitrogênio requerida para atingir a máxima produção. Algumas cultivares requerem pequenas quantidades de nitrogênio devido a serem menos eficientes na utilização de nitrogênio ou devido aos vários fatores como acamamento, incidência de doenças ou outros que limitam a produção.

As cultivares de arroz podem ser subdivididas, quanto a sua capacidade de resposta ao nitrogênio, em responsivas e não responsivas. Geralmente, a capacidade de resposta à elevação da dose de nitrogênio tem sido o fator limitante no aumento da produtividade de muitas cultivares. Um desenvolvimento vegetativo excessivo com risco de acamamento e com elevado auto-sombreamento, que determina um desequilíbrio entre produto fotossintetizado e oxidado na respiração, com evidente redução no amido acumulado nos grãos, tem sido apontado como a principal causa da baixa resposta à adubação nitrogenada. (Del Giudice, Freire e Tanaka, 1979)

Fageria e Barbosa Filho (1982) classificam as cultivares de arroz em quatro grupos quanto a eficiência de utilização de nitrogênio: 1. Cultivares eficientes não responsivas - representa as cultivares que produzem muito em baixo nível de nitrogênio, mas não respondem a níveis altos deste nutriente; 2. Cultivares eficientes e responsivas - representa as cultivares que produzem muito sob condições de baixo nível de nitrogênio e respondem bem à aplicação deste nutriente; 3. Cultivares não eficientes não responsivas - representa as cultivares que produzem pouco sob baixo nível

de nitrogênio, mas apresentam considerável aumento na produção em níveis altos do nutriente, e 4. Cultivares não eficientes não responsivas - representa as cultivares que produzem pouco em baixo ou alto nível de nitrogênio. A utilização de cultivares do grupo 1, que tem melhor capacidade de utilização de nitrogênio, permite estabilizar a produção em solos pobres desse elemento, enquanto as cultivares pertencentes ao grupo 2 são recomendáveis para cultivo sob alta e baixa tecnologia. As cultivares pertencentes ao grupo 3, embora respondam à aplicação de nitrogênio, não alcançam produtividade igual às dos grupos 1 e 2. Os mesmos autores, avaliando 60 cultivares de arroz irrigado, em dois níveis de nitrogênio no campo, selecionaram como mais desejáveis 13 cultivares eficientes não responsivas e 15 cultivares eficientes e responsivas. Trabalhos realizados no IRRI (International Rice Research Institute), citados por Furlani, Bataglia e Azzini (1986), mostram diferenças significativas entre cultivares de arroz quanto à resposta a níveis de nitrogênio no solo, em condições de casa-de-vegetação.

Segundo Murata (1969), a relação fotossíntese/respiração e a habilidade para assimilação de carbono e nitrogênio é maior em cultivares altamente responsivas ao nitrogênio do que naquelas de baixa resposta. Quanto maior a habilidade para assimilação de carbono e maior o número de espiguetas por unidade de área, mais elevada será a relação grãos/palha. Ishizuka (1971) observa que, para se alcançar altas produções, as plantas devem apresentar elevado potencial fotossintético e menor taxa respiratória quando se aplicam altas doses de nitrogênio.

De acordo com Tanaka (1966), citado por Leon e Arregocés (1985), as características varietais relacionadas à resposta ao nitrogênio são as características foliares, a altura da planta e a resistência ao acamamento, a capacidade de

perfilhamento e a duração do ciclo. Nas cultivares melhoradas, existe uma correlação estreita entre o rendimento de grãos e o índice de área foliar na floração. A causa do aumento do índice de área foliar não é igual em todas as cultivares de arroz, ou seja, nas cultivares de alta resposta ao nitrogênio, o incremento do índice de área foliar se deve principalmente ao aumento do número de perfilhos, os quais por sua vez aumenta o número de folhas. Por outro lado, nas cultivares de baixa resposta ao nitrogênio, o incremento do índice de área foliar se deve ao aumento no tamanho das folhas, o que causa sombreamento mútuo, fazendo com que a planta perca sua capacidade para produzir suficiente matéria seca após a floração e, conseqüentemente, o rendimento seja baixo.

A altura da planta também influi na resposta do arroz à aplicação de nitrogênio. As plantas que crescem excessivamente são mais susceptíveis ao acamamento, o qual interfere na incidência da radiação solar, na fotossíntese e na translocação de nutrientes, causando esterilidade de espiguetas e reduzindo o rendimento de grãos. Outra característica varietal importante associada com a resposta ao nitrogênio e o rendimento de grãos é a capacidade de perfilhamento, onde o número de panículas por unidade de área depende do número de perfilhos férteis na floração. Nas cultivares de alta resposta o número de panículas aumenta com o incremento das doses de nitrogênio (Tanaka, 1966; citado por Leon e Arregocés, 1985).

Com relação à duração do ciclo, Leon e Arregocés (1985) afirmam que as cultivares melhoradas que levam 85-90 dias para florescerem geralmente produzem mais quando se aplicam altas doses de nitrogênio, enquanto cultivares tardias requerem doses menores. Quando se aplica nitrogênio, o peso da planta aumenta

principalmente em cultivares precoces, todavia, sem aplicação de nitrogênio o peso da planta tende a ser maior quanto mais longo o ciclo da cultivar. A relação grãos/palha e o índice de colheita decrescem à medida que aumenta o número de dias até a floração e, esta correlação se acentua ainda mais com a aplicação de nitrogênio.

As cultivares melhoradas que possuem perfilhos eretos, formando ângulos menores que 60° com a perpendicular, apresentam uma melhor distribuição de luz e maior número de perfilhos férteis. Também, dentre as diferentes características das folhas associadas com altas produtividades, destaca-se as folhas eretas e o ângulo das folhas, em que há maior captação de luz e maior fotossíntese e, conseqüentemente, maior produção de grãos (Leon e Arregocés, 1985). Samantaray, Panda e Patnaik (1993) testaram várias cultivares de arroz e verificaram um maior enchimento de grãos de algumas cultivares com a aplicação de nitrogênio. Os autores afirmam que a melhor resposta ao nitrogênio pode ser atribuída às folhas verde escuras, firmes e eretas dessas cultivares.

Patela (1976), citado por Mueller (1980), relata que nas condições do Rio Grande do Sul, de uma maneira geral, as cultivares que respondem às doses mais elevadas de nitrogênio apresentam ciclo curto (± 120 dias), porte baixo, perfilhamento moderado e crescimento não muito vigoroso no início do desenvolvimento. Tais características são geralmente associadas com folhas pequenas e eretas.

Mengel e Leonards (1978), citados por Mueller (1980), realizaram um trabalho com o objetivo de determinar as necessidades de nitrogênio de cultivares recém-criadas, utilizando níveis de nitrogênio que variaram de 0 a 180 kg de N/ha. Os resultados mostram uma variação grande na resposta dessas cultivares em termos de rendimento de grãos, contudo, os maiores rendimentos foram verificados com

aplicações de nitrogênio entre 112 e 180 kg/ha. Vários autores (Rao et al., 1980; Prasad, Sharma e Ojha, 1982; Dalai e Dixit, 1987; Deshmukh et al., 1988; Saikia et al., 1988; Thakur, 1989; Thakur, 1993) verificaram interação significativa entre cultivares e níveis de nitrogênio para produção de grãos, confirmando que diferentes cultivares de arroz respondem diferentemente à aplicação de nitrogênio.

De acordo com Malavolta e Fornasieri Filho (1983) algumas cultivares de arroz podem extrair os elementos essenciais mais eficientemente do que outras cultivares, em solos deficientes. As diferenças encontradas entre as cultivares na resposta a nutrientes podem ser explicadas por mecanismos fisiológicos como diferentes taxas de absorção e translocação e diferenças morfológicas no sistema radicular. Resultados obtidos por Murty, Dash e Mohanty (1994) mostraram que algumas cultivares de arroz tem habilidade de produzir mais raízes quando não há suprimento de nitrogênio. Essas raízes podem possivelmente ajudar na extração de nitrogênio do solo quando não se aplica o nutriente.

Fageria e Barbosa Filho (1981) afirmam que existe variabilidade genética dentro de uma mesma espécie quanto à absorção de nutrientes e que esta variação está relacionada com a diferença morfológica no sistema radicular e no metabolismo das plantas. Nowick e Hoffpauir (1984) declaram que duas áreas onde a eficiência de utilização de nitrogênio pode diferir são a absorção e a remobilização. Apontam também que as diferenças varietais podem incluir estrutura da raiz, potencial de oxidação da raiz ou sistema N-redutase.

Quanto a diferenças entre cultivares na eficiência de absorção e uso de nitrogênio, e o controle genético sobre esses caracteres, as pesquisas são relativamente recentes. Alguns trabalhos com várias culturas, mostram evidências

quanto às diferenças varietais na absorção e uso de nitrogênio e sobre a existência de um controle genético complexo de natureza multigênica envolvido nos processos (Furlani, Bataglia e Azzini, 1986). De acordo com Soares et al. (1994), a obtenção de cultivares mais eficientes na absorção e translocação de nutrientes terá prioridade nos programas de melhoramento, uma vez que mais solos pobres são incorporados ao processo produtivo.

2.4.2. Doses de nitrogênio

Ainda não existe um método que possa avaliar satisfatoriamente a capacidade do solo em fornecer nitrogênio para as plantas. Isto porque a maior parte do nitrogênio do solo está sob a forma orgânica, que deve ser mineralizada para liberá-lo e torná-lo disponível para as plantas e, como a principal forma de nitrogênio no solo (NO_3^-) está sujeita à lixiviação, imobilização e denitrificação pelos microrganismos, não é possível traçar uma curva de calibração para nitrogênio. Segundo Barbosa Filho (1989) uma boa alternativa para fazer recomendação de nitrogênio é determinar a curva de resposta em relação às várias dosagens desse nutriente.

De acordo com Gomes, Patella e Vahl (1976), a determinação da dose de nitrogênio, bem como a época mais adequada de sua aplicação, resultam da interação de fatores edáficos e climáticos e da própria planta. Andrade et al. (1995) verificaram respostas diferenciadas à adubação nitrogenada, de acordo com a cultivar e local de plantio.

O nitrogênio em excesso induz ao acamamento ou problemas fisiológicos que reduzem grandemente o potencial de produção. A aplicação de altas doses de

nitrogênio geralmente aumenta o crescimento vegetativo e o índice de área foliar do arroz (Fagade e De Datta, 1971; Stone e Steinmentz, 1979).

As quantidades de nitrogênio a serem aplicadas dependem de cada grupo de cultivares. Para as de baixa resposta ao nitrogênio, não são recomendadas doses superiores a 30-40 kg de N/ha. Entretanto, para as de alta resposta ao nitrogênio, doses de 90 kg de N/ha ou mais têm-se mostrado adequadas (Del Giudice, Freire e Tanaka, 1979). No entanto, a adubação nitrogenada deve ser usada com cautela, buscando estabelecer a dose ideal para uma produção economicamente viável.

Sims e Place (1968), estudando três cultivares de arroz, Nato e Vegold (ciclo precoce) e Bluebonnet 50 (ciclo longo), com aplicação de três doses de nitrogênio (0, 123 e 157 kg/ha), observaram que essas cultivares apresentaram uma elevada resposta à fertilização nitrogenada. A produção de grãos da cultivar Vegold continuou aumentando até a dose máxima aplicada, enquanto as cultivares Nato e Bluebonnet 50 proporcionaram seus máximos rendimentos com a dose de 123 kg de N/ha. Scherer e Bacha (1973), citados por Mueller (1980), testando as cultivares CICA-4, EEA-404, Formosa e Bluebelle, observaram resposta crescente em rendimento de grãos conforme aumentaram-se as doses de nitrogênio para as cultivares CICA-4 e Formosa, enquanto a cultivar EEA-404 teve sua produção reduzida com o nível mais alto de nitrogênio. Souza (1984) verificou que as cultivares BR-IRGA 409 e BR-IRGA 410 apresentaram maior rendimento de grãos que a cultivar Bluebelle quando submetidas aos níveis crescentes de nitrogênio.

Hall, Sims e Johnston (1968) afirmam que cultivares de arroz altamente produtivas requerem altas doses de nitrogênio para atingirem máximas produções, mas destacam que o uso em excesso de nitrogênio pode provocar acamamento, retardar a

maturação, aumentar a incidência de doenças e baixar a qualidade de grãos. Segundo Yoshida (1981), algumas cultivares de arroz podem apresentar maior esterilidade de espiguetas do que outras em níveis altos de nitrogênio.

Trabalhos de Beacher e Wells (1960), citados por Gomes (1978), testando doses de nitrogênio e várias cultivares de arroz, indicaram que algumas cultivares acamaram com a dose de 100 kg de N/ha, enquanto outras cultivares aumentaram a produção até à dose de 160 kg de N/ha. No Vale do Paraíba, Leite et al. (1970); Schimidt e Gargantini (1963), verificaram grande influência do nitrogênio na produção de arroz. Schimidt e Gargantini (1966) constataram resposta linear crescente no rendimento de arroz irrigado, em solo argiloso, até a dose de 120 kg de N/ha.

Resultados obtidos por Lopes, Lopes e Macedo (1996); Bacha e Lopes (1983), no Rio Grande do Sul, também mostraram resposta ao nitrogênio até à dose de 120 kg de N/ha. Entretanto, apesar de condicionar a formação de maior número de perfilhos e panículas, a dose de 120 kg de N/ha influiu negativamente na fertilidade e no peso dos grãos (Gomes, Patella e Vahl, 1976; Machado, 1981).

Patel et al. (1986) verificaram aumento significativo no rendimento de grãos com o aumento das doses de nitrogênio até 180 kg/ha. Entretanto, a dosagem de 120 kg de N/ha mostrou ser a mais econômica. Aguilar (1994) afirma que na Califórnia e nos países de clima mediterrâneo, as doses de nitrogênio utilizadas no arroz irrigado variam de 120 a 165 kg/ha, de acordo com a cultivar utilizada e a fertilidade do solo.

Considerando que a resposta das plantas de arroz ao nitrogênio depende de vários fatores e que ainda não se tem como avaliar a disponibilidade de nitrogênio no solo, que permita predizer uma resposta, isso tem levado os pesquisadores a recomendarem que as doses de nitrogênio sejam estabelecidas com base em

experimentos de campo, combinando os fatores cultivar, nitrogênio e densidade, em cada uma das regiões de cultivo. Fageria, Barbosa Filho e Garber (1982) verificaram uma correlação entre experimentos conduzidos em casa de vegetação e no campo, no que se refere à nutrição de plantas de arroz; em casa de vegetação são necessários oito vezes a adubação recomendada para as condições de campo, a fim de que o rendimento e seus componentes expressem valores semelhantes nas duas condições.

2.4.3. Fontes de nitrogênio

A eficiência da cultura do arroz na utilização do nitrogênio aplicado pode ser afetada por vários fatores entre os quais se destacam a fonte de nitrogênio. Embora a planta de arroz se utilize do nitrogênio, tanto na forma amoniacal como na nítrica, recomenda-se utilizar a forma reduzida em solos inundados, pois as formas nítricas são muito instáveis sob condições de inundação, porque são denitrificadas pelos microrganismos anaeróbicos que, assimilando o oxigênio do nitrato, liberam o nitrogênio sob a forma de gás para a atmosfera. Entretanto, quando fertilizantes amoniacais e amídicos são aplicados no solo em condição aeróbica, aquelas formas de nitrogênio são transformadas para forma nítrica, por bactérias nitrificadoras, em 20 ou 30 dias (Fornasieri Filho e Fornasieri, 1993).

Segundo Fageria (1984) a forma de nitrogênio para arroz irrigado depende do método e época de aplicação do nutriente. Quando a forma nítrica é aplicada no plantio, podem ocorrer perdas de nitrogênio sob a forma de gás e lixiviação, entretanto, ela poderia ser melhor aproveitada quando a planta estivesse bem desenvolvida, o que não acontece antes de 6-8 semanas após o plantio. Em tal caso, grande parte do

nitrogênio poderia ser usada pela planta antes de lixiviar ou perder-se por denitrificação.

Diversos trabalhos têm comparado as principais fontes amoniacais (sulfato de amônio, uréia, amônia anidra ou água amônia) e, em geral, constata-se não haver, entre elas, diferenças na produção de grãos, entretanto, a eficiência de cada uma depende das propriedades do solo, do método de aplicação e manejo da água. Em solos inundados com baixos teores de ferro e sob temperaturas elevadas, o uso do sulfato de amônio, em doses elevadas, poderá ser prejudicial ao arroz devido à possibilidade de redução do sulfato com formação de H_2S ; por outro lado, o sulfato de amônio, pode, às vezes, ser superior em solos carentes em enxofre (Barbosa Filho, 1989).

A maior mobilidade e possíveis perdas por volatilização, quando se aplica a uréia na superfície do solo, explica a menor eficiência da uréia comparada ao sulfato de amônio. A uréia, quando aplicada ao solo, sofre hidrólise e passa a carbonato de amônio que é um composto instável e, na presença de água, dissocia-se em íons NH_4^+ e CO_3^{2-} . A hidrólise da uréia se completa dentro de um a quatro dias e sua velocidade é semelhante tanto em solos inundados como nos aerados. Antes da hidrólise, a uréia não pode ser retida pelas partículas do solo e, conseqüentemente, pode mover-se tão rapidamente como os nitratos (Lopes e Abreu, 1988).

De acordo com Leon e Arregocés (1985) as perdas de nitrogênio quando se aplica uréia podem variar de 40 a 80%, dependendo do tipo de solo e do modo de aplicação. Recentemente, tem se desenvolvido algumas formas, de lenta liberação, que proporcionam às plantas o nitrogênio em quantidade exigida em cada etapa do

crescimento. A uréia revestida com enxofre tem sido testada amplamente e os resultados tem sido bastante promissores.

2.4.4. Época de aplicação de nitrogênio

A mobilidade do nitrogênio em solos inundados e as mudanças rápidas que este nutriente pode sofrer em curto período de tempo, fazem com que a época de sua aplicação seja um fator de fundamental importância para o arroz irrigado.

Fornasieri Filho e Fornasieri (1993) afirmam que o arroz necessita assimilar nitrogênio durante todo o período vegetativo, porém existem duas fases fisiológicas críticas que são a fase de perfilhamento e o início da diferenciação do primórdio floral. Quantidade adequada de nitrogênio disponível durante o início do perfilhamento, resulta em produção de maior número de perfilhos férteis, o que está relacionado com altos rendimentos. Por outro lado, quantidade excessiva de nitrogênio no final do perfilhamento, pode resultar em perfilhos inférteis nas cultivares de porte baixo e acamamento nas de porte alto. A disponibilidade de nitrogênio no início da diferenciação do primórdio floral está relacionada ao maior número de grãos/panícula.

Patella (1976), citado por Fageria (1984), afirma que o ciclo da cultivar influencia grandemente a utilização do nitrogênio. As cultivares de ciclo curto consomem maior quantidade de nitrogênio no primeiro estágio de desenvolvimento, mas as de ciclo médio e longo apresentam dois períodos de grande consumo de nitrogênio, quais sejam, no perfilhamento e de 15 a 20 dias antes do florescimento. Portanto, é necessária uma quantidade adequada de nitrogênio disponível, durante o perfilhamento, para assegurar um número adequado de panículas; no início do

primórdio floral, para aumentar o número de grãos/panícula e na fase inicial da divisão reducional para incrementar a % de grãos cheios e o peso dos grãos.

Segundo Fageria (1984) alguns trabalhos mostram redução da produção, quando o nitrogênio foi aplicado excessivamente no início do primórdio floral. A aplicação do nitrogênio neste estágio aumenta o número de grãos/panícula e o índice de área foliar, mas pode reduzir a quantidade de carboidratos e a resistência ao acamamento. Resultado semelhante foi observado quando o nitrogênio foi aplicado em excesso no plantio, o que estimulou o crescimento vegetativo e o índice de área foliar, desfavorecendo o balanço entre a fotossíntese e respiração, reduzindo, conseqüentemente, a reserva de carboidratos na antese.

A época de aplicação de nitrogênio depende da cultivar, da fonte e dose de nitrogênio utilizada. Para Leon e Arregocés (1985), a aplicação de uréia aos 25 dias, na cultivar CICA-4, resultou em maior rendimento em relação à incorporação ao solo antes do plantio. A denitrificação e a imobilização do nitrogênio aplicado em etapas precoces é maior quando comparado com aplicação mais tardia, devido à falta de capacidade da planta em aproveitá-lo. O nitrogênio aplicado no plantio é utilizado com uma eficiência de aproximadamente 12%, enquanto no início do primórdio floral esta eficiência é de 34%.

Lopes e Carmona (1986) recomendam que todo o nitrogênio deverá ser aplicado próximo à diferenciação do primórdio floral se a dose a ser aplicada for inferior a 50 kg de N/ha e, se superior poderá ser parcelada, aplicando-se 1/3 no perfilhamento e 2/3 na diferenciação do primórdio floral. Os resultados do Rio Grande do Sul têm mostrado uma maior eficiência quando a aplicação é parcelada em duas etapas, sendo 1/3 do total de nitrogênio no plantio e 2/3 no início do primórdio floral (Gomes, Patella e

Vahl, 1976; Machado, 1985).

De acordo com Lopes, Volkweiss e Tedesco (1993) as curvas que descrevem as quantidades de nutrientes absorvidos pelo arroz mostram que as taxas de absorção são maiores entre os estádios da diferenciação do primórdio floral e da floração, período que coincide com o maior crescimento da parte aérea do arroz irrigado. O conhecimento da absorção e da acumulação de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta é importante porque permite determinar as épocas em que os elementos são mais exigidos. No início do crescimento o arroz exige principalmente nitrogênio e potássio, aumentando a demanda por ocasião da iniciação da panícula (Barbosa Filho, 1987).

Segundo Lopes e Abreu (1988), para se conseguir um bom manejo do fertilizante nitrogenado, é necessário que se forneça o nitrogênio à planta quando ela o necessita. Isto pode ser conseguido através da aplicação de fertilizantes em etapas durante o crescimento do arroz. Os objetivos do parcelamento de nitrogênio seriam o de prevenir o desequilíbrio nutricional, a perda do nutriente, o acamamento e, conseqüentemente, a redução na produção de grãos. A aplicação de nitrogênio em diferentes épocas visa a nutrição equilibrada nos períodos críticos da produção de grãos. A velocidade de absorção do nitrogênio depende do estágio de desenvolvimento da cultura, portanto, é preciso coordenar tempo e dose de aplicação com a habilidade do arroz para absorver nitrogênio (Barbosa Filho, 1987).

O propósito de programar as aplicações de nitrogênio é sincronizar as necessidades da planta com a disponibilidade do elemento no solo durante todo o período de crescimento. Como se pode esperar, há grande variação de resultados em diferentes locais, bem como em função da cultivar utilizada.

2.4.5. Modo de aplicação de nitrogênio

A eficiência do nitrogênio em arroz inundado aumenta consideravelmente quando o fertilizante é aplicado na camada redutora do solo. Segundo Leon e Arregocés (1985), a fonte de nitrogênio e sua forma de aplicação ajudam a diminuir suas perdas. A incorporação ao solo de sulfato de amônio ou uréia, pode diminuir as perdas de nitrogênio em comparação com a aplicação a lanço.

A incorporação de fontes amoniacais a uma profundidade de 5-10 cm, em solo sob inundação contínua, aumenta a eficiência da aplicação do nitrogênio, evitando maior contato com a camada oxidada e conseqüentemente a nitrificação. A regra básica é colocar o nitrogênio na camada redutora do solo. Neste caso, a aplicação no sulco, abaixo ou ao lado da semente, é mais eficiente do que a aplicação a lanço, pois sendo todo o nitrogênio incorporado na zona reduzida, que se desenvolve de 3 a 5 dias após a inundação, não haverá riscos de perdas por denitrificação (Barbosa Filho, 1987).

O nitrogênio em cobertura pode ser aplicado após a retirada da água ou diretamente sobre a lâmina d'água. A aplicação a lanço sobre a lâmina d'água sem movimento é a mais eficiente, desde que se reduza a renovação da água durante e depois da aplicação de nitrogênio.

2.4.6. Condições climáticas

Através da adubação nitrogenada é possível aumentar o rendimento da cultura do arroz irrigado. Entretanto, esse aumento está muito relacionado a condições

climáticas, especialmente radiação solar e temperatura (Lopes, 1988). Isso evidencia a necessidade de avaliar a resposta ao nitrogênio durante vários anos.

De acordo com Vahl (1979), os níveis de nitrogênio que conduzem ao maior rendimento de grãos no arroz irrigado são muito variáveis entre um ano e outro, especialmente nas cultivares tradicionais e nas de porte médio. Em anos de radiação solar elevada, durante o período reprodutivo da cultura, podem ser esperados altos rendimentos e é grande a probabilidade de ocorrerem aumentos significativos no rendimento devidos à aplicação de nitrogênio em níveis mais elevados. A radiação solar alta proporciona maior energia fotossintética, permitindo maior resposta ao nitrogênio, especialmente nas cultivares de porte baixo. Por outro lado, o sombreamento mútuo, causado principalmente por plantas de porte mais alto e altas doses de nitrogênio, implica em menor taxa fotossintética e menor rendimento de grãos, sendo esta redução no rendimento mais acentuada nos anos em que a radiação solar é relativamente baixa e principalmente se ocorrer no estágio reprodutivo da cultura.

Quando o suprimento de nitrogênio e o nível de radiação solar se apresentam equilibrados, a eficiência da fotossíntese, o crescimento e a produção de matéria seca são mais altos. Murata (1969) observa que o desequilíbrio do balanço entre fotossíntese e respiração, decorrente de alto suprimento de nitrogênio, é intensificado sob condições de baixa radiação solar.

Mueller (1980) afirma que os fatores radiação solar e doses de nitrogênio estão interrelacionados e apresentam uma influência marcante sobre o rendimento do arroz. Steinmetz e Mota (1974), citados por Mueller (1980), observaram através de experimentos conduzidos em Pelotas-RS, durante vários anos, que a radiação solar é,

em muitos dos anos, o fator limitante do rendimento de grãos. Conforme a diminuição do nível de radiação solar, a resposta ao nitrogênio tende a diminuir em qualquer tipo de planta. Trabalho realizado por Machado (1983), durante três anos, mostra que a resposta da cultivar Bluebelle à aplicação de nitrogênio foi diferente para cada ano, o que demonstra a influência das condições climáticas na resposta ao nitrogênio.

Para Yoshida (1981), o número de espiguetas por unidade de área é fortemente influenciado por níveis de radiação solar e temperatura, durante o estágio reprodutivo. Matsushima (1980), citado por Fornasieri Filho e Fornasieri (1993), relata que o número de espiguetas diferenciadas é afetado pela disponibilidade de nitrogênio durante o período compreendido entre diferenciação do primórdio da panícula e a diferenciação das espiguetas e que, o número de espiguetas que se degeneram é afetado por fatores climáticos e nutricionais no período entre diferenciação das espiguetas e final do estágio da divisão reducional da célula-mãe do grão do pólen.

Pesquisas realizadas por De Datta, Tauro e Balaoing (1968) indicam que o aumento do teor de matéria seca, do início de formação da panícula até a colheita, tem alta correlação com a produção de grãos e que, depende especialmente da taxa fotossintética, que por sua vez, depende da radiação solar, que também influencia na resposta da planta de arroz ao nitrogênio.

Leon e Arregocés (1985) citam trabalho mostrando a influência da radiação solar na resposta ao nitrogênio, no qual consta que, com radiação solar de 490 cal/cm²/dia, a cultivar IR 8 respondeu até a 200 kg de N/ha, produzindo 9,5 t/ha de grãos e, quando a radiação foi reduzida em 57%, respondeu até a 100 kg de N/ha, produzindo 5,6 t/ha de grãos. No Peru, onde os níveis de radiação solar são mais altos, os rendimentos também são altos, obtendo-se respostas a 160 kg de N/ha nas

cultivares tradicionais e aproximadamente 300 kg de N/ha nas cultivares de porte baixo (Sanchez, 1981).

Outro fator climático importante que afeta a resposta do arroz ao nitrogênio é a temperatura. O seu efeito na absorção de nutrientes pelas raízes varia com a idade da planta (Lopes e Abreu, 1988). A taxa de denitrificação é lenta em temperaturas abaixo de 15°C, mas aumenta rapidamente quando a temperatura sobe de 15 a 45°C. A concentração de NH_4^+ solúvel em água diminui quando a temperatura cai de 45 a 15°C e, a 15°C podem observar-se sintomas de deficiência de nitrogênio.

A temperatura tem efeito também na esterilidade de espiguetas. Segundo Leon e Arregocés (1985), a adubação nitrogenada afeta a esterilidade causada por temperatura baixa durante a meiose. Quando a temperatura está acima, ou em torno de 20°C, o nitrogênio aplicado tem pouco efeito na esterilidade. Entretanto, em temperaturas mais baixas (16°C), a esterilidade aumenta-se ao incrementar a dose de nitrogênio aplicado.

As cultivares modernas apresentam resposta positiva aos acréscimos de nitrogênio aplicado ao solo, entretanto, de acordo com Mueller (1980), esta resposta tem-se mostrado menos expressiva no Rio Grande do Sul, onde as recomendações de nitrogênio para a cultura do arroz atingem um máximo de 60 kg/ha. Essa baixa resposta das cultivares de arroz ao nitrogênio, no Rio Grande do Sul, tem levado a algumas hipóteses, entre as quais, o problema da sensibilidade às temperaturas baixas parece ser uma das mais aceitas.

As flutuações nas condições climáticas, principalmente do nível de radiação solar e da temperatura, levam à obtenção de respostas muito variáveis quanto à aplicação de nitrogênio. Em anos de temperatura entre 25 e 30°C e radiação solar

elevada na fase reprodutiva, normalmente ocorrem aumentos significativos no rendimento de grãos com a aplicação de doses elevadas de nitrogênio. Porém, quando ocorrem temperaturas elevadas na fase vegetativa e baixa luminosidade na fase reprodutiva, é de se esperar baixa resposta à adubação nitrogenada e até decréscimo no rendimento com a elevação das doses de nitrogênio (Fornasieri Filho e Fornasieri, 1993).

2.4.7. Outros fatores

A resposta da cultura do arroz irrigado à aplicação de nitrogênio também está relacionada a outros fatores como manejo da água, propriedades do solo, suprimento de outros nutrientes, densidade de plantio, plantas daninhas, pragas e doenças.

As flutuações no suprimento da água, tal como a irrigação intermitente, devem ser evitadas, pois criam condições ideais para denitrificação; no período de drenagem há formação de nitratos e ao inundar-se ocorre no solo perdas de nitrogênio por denitrificação e, também, por lixiviação (Machado, 1985). De acordo com Lopes e Abreu (1988) a resposta ao nitrogênio é diferente sob inundação contínua e intermitente e é fortemente dependente da cultivar. Cultivares de porte baixo mostram diminuição na produção de grãos, à medida que o manejo da água torna-se deficiente, por causa do esgotamento do nitrogênio disponível no solo. Por outro lado, as cultivares de porte alto, nas mesmas condições comportam de maneira oposta, aumentando a produção devido ao menor acamamento. Lopes e Abreu (1988) afirmam ainda que a demora na inundação resulta em perdas de nitrogênio e que os maiores

rendimentos são obtidos inundando o solo, prontamente, após a aplicação do fertilizante nitrogenado.

Outro aspecto a considerar é a textura do solo. Em solos arenosos, onde a taxa de percolação é alta e a possibilidade de perdas de nitrogênio por lixiviação e volatilização é grande, a recomendação seria a de parcelar o nitrogênio em duas aplicações, respeitando a época de maior exigência da cultura (Barbosa Filho, 1987). Uma aplicação básica no plantio, normalmente é suficiente em solos com baixa percolação e para cultivares resistentes ao acamamento. Quanto ao manejo do solo, são importantes práticas de preparo que reduzam o movimento de água no perfil do solo, as quais podem aumentar significativamente a eficiência do nitrogênio aplicado devido às menores perdas por lixiviação.

Outros fatores do solo a serem considerados são o teor de matéria orgânica, a CTC do solo, o pH e a escassez ou excesso de outros nutrientes. Ramirez (1979), citado por Leon e Arregocés (1985), concluiu que a resposta ao nitrogênio era influenciada negativamente pela quantidade de matéria orgânica no solo. Em todos os casos, a resposta foi maior para níveis baixos de nitrogênio no solo em comparação com níveis médios e altos.

Para Sanchez (1972), também citado por Leon e Arregocés (1985), a CTC é a característica do solo que mais afeta a resposta ao nitrogênio; quanto mais alta a CTC, maior é a capacidade do solo para reter e fornecer o amônio para as plantas. O pH do solo também afeta a resposta ao nitrogênio aplicado, visto que à medida que o pH aumenta-se, crescem também as perdas de amônio por volatilização.

Com relação ao suprimento de outros nutrientes, seus teores também afetam a resposta ao nitrogênio. Quando no solo há por exemplo excesso de ferro, sua toxidez

afeta o desenvolvimento da planta e a resposta à aplicação de nitrogênio. Com a finalidade de manter o equilíbrio dos nutrientes na planta e no solo, recomenda-se a aplicação equilibrada de N, P e K e a correção de algum outro elemento limitante, para alcançar a máxima eficiência na utilização do nitrogênio (Leon e Arregocés, 1985).

O nitrogênio e o fósforo estão fortemente correlacionados com a produção de grãos, sendo esta máxima, quando a relação N absorvido/P absorvido for 5:1 (Basak, 1962). A adição de nitrogênio favorece a utilização de fósforo possivelmente por promover melhor desenvolvimento radicular ou por estimular fisiologicamente a planta com conseqüente produção de compostos nitrogenados, muitos dos quais contendo fósforo.

Com relação à interação nitrogênio e potássio, Maynard et al. (1968), citados por Fornasieri Filho (1982), verificaram efeito antagônico do nitrogênio sobre o potássio quando o nitrogênio foi fornecido como $N-NH_4^+$. Tal antagonismo seria conseqüência da estreita semelhança química entre os íons NH_4^+ e K^+ . Um equilíbrio adequado entre nitrogênio e potássio é fundamental para a formação de um número adequado de espiguetas e para a granação. Nesse estágio o teor de potássio na planta tem que ser maior que o de nitrogênio, pois muito nitrogênio provoca excesso de massa verde, alta esterilidade e susceptibilidade às doenças. No emborrachamento, o teor de potássio não deve ser menor que 2%. Segundo Kock e Menguel (1977), citados por Oliveira et al. (1994), a adubação potássica em níveis adequados é importante, pois o potássio favorece a absorção de nitrogênio e a translocação dos compostos nitrogenados das partes vegetativas para os grãos, além de aumentar os teores de aminoácidos solúveis dos grãos.

A resposta ao nitrogênio pode ser afetada ainda por densidade de plantio, plantas daninhas e doenças. Quando não se aplica nitrogênio, o rendimento aumenta linearmente com o aumento da densidade, isto porque maior densidade compensa o pouco perfilhamento; a aplicação de nitrogênio estimula o perfilhamento e, à medida que se aumenta a densidade e o nível de nitrogênio aplicado, o rendimento tende a aumentar-se até atingir um máximo. Com relação às plantas daninhas, Leon e Arregocés (1985) citam trabalho realizado no IRRI, mostrando que sem controle de plantas daninhas, a aplicação de nitrogênio só aumentou o rendimento de grãos em 0,5 t/ha, enquanto sem nitrogênio, mas com controle das plantas daninhas, o rendimento aumentou até 1,5 t/ha. Estes dados enfatizam a interação entre a resposta ao nitrogênio e as práticas de cultivo. A ocorrência de doenças também influi na resposta ao nitrogênio, ou seja, o rendimento, mesmo de cultivares responsivas ao nitrogênio, é reduzido quando se usam altas doses do elemento e, a redução é maior ainda quando se plantam cultivares susceptíveis.

2.5. Influência do nitrogênio sobre o rendimento de grãos e componentes da produção

O rendimento de grãos de arroz é definido pelos seguintes componentes da produção: número de panículas/m², número de grãos/panícula, % de grãos cheios e peso de 1.000 grãos. Assim, para se conseguir altos rendimentos, torna-se necessário obter um elevado número de perfilhos produtivos e maior número de grãos/panícula, evitar grãos chochos ou estéreis e aumentar o peso de 1.000 grãos. Segundo Ishizuka (1971), os componentes da produção de arroz são definidos na seguinte seqüência

durante o ciclo da cultura: Número de panículas - próximo da época do máximo perfilhamento; número de grãos/panícula e esterilidade - antes do florescimento; e peso de 1.000 grãos - durante a maturação. O nitrogênio através de suas múltiplas funções na planta influencia, de forma positiva, o desenvolvimento desses componentes.

Fageria (1984) relata que a planta de arroz necessita de nitrogênio durante a fase vegetativa para aumentar o número de perfilhos e, conseqüentemente, o número de panículas. O nitrogênio absorvido durante a fase reprodutiva aumenta o número de grãos/panícula. O nitrogênio é importante também durante a fase de maturação, por manter as folhas verdes, para o processo de fotossíntese e, conseqüentemente, aumentar a % de grãos cheios. Segundo Malavolta (1979) os efeitos do nitrogênio sobre os componentes da produção podem ser assim resumidos: Tem efeito muito forte no perfilhamento; para que este seja ótimo o teor de nitrogênio nas folhas deve ser da ordem de 4%. Aumenta o número de grãos/panícula e o peso de grãos. O nitrogênio estimula também o crescimento radicular; a proliferação de raízes se dá quando o teor de nitrogênio na base do colmo for maior que 1%.

Stone e Steinmetz (1979), estudando a adubação nitrogenada, nas doses de 0 e 90 kg de N/ha, sobre as cultivares IAC 47 (de porte alto e pouco perfilhadora) e CICA-4 (de porte baixo e perfilhadora), observaram que o número de perfilhos/m² foi bastante influenciado pela adubação nitrogenada. A aplicação de 90 kg de N/ha incrementou 31,4% o número de perfilhos na cultivar CICA-4 e 26,7% na cultivar IAC 47. Teixeira e Souza (1980); Andrade e Amorim Neto (1996), também verificaram aumento no número de perfilhos/planta em função de doses crescentes de nitrogênio aplicado.

De acordo com Yoshida e Parao (1972), o aumento do número de perfilhos/planta está altamente correlacionado com o crescimento da área foliar e produção de grãos, entretanto, a partir de certo ponto o peso da matéria seca decresce, devido ao sombreamento mútuo das folhas e conseqüente decréscimo da taxa fotossintética. O sombreamento mútuo decorrente do aumento da área foliar, induzido por doses pesadas de nitrogênio e pelo perfilhamento vigoroso, desequilibra o balanço fotossíntese/respiração já na primeira fase da cultura, com fraco desenvolvimento reprodutivo.

Quando o enchimento de grãos se processa normalmente, a produção de grãos é altamente relacionada com o índice de área foliar no florescimento. Fagade e De Datta (1971) afirmam que a barreira mais importante para o aumento da produção de grãos com alto índice de área foliar é o decréscimo da % de grãos cheios, especialmente em condições de pouca radiação solar.

Vários pesquisadores têm relacionado os componentes da produção com o teor de nitrogênio na planta de arroz. Segundo Matsushima (1965), citado por Stone (1983), o número de perfilhos, número de grãos/panícula e o peso de grãos estão diretamente relacionados com o teor de nitrogênio nas folhas. Wells e Faw (1978) observaram, em estudos realizados com a cultivar Starbonnet, que o teor de nitrogênio na folha bandeira, no florescimento, apresentou uma correlação positiva com o rendimento de grãos.

Segundo Murayama (1979) e Hasegawa et al. (1994), há alta relação entre o número de grãos por unidade de área e a quantidade de nitrogênio absorvida pela planta de arroz até a época do florescimento. Esta relação indica que quanto mais nitrogênio for absorvido até o florescimento, maior o número de grãos e desse modo

garante alta produção. Quando o número de grãos por unidade de área é alto, a taxa fotossintética assume maior importância porque a quantidade de assimilados é determinante da produção. O papel do nitrogênio é extremamente importante nesse caso.

Para Perdomo et al. (1985), o número de panículas/m², o número de grãos cheios/panícula e o peso do grão, estão correlacionados com a quantidade de nutrientes absorvidos pela planta durante seu desenvolvimento. As plantas com maior capacidade de fotossíntese e bem nutridas produzem grande quantidade de carboidratos durante as fases reprodutiva e de maturação e, conseqüentemente, um grande número de grãos cheios/panícula.

De Datta, Tauro e Balaoing (1968) afirmam que altos níveis de nitrogênio no solo influenciam o número de panículas/m² e, num grau inferior, o número de grãos/panícula e a % de grãos cheios; a influência sobre peso de grãos é negativa. Carmona e Markus (1973); Soares e Moraes (1983), também constataram efeito positivo do nitrogênio sobre o número de panículas/m², número de grãos/panícula, bem como na % de grãos cheios; a resposta ao nitrogênio para peso de grãos também foi negativa. Os autores concluíram ainda que as variações do rendimento de grãos foram provocadas, principalmente, por variações do número de panículas/m².

Segundo De Datta (1981), o número de panículas por unidade de área é, de um modo geral, o componente que mais influi na produção de grãos em resposta ao nitrogênio. Por outro lado, há uma tendência em decrescer o número de grãos/panícula, com o aumento do número de panículas por unidade de área, indicando que existe uma correlação negativa entre esses dois componentes.

Resultados obtidos por Husain e Sharma (1991) mostram que altas doses de

nitrogênio incrementaram a altura de plantas, o número de panículas/m² e o número de grãos/panícula, mas reduziu a % de grãos cheios. As cultivares diferiram quanto à resposta ao nitrogênio, sendo que a baixa resposta de uma ou outra cultivar foi possivelmente devido a baixa % de grãos cheios. Embora tenha havido resposta até níveis mais altos de nitrogênio, a produção foi baixa indicando baixa eficiência de utilização de nitrogênio para formação de grãos, sendo o nitrogênio desviado mais para produção de palha.

Estudando o efeito do nitrogênio nos componentes da produção de três cultivares de arroz irrigado (EEA-406, BR-IRGA 409 e Bluebelle), Mueller (1980) observou que o número de panículas/m² aumentou com os níveis de nitrogênio em todas as cultivares estudadas, enquanto o número de grãos/panícula e a % de grãos vazios aumentaram principalmente nas cultivares BR-IRGA 409 e Bluebelle. Tanaka (1964), citado por Mueller (1980), afirma que as cultivares de alta resposta ao nitrogênio competem pouco pela luz nos primeiros estádios de crescimento e o número de panículas (perfilhos férteis) por unidade de área aumenta grandemente. Num outro estágio de crescimento, em que a % de grãos cheios é determinada, há no entanto, maior competição pela luz em altos níveis de nitrogênio.

Aguilar (1994) verificou diferenças significativas entre cultivares em relação à resposta ao nitrogênio e que existe uma estreita relação entre o rendimento e seus componentes, especialmente com o número de panículas/m², seguido pelo número de grãos/panícula. Para doses elevadas de nitrogênio, acima de 150 kg/ha, o rendimento de grãos decresceu para todas as cultivares estudadas, o que é explicado pela redução da % de grãos cheios e do peso de 1.000 grãos. Por outro lado, trabalho realizado no IRRI, citado por Mueller (1980), com a cultivar IR 8, mostra que o número

de grãos/panícula foi altamente correlacionado com a produção de grãos, mas esta não apresenta variação muito grande em função da % de grãos cheios e do peso de 1.000 grãos. Wells e Faw (1978) observaram que altas doses de nitrogênio foram associadas com o aumento da % de grãos vazios, entretanto, o coeficiente de correlação entre % de grãos vazios e produção de grãos foi positivo e significativo, indicando que a produção de grãos aumentou com o incremento dos níveis de nitrogênio, embora a % de grãos vazios tenha também aumentado.

Para Yoshida (1972), citado por Mueller (1980), a baixa esterilidade para altos níveis de nitrogênio é considerado um dos critérios de seleção dos mais importantes para melhorar a resposta de cultivares de arroz à adubação nitrogenada. O mesmo autor observa ainda que se a atividade fotossintética for limitada por radiação solar baixa, ou se a translocação de assimilados decresce, vai ocorrer alta % de grãos vazios. Cultivares com baixa esterilidade a altas doses de nitrogênio permitem aplicação de maiores quantidades de nitrogênio e, conseqüentemente, maiores rendimentos de grãos (Yoshida, 1981).

Dada a variação obtida com o uso de adubos nitrogenados em solos inundados, em função de sua interação com os fatores ambientais, as recomendações da adubação nitrogenada devem ser adotadas com cuidado. Assim, na decisão do total de nitrogênio a aplicar, devem ser considerados aspectos como, histórico da área no que diz respeito à resposta da cultura em anos anteriores; incidência de doenças, especialmente brusone; desenvolvimento vegetativo da cultivar e rendimento esperado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do Experimento

O experimento foi instalado em casa-de-vegetação, na Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo. Utilizaram-se 5 kg de material do solo, acondicionados em vaso plástico com capacidade de 5 l, de uma amostra classificada como Gley Pouco Húmico, coletada na Fazenda Experimental da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) de Lambari.

Antes da instalação do experimento, realizou-se uma calagem correspondente a 2,2 t de calcário/ha e uma adubação de correção, cujas quantidades e fontes de adubo aplicados por quilo de solo são apresentadas na Tabela 1. A calagem foi feita pelo método de saturação de bases ($V = 50\%$), utilizando calcário com $PRNT = 100\%$, $CaO = 40\%$ e $MgO = 15\%$. À exceção do nitrogênio, todos os demais nutrientes aplicados foram misturados ao solo antes do enchimento dos vasos. Os resultados da análise química e física do solo, antes e após a correção do solo, são mostrados nas Tabelas 2 e 3.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 5×3 , com 4 repetições. Os fatores constituíram-se de três cultivares de arroz irrigado (Capivari, Inca e Sapucaí) e de cinco doses de nitrogênio (0, 100,

200, 400 e 800 mg/kg de solo), aplicado na forma de uréia.

A semeadura foi realizada diretamente nos vasos, no dia 21 de dezembro de 1994, colocando-se oito sementes por vaso, com posterior desbaste, deixando-se duas plântulas por vaso.

O nitrogênio foi aplicado para cada dosagem em três parcelas, aos 10; 30 e 50 dias após a emergência das plântulas, nas proporções de 30%, 30% e 40% da dose total, respectivamente. O potássio também foi aplicado em cobertura, na dosagem de 75 mg/kg de solo (25 mg/kg de solo em cada parcelamento), nas mesmas épocas em que foi aplicado o nitrogênio.

A eliminação de ervas daninhas foi realizada manualmente e a irrigação foi feita com água desmineralizada, mantendo-se uma lâmina d'água de 5 cm durante todo o ciclo. A colheita foi realizada quando os grãos atingiram a maturação completa.

TABELA 1 - Quantidades e fontes dos elementos aplicados ao solo para a correção. UFLA, 1994.

Elementos	Quantidade do elemento (mg/kg de solo)	Fonte do elemento (Adubo)
Fósforo	100	Superfosfato simples
Potássio	50	Cloreto de potássio
Boro	0,5	Bórax
Zinco	5,0	Sulfato de zinco
Cobre	1,5	Sulfato de cobre

TABELA 2 - Resultado da análise química e física do solo Gley Pouco Húmico utilizado no experimento, antes da correção do solo (calagem e adubação). UFLA, 1994.

pH em água	Ca	Mg	Al	P	K	M.O.	Areia	Limo	Argila
	m mol _c .dm ⁻³			mg.dm ⁻³			g/kg		
5,0	26	06	09	69	89	35	350	330	320

TABELA 3 - Resultado da análise química do solo Gley Pouco Húmico utilizado no experimento, após a correção do solo (calagem e adubação). UFLA, 1994.

pH em água	Ca	Mg	Al	P	K	Zn	Cu	Fe	Mn	S	B	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
	m mol _c .dm ⁻³			mg.dm ⁻³									
5,1	38	11	02	96	122	5,8	3,7	141	28	50	0,3	40	33

Na caracterização química, os elementos Ca, Mg, Al, P e K foram determinados conforme Vettori (1969), onde Ca, Mg e Al foram extraídos pelo KCl 1N e P e K pelo KCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N (extrator Mehlich 1).

3.2. Cultivares utilizadas e suas características

- Inca

Lançada em 1982 pela EPAMIG para condições irrigadas por inundação, no estado de Minas Gerais. É classificada como de altura baixa, com média de 84 cm, sendo comum observarem-se variações de uns 10 cm em torno dessa média.

Apresenta bom perfilhamento e o ciclo (semeadura à colheita) varia de 140 a 155 dias, e a floração pode ser observada dos 100 aos 125 dias após o plantio.

Com relação ao acamamento, a Inca é resistente sob condições normais de cultivo. Em solos muito férteis e, principalmente, quando se usa adubação nitrogenada excessiva, pode apresentar plantas acamadas.

- Capivari

Lançada em 1994 pela EPAMIG, possui porte baixo, com uma altura média de 80 cm. Apresenta ciclo médio, ótimo perfilhamento, é resistente ao acamamento e moderadamente resistente à brusone, sendo também tolerante à toxidez de Fe. Destaca-se pelo alto potencial para produção de grãos, superando a Inca e a Sapucaí.

- Sapucaí

Lançada juntamente com a Capivari pela EPAMIG para cultivo em Minas Gerais, apresenta a maioria das características fenotípicas semelhantes à Capivari. Distingue-se das anteriores pelo menor potencial de rendimento de grãos, todavia, é superior quanto a qualidade química ou culinária de grãos.

3.3. Parâmetros avaliados

3.3.1. Altura de planta (cm) - tomada da superfície do vaso até à extremidade da panícula do colmo mais alto.

3.3.2. Número de panículas/vaso - contagem do número total de panículas em cada vaso.

- 3.3.3. Número total de grãos/panícula** - obtido pela contagem do número total de grãos de 10 panículas tomadas ao acaso.
- 3.3.4. Número de grãos cheios/panícula** - contagem do número de grãos cheios de 10 panículas.
- 3.3.5. Percentagem de grãos cheios** - fornecida pela expressão:
- $$\% \text{ de grãos cheios} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de grãos cheios}}{\text{n}^\circ \text{ de grãos cheios} + \text{n}^\circ \text{ de grãos vazios}} \times 100$$
- 3.3.6. Peso de 100 grãos (g)** - obtido através de pesagem em balança de precisão de três amostras contendo cada uma 100 grãos cheios.
- 3.3.7. Produção de grãos (g/vaso)** - obtida pela pesagem dos grãos colhidos em cada vaso e corrigida para 13% de umidade.
- 3.3.8. Matéria seca da palha e dos grãos (g)** - pesagem das amostras após secagem em estufa a temperatura de 60°C por 24 h.
- 3.3.9. Matéria seca da parte aérea (g)** - obtido pelo somatório da matéria seca da palha e matéria seca dos grãos.
- 3.3.10. Índice de colheita** - determinado através da relação entre produção de grãos e matéria seca da parte aérea.
- 3.3.11. Relação grãos/palha** - determinada pela relação entre produção de grãos e matéria seca da palha.
- 3.3.12. Teor de nitrogênio na palha e nos grãos** - determinação feita no laboratório de nutrição de plantas, departamento de Ciência do solo da UFLA, pelo método semi-micro-Kjeldahl, descrito por Malavolta, Vitti e Oliveira (1989).

- 3.3.13. Quantidade de nitrogênio na palha e nos grãos** - obtida pelo produto da matéria seca da palha e dos grãos pela percentagem de nitrogênio em cada parte correspondente.
- 3.3.14. Quantidade de nitrogênio na parte aérea** - quantidade de N na palha + quantidade de N nos grãos.
- 3.3.15. Eficiência de utilização de nitrogênio** - calculada através da relação entre a produção de grãos e a quantidade de nitrogênio contida na parte aérea.
- 3.3.16. Exportação de nitrogênio** - considerou-se como exportação a quantidade de nitrogênio contida nos grãos.
- 3.3.17. Extração de nitrogênio** - considerou-se como extração a quantidade de nitrogênio contida na parte aérea.

3.4. Análise estatística dos dados

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado e, durante a condução do experimento, efetuou-se o rodízio dos vasos.

Os parâmetros avaliados tiveram seus dados submetidos à análise de variância segundo o modelo abaixo (Bonilla, 1981), considerando o efeito de tratamento como fixo:

$$Y_i = \bar{m} + t_i + e_i$$

onde,

Y_i : valor observado, relativo à parcela que recebeu o tratamento i.

\bar{m} : média geral

t_i : valor do efeito do tratamento i.

e_i : valor do efeito relativo ao erro experimental.

Para comparação de cultivares, empregou-se o teste de médias (Tukey) e para respostas às dosagens de nitrogênio, utilizou-se análise de regressão, aceitando-se até o 2º grau como significativo.

Através das equações de regressão obtidas para rendimento de grãos, estimaram-se as doses de nitrogênio correspondentes aos máximos rendimentos das cultivares testadas. Estimou-se também o coeficiente de correlação entre alguns dos parâmetros estudados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito do nitrogênio sobre os componentes da produção

4.1.1. Número de panículas/vaso

O número de panículas/vaso na média das cultivares é mostrado na Figura 1. Utilizou-se a média em virtude de não ter havido interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio. Observa-se que o número de panículas aumentou-se de forma quadrática com o incremento das doses de nitrogênio em todas as cultivares, entretanto, as mesmas diferiram estatisticamente (Tukey - 0,05) entre si, tendo a cultivar Capivari apresentado um maior número de panículas/vaso do que as outras duas (Tabela 4). Resultados semelhantes foram obtidos por De Datta, Tauro e Balaoing (1968), Carmona e Markus (1973), Gomes, Patella e Vahl (1976), Mueller (1980), Machado (1981), Soares e Morais (1983), Husain e Sharma (1991) e Aguilar (1994), que também constataram aumento no número de panículas com o incremento de doses de nitrogênio.

O número de panículas/vaso e a produção de grãos (g/vaso) mostraram-se altamente correlacionados ($r= 0,99^{**}$), indicando que a resposta das cultivares à aplicação de nitrogênio, para produção de grãos, foi fortemente influenciada pelo aumento do número de panículas/vaso. A existência de uma estreita relação entre o

rendimento de grãos e seus componentes, especialmente o número de panículas/m², está de acordo com Aguilar (1994). Carmona e Markus (1973); Soares e Moraes (1983), também verificaram que as variações de rendimento de grãos foram provocadas, principalmente, por variações do número de panículas/m². De Datta (1981) comprovou que o número de panículas por unidade de área é, de um modo geral, o componente que mais influi na produção de grãos em resposta ao nitrogênio.

O maior número de panículas/vaso produzido pela Capivari em resposta às maiores dosagens de nitrogênio, certamente, foi o responsável pela maior produção de grãos dessa cultivar.

TABELA 4 - Número de panículas/vaso de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	11	23	29	38	45	28 a
Inca	9	20	26	32	39	24 b
Sapucai	8	19	25	33	37	23 b
Média	9	21	27	34	40	25

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,05)

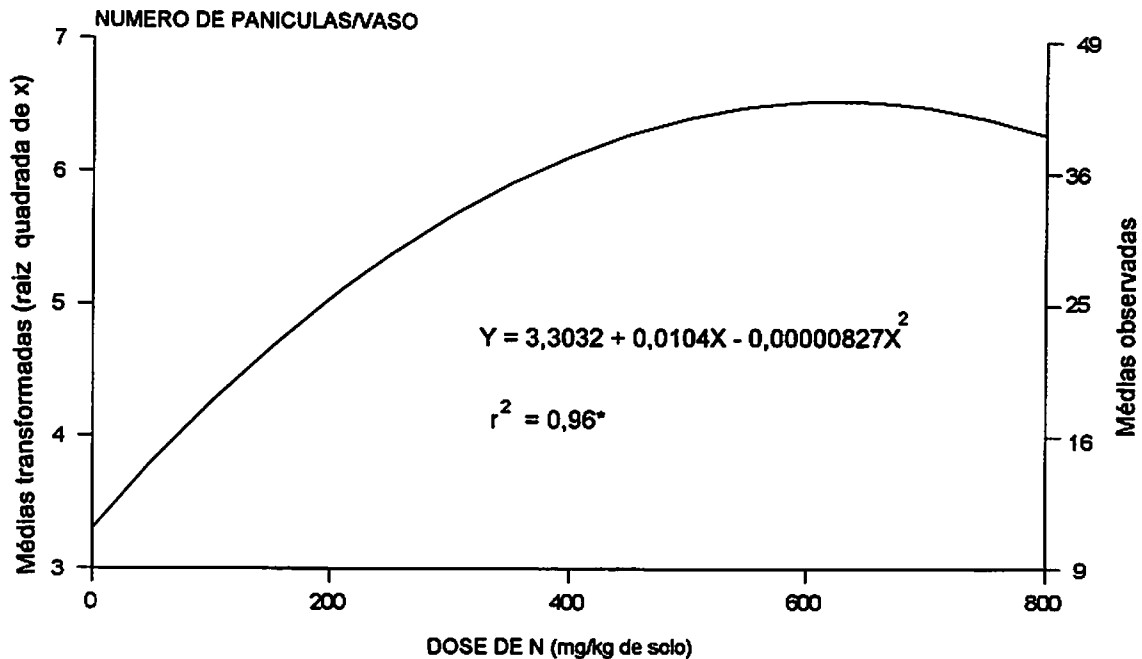


FIGURA 1 - Número médio de panículas/vaso de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

4.1.2. Número de grãos/panícula

A Tabela 5 mostra o número total de grãos/panícula produzidos pelas cultivares Capivari, Inca e Sapucaí. Nota-se que houve diferença estatística significativa (Tukey - 0,05) entre a cultivar Inca e as outras duas, a qual apresentou maior número de grãos/panícula, na média das cinco dosagens de nitrogênio. Não houve interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio. Através da Figura 2, pode-se ver que, na média, as cultivares responderam de forma quadrática à aplicação de nitrogênio, aumentando o número de grãos/panícula com o incremento

das doses de nitrogênio até atingir um máximo e depois decrescer com as dosagens mais elevadas do elemento.

Os resultados obtidos nesse trabalho para número de grãos/panícula concordam com o de vários autores (De Datta, Tauro e Balaoing, 1968; Carmona e Markus, 1973; Soares e Morais, 1983; Husain e Sharma, 1991; Aguilar, 1994) que também verificaram aumento no número de grãos/panícula com a aplicação de nitrogênio, entretanto, De Datta, Tauro e Balaoing (1968) afirmam que a influência do nitrogênio no número de grãos/panícula é menor que o efeito sobre o número de panículas.

O número de grãos/panícula apresentou uma alta correlação ($r = 0,94^{**}$) com a produção de grãos, entretanto, De Datta (1981) afirma que há uma tendência em decrescer o número de grãos/panícula, quando se aumenta o número de panículas por unidade de área, indicando que existe uma correlação negativa entre esses dois componentes. Pela Tabela 4, nota-se que, independentemente das dosagens de nitrogênio, a cultivar Capivari apresentou um maior número de panículas/vaso do que a Inca e Sapucaí. O mesmo não ocorreu para número de grãos/panícula (Tabela 5), o que confirma a existência de correlação negativa entre os dois componentes.

Com relação ao número de grãos cheios/panícula, observa-se pela Figura 3 que o comportamento das cultivares não foi diferente do apresentado para número total de grãos/panícula, ou seja, na média as cultivares responderam de forma quadrática à aplicação de nitrogênio. Não houve interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio. Através da Tabela 6, pode-se verificar que a cultivar Inca apresentou número de grãos cheios/panícula estatisticamente (Tukey - 0,01) maior que a cultivar Sapucaí, mas não se diferenciou da cultivar Capivari. O aumento no número de grãos

cheios/panícula, com o incremento das doses de nitrogênio, na média das cultivares, concorda com Perdomo et al. (1985) de que plantas com alta capacidade fotossintética e bem nutridas, produzem grande quantidade de carboidratos durante as fases reprodutiva e de maturação e, conseqüentemente, maior número de grãos cheios/panícula.

As cultivares Inca e Capivari se comportaram diferentemente com relação a número total de grãos/panícula e número de grãos cheios/panícula, ou seja, a Inca apresentou número total de grãos/panícula estatisticamente maior do que a Capivari (Tabela 5), mas o número de grãos cheios/panícula foi estatisticamente igual entre as duas (Tabela 6), na média das cinco dosagens de nitrogênio, o que demonstra que a Inca compensou o menor número de panículas/vaso com maior número total de grãos/panícula, mas por outro lado apresentou maior esterilidade de grãos do que a Capivari, conforme pode ser observado na Tabela 7.

TABELA 5 - Número total de grãos/panícula de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Inca	64	110	124	133	125	110 a
Sapucai	55	95	96	117	133	98 b
Capivari	65	96	97	103	101	92 b
Média	61	100	106	118	120	100

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,05)

TABELA 6 - Número de grãos cheios/panícula de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Inca	49	88	100	107	100	88 a
Capivari	57	84	84	87	87	80 ab
Sapucai	49	76	71	87	94	74 b
Média	52	83	85	94	94	81

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,01)

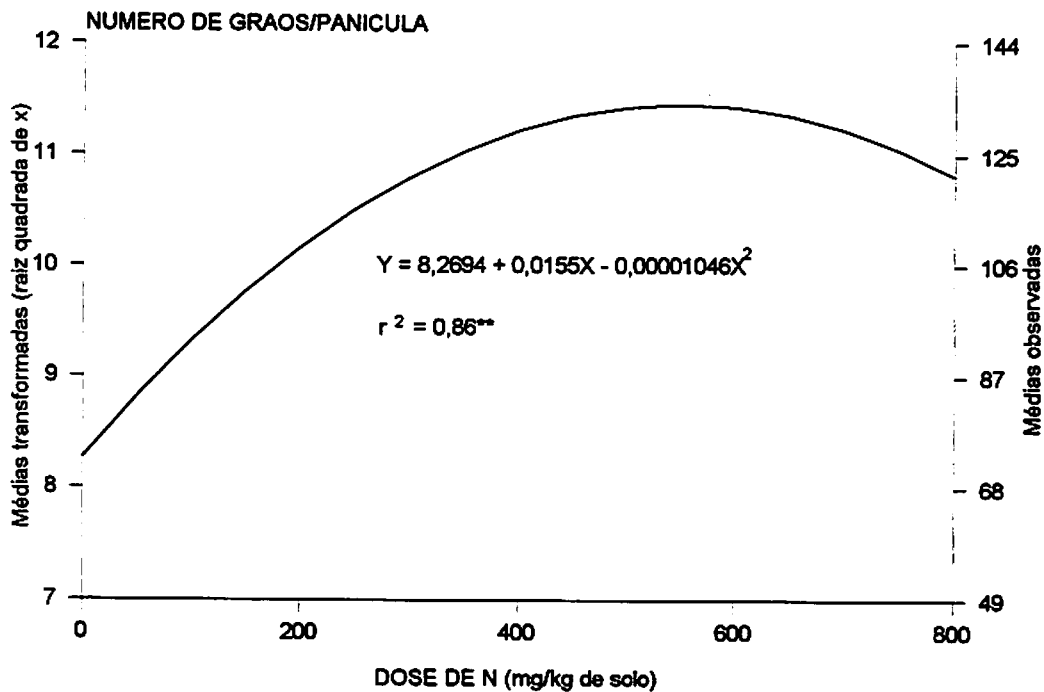


FIGURA 2 - Número médio de grãos/panícula de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

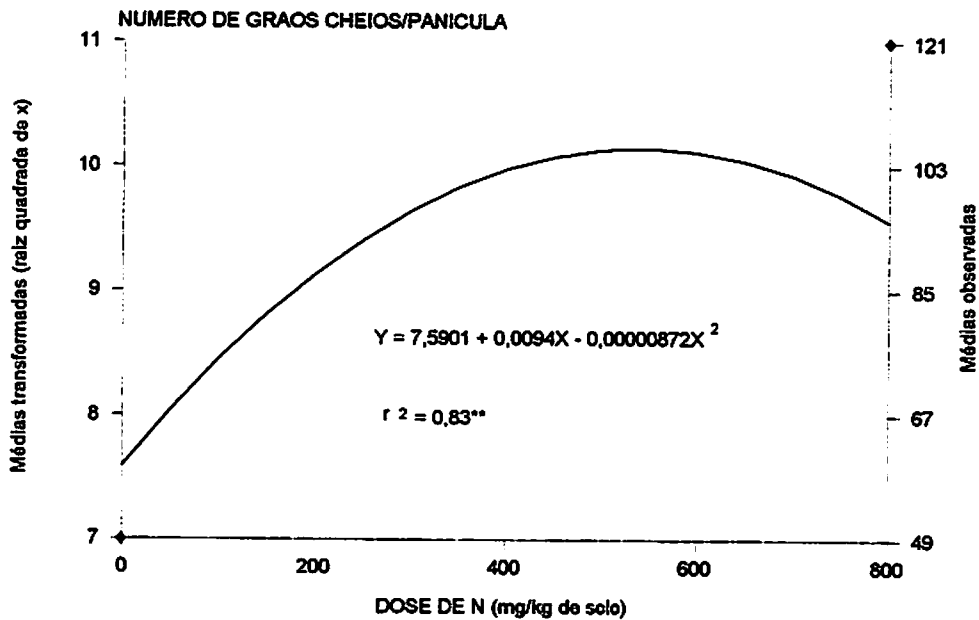


FIGURA 3 - Número médio de grãos cheios/panícula de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

4.1.3. Percentagem de grãos cheios

Na Tabela 7, são apresentados os resultados de percentagem de grãos cheios das cultivares Capivari, Inca e Sapucaí sob cinco dosagens de nitrogênio. A cultivar Capivari apresentou uma maior percentagem de grãos cheios (87%), na média das cinco dosagens de nitrogênio, superando estatisticamente (Tukey - 0,01) as outras duas. Entretanto, as cultivares Inca (80%) e Sapucaí (78%) que apresentaram valores menores, não diferiram entre si, pelo mesmo teste e nível de significância. A percentagem de grãos cheios decresceu linearmente, na média das três cultivares, à medida que se incrementou as doses de nitrogênio (Figura 4). Estes resultados

também foram observados por vários autores (Gomes, Patella e Vahl, 1976; Wells e Faw, 1978; Machado, 1981; Husain e Sharma, 1991; Aguilar, 1994).

Analisando os dados médios de percentagem de grãos cheios e de rendimento de grãos, detectou-se uma correlação negativa ($r = -0,98$), entre esses caracteres, que também foi observada por Wells e Faw (1978), onde altas doses de nitrogênio foram associadas com o aumento da percentagem de grãos vazios, só que essa correlação foi positiva. Em contraposição, resultados obtidos por Husain e Sharma (1991) e Aguilar (1994) demonstraram que a redução na percentagem de grãos cheios foi a causa do decréscimo na produção de grãos, quando se aplicaram doses elevadas de nitrogênio.

Apesar de não ter havido interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio, os resultados obtidos para a cultivar Sapucaí mostram uma redução maior na percentagem de grãos cheios nas doses mais elevadas de nitrogênio (Tabela 7), confirmando observações de Yoshida (1981) de que algumas cultivares de arroz podem apresentar maior esterilidade de espiguetas do que outras em níveis altos de nitrogênio.

Essa pode ser uma das possíveis causas do menor rendimento de grãos da cultivar Sapucaí, o que pode ser verificado quando se compara, por exemplo, esta cultivar com a Capivari. A cultivar Capivari que foi mais produtiva apresentou também maior percentagem de grãos cheios, na média das cinco dosagens de nitrogênio. Embora tenha havido resposta até doses mais elevadas de nitrogênio, o menor rendimento de grãos da cultivar Sapucaí indica uma menor eficiência de utilização de nitrogênio para formação de grãos.

TABELA 7 - Percentagem de grãos cheios de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	89	88	87	84	86	87 a
Inca	78	80	81	80	80	80 b
Sapucai	88	81	73	74	70	78 b
Média	85	83	80	79	78	81

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,01)

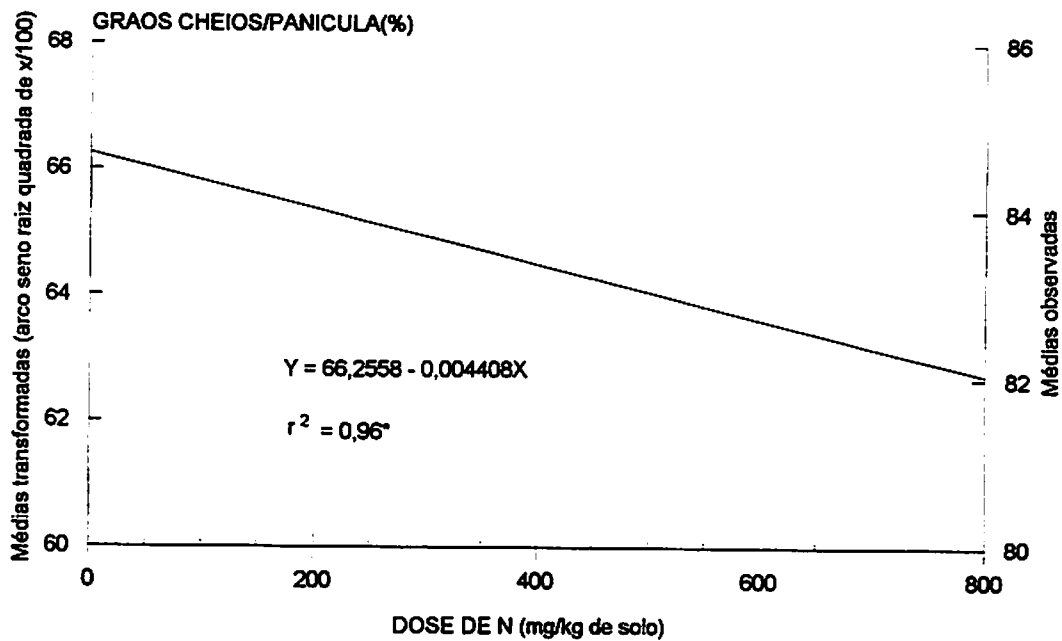


FIGURA 4 - Percentagem de grãos cheios de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

4.1.4. Peso de 100 grãos

Na Tabela 8, são apresentados os resultados de peso de 100 grãos das três cultivares sob as cinco dosagens de nitrogênio. Houve diferença significativa (Tukey - 0,01) entre as cultivares, tendo a cultivar Capivari apresentado maior peso de 100 grãos em relação às cultivares Inca e Sapucaí, sendo que estas não diferiram estatisticamente entre si.

Os resultados de peso de 100 grãos mostraram interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio (Figura 5). O peso de 100 grãos das cultivares Inca e Sapucaí se correlacionou negativamente com as doses de nitrogênio, ou seja, o peso de 100 grãos decresceu de forma linear para as cultivares Inca e Sapucaí conforme se aumentaram as doses de nitrogênio. Estes resultados estão de acordo com vários autores (De Datta, Tauro e Balaoing, 1968; Carmona e Markus, 1973; Gomes, Patella e Vahl, 1976; Machado, 1981; Soares e Moraes, 1983; Aguilar, 1994) que também verificaram redução no peso de 100 grãos com o incremento de doses de nitrogênio. Ao contrário, a cultivar Capivari não apresentou o mesmo comportamento, ou seja, as doses de nitrogênio não tiveram influência sobre o peso de 100 grãos. Neste caso, o coeficiente de determinação, que avalia a precisão de ajuste dos dados da equação de regressão, foi muito baixo ($r^2 = 0,27$). Esse resultado indica, teoricamente, que houve algum problema não detectado na condução do experimento mas isto é pouco provável, uma vez que para os outros parâmetros ocorreram bons ajustamentos, ou que a cultivar Capivari mostra alta estabilidade para peso de 100 grãos. Assim, as pequenas variações ocorridas são devidas aos erros normais de avaliação.

O peso de 100 grãos apesar de ter se correlacionado negativamente

($r = -0,94$) com o rendimento de grãos, na média das três cultivares, teve pouca influência sobre esse parâmetro, concordando com trabalho citado por Mueller (1980), com a cultivar IR 8, em que o rendimento de grãos não apresenta variação muito grande em função da percentagem de grãos cheios e do peso de 1.000 grãos. Por outro lado, Aguilar (1994) afirma que a redução no peso de grãos é uma das causas do decréscimo no rendimento de grãos quando se aplicam doses elevadas de nitrogênio.

A menor resposta da cultivar Capivari à aplicação de nitrogênio, para número total de grãos/panícula, em relação à Inca e Sapucaí (Tabela 5) e para número de grãos cheios/panícula, em relação a Inca (Tabela 6), pode ter contribuído para a estabilidade do peso de 100 grãos dessa cultivar.

A alta estabilidade da Capivari para peso de 100 grãos pode ser a principal causa de seu maior potencial de produção de grãos, uma vez que ela respondeu positivamente às maiores doses de nitrogênio com o número total de grãos/panícula e com o número de grãos cheios/panícula.

TABELA 8 - Peso de 100 grãos (g) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	2,33	2,38	2,33	2,35	2,38	2,35 a
Inca	2,40	2,35	2,26	2,15	2,08	2,25 b
Sapucaí	2,38	2,29	2,28	2,13	2,06	2,23 b
Média	2,37	2,34	2,29	2,21	2,17	2,28

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,01)

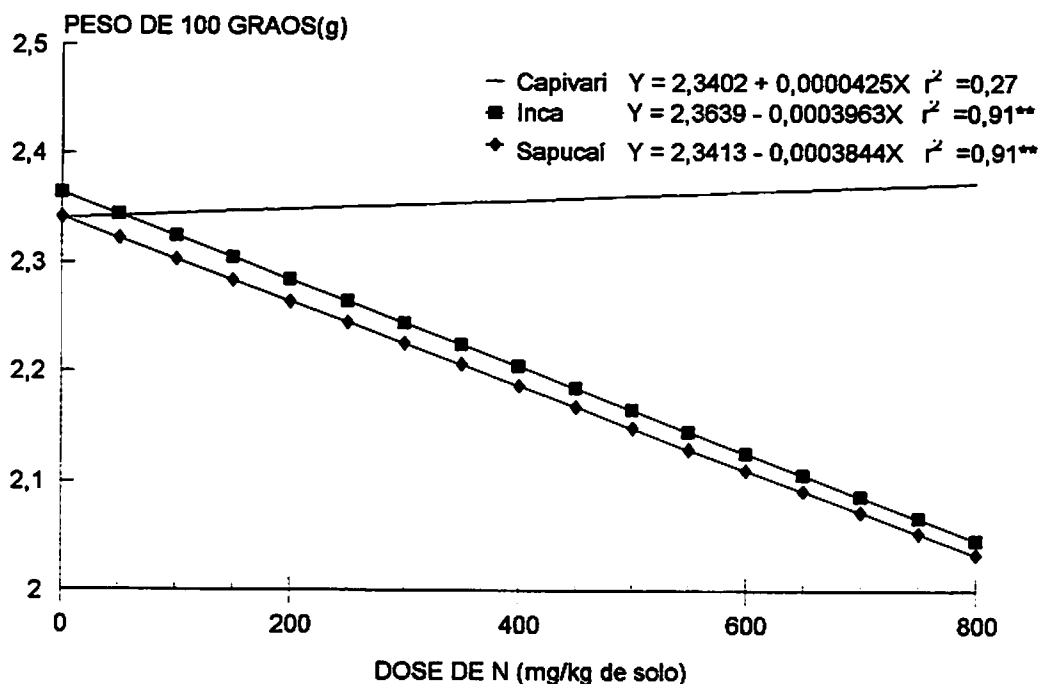


FIGURA 5 - Peso de 100 grãos (g) de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

4.2. Influência do nitrogênio sobre o rendimento de grãos

Os resultados de rendimento de grãos das três cultivares de arroz, sob as cinco dosagens de nitrogênio, são apresentados na Tabela 9. Observa-se que houve comportamento diferencial entre as cultivares. A Capivari (54,3 g/vaso) e Inca (51,8 g/vaso) foram as mais produtivas, não diferindo estatisticamente (Tukey - 0,01) entre si, mas diferiram da cultivar Sapucaí que produziu apenas 43,2 g/vaso. O rendimento de grãos aumentou com o incremento das doses de nitrogênio para todas as cultivares, observando inclusive interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio. Vários autores (Rao et al., 1980; Prasad, Sharma e Ojha, 1982; Dalai e Dixit, 1987; Deshmukh et al., 1988; Saikia et al., 1988; Thakur, 1989; Thakur, 1993) também verificaram interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio para produção

de grãos, confirmando que diferentes cultivares de arroz respondem de modo peculiar às diferentes doses de nitrogênio.

A Figura 6 mostra o rendimento de grãos das cultivares Capivari, Inca e Sapucaí sob as cinco dosagens de nitrogênio. Nota-se que a resposta foi quadrática, mas o rendimento máximo estimado da Capivari não foi atingido com a dosagem máxima de nitrogênio aplicado (800 mg de N/kg de solo). Através da equação de regressão obtida para esta cultivar estimou-se a dosagem de nitrogênio que atingiria o máximo rendimento de grãos, a qual foi de 1.063 mg de N/kg solo. Apesar de não ter diferenciado estatisticamente da Inca, a cultivar Capivari apresenta maior potencial para produção de grãos tendo em vista que a mesma não atingiu o máximo rendimento de grãos para a dose de N utilizada.

Com relação ao comportamento das cultivares Inca e Sapucaí, observa-se que a resposta também foi quadrática, ou seja, atingiu um máximo de rendimento de grãos mas depois diminuiu com o aumento das doses de nitrogênio. Os máximos rendimentos de grãos estimados, das cultivares Inca e Sapucaí, foram obtidos com as doses de 746 e 584 mg de N/kg de solo, respectivamente.

A eficiência de uso do nitrogênio aplicado pode ser medida ou calculada pela relação produção de grãos/quantidade de N aplicado ao solo. Esta relação, na média das cinco dosagens de nitrogênio, foi de 36,2; 34,5 e 28,8, para as cultivares Capivari, Inca e Sapucaí, respectivamente. Observe que a cultivar Sapucaí foi menos eficiente na utilização do nitrogênio aplicado para produção de grãos.

A relação produção de grãos/quantidade de N aplicado, na média das três cultivares, foi de 33,2. Este valor está acima dos relatados por Leon e Arregocés (1985), onde vários trabalhos mostram que a média mundial de aumento de rendimento

de grãos, com o uso da adubação nitrogenada, está entre 21 e 24 kg de grãos por unidade de nitrogênio, apesar de que o incremento em rendimento pode chegar a 41 kg de arroz/kg de N aplicado.

Esses resultados evidenciam claramente que a cultivar Capivari é superior à Inca e a Sapucaí no tocante ao aproveitamento do N. Logo, deverá ser a cultivar preferida para cultivo em ambientes onde há maior disponibilidade desse elemento.

TABELA 9 - Rendimento de grãos (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	13,9	41,7	54,9	63,6	97,4	54,3 a
Inca	13,1	40,4	54,0	65,3	86,2	51,8 a
Sapucaí	10,8	32,5	48,2	61,6	62,8	43,2 b
Média	12,6	38,2	52,4	63,5	82,1	49,8

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,01)

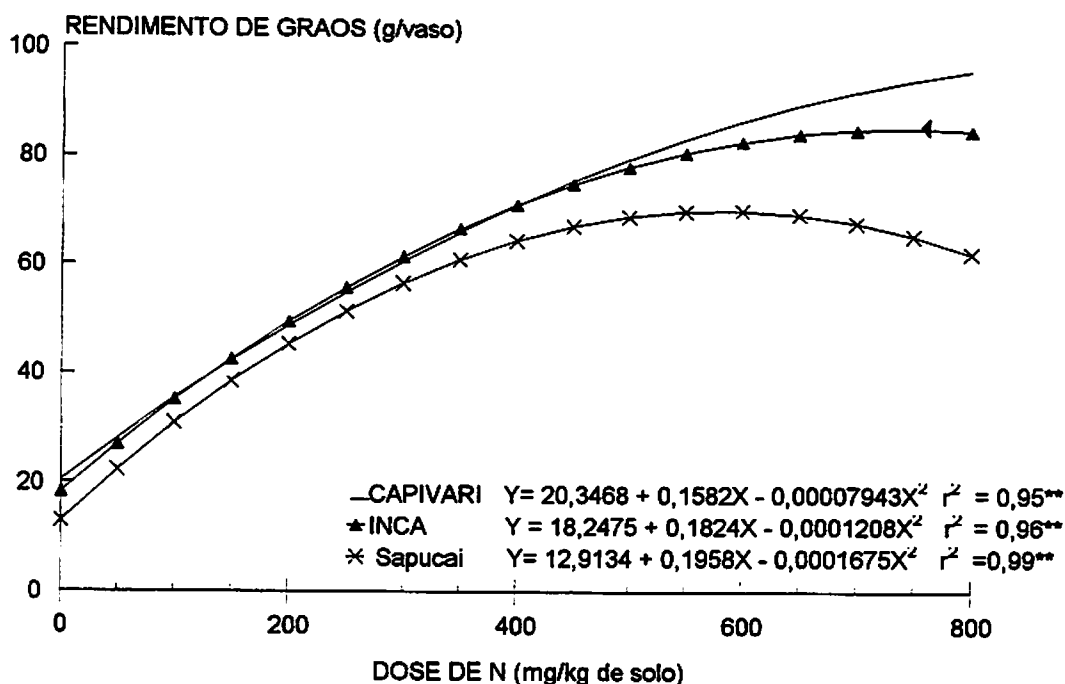


FIGURA 6 - Rendimento de grãos (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

4.3. Efeito do nitrogênio sobre outros parâmetros

4.3.1. Altura das plantas

A altura de plantas (cm) das três cultivares, em função das cinco dosagens de nitrogênio, é mostrada na Figura 7. Observa-se que a resposta na média das cultivares foi quadrática, ou seja, a altura das plantas aumentou-se com o incremento das doses de nitrogênio, mas decresceu com dosagens mais elevadas. Não houve interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio. A Inca diferiu estatisticamente (Tukey - 0,01) das outras duas, apresentando a maior altura das plantas (80 cm), na média das cinco dosagens de nitrogênio, enquanto as cultivares Capivari e Sapucaí foram iguais estatisticamente, com uma altura média de plantas de 75 cm (Tabela 10).

Apesar de apresentar uma maior altura de plantas do que as outras duas cultivares, a Inca foi menos produtiva que a cultivar Capivari, provavelmente devido a um menor número de panículas e menor percentagem de grãos cheios. Resultados obtidos por Husain e Sharma (1991) mostram que altas doses de nitrogênio incrementaram a altura das plantas mas reduziu a percentagem de grãos cheios.

A maior altura de plantas da cultivar Inca pode ser a explicação da menor percentagem de grãos cheios dessa cultivar, em relação a Capivari; isto porque o autosombreamento reduz a percentagem de grãos cheios devido a menor atividade fotossintética. Por outro lado, a Capivari apresentou peso de matéria seca da parte aérea estatisticamente igual à Inca, indicando que a mesma foi menos afetada pelo autosombreamento.

TABELA 10 - Altura de plantas (cm) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Inca	70	77	85	86	83	80 a
Capivari	63	74	80	78	79	75 b
Sapucai	69	72	79	77	75	75 b
Média	67	74	81	80	79	77

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,01)

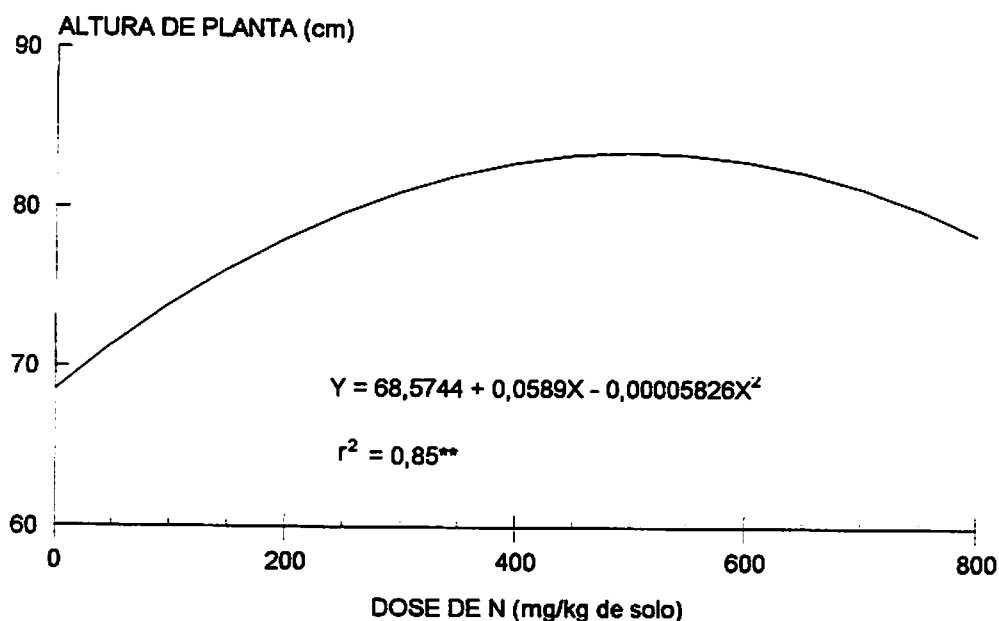


FIGURA 7 - Altura média de plantas (cm) de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

4.3.2. Matéria seca (grãos, palha e parte aérea)

As cultivares responderam de modo diferente à aplicação de nitrogênio com relação ao peso de matéria seca nos grãos, havendo entretanto, diferença estatística (Tukey - 0,01) entre a cultivar Sapucaí e as outras duas (Tabela 11). Também houve interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio. Observa-se que as cultivares Capivari e Inca apresentaram os maiores pesos de matéria seca nos grãos, na média das cinco dosagens de nitrogênio, com valores de 47,2 e 45,1 g/vaso, respectivamente, enquanto a cultivar Sapucaí apresentou o menor peso (37,6 g/vaso). Todas as cultivares responderam à aplicação de nitrogênio de forma quadrática, ou seja, o peso de matéria seca nos grãos aumentou-se com o incremento das doses de nitrogênio (Figura 8), atingindo um máximo para as cultivares Inca e Sapucaí e em seguida decrescendo com as dosagens mais elevadas de nitrogênio. A cultivar

Capivari respondeu até a dosagem máxima de nitrogênio aplicada, não atingindo o ponto máximo de matéria seca nos grãos, à semelhança do ocorrido para rendimento de grãos.

Com relação ao peso da matéria seca na palha, as cultivares também responderam diferentemente à aplicação de nitrogênio, havendo interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio. Assim como para os grãos, todas as cultivares responderam à aplicação de nitrogênio de forma quadrática (Figura 9), aumentando com o incremento das doses de nitrogênio até um ponto máximo e em seguida decrescendo com as dosagens mais elevadas, com exceção da cultivar Inca que não atingiu o peso máximo de matéria seca na palha. As cultivares diferiram estatisticamente (Tukey - 0,01), na média das cinco dosagens de nitrogênio, como pode ser visto na Tabela 12, com as cultivares Capivari e Inca apresentando pesos de matéria seca na palha de 69,5 e 67,1 g/vaso, respectivamente, enquanto o peso de matéria seca da cultivar Sapucaí foi menor (53,4 g/vaso).

Os resultados de peso de matéria seca total da parte aérea (palha + grãos) das cultivares Capivari, Inca e Sapucaí, são mostrados na Figura 10. Observa-se um efeito quadrático das doses de nitrogênio sobre o peso da matéria seca da parte aérea para todas as cultivares, entretanto, houve interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio. Através da Tabela 13, observa-se que as cultivares Capivari (116,7 g/vaso) e Inca (112,1 g/vaso) diferiram estatisticamente (Tukey - 0,01) da cultivar Sapucaí (91 g/vaso), na média das cinco dosagens de nitrogênio. Os resultados indicam que a cultivar Sapucaí é menos eficiente na produção de matéria seca com a aplicação de nitrogênio.

Através da equação de regressão obtida para cada cultivar, estimou-se a

dosagem de nitrogênio correspondente ao peso máximo de matéria seca atingido. Observa-se que o peso máximo de matéria seca da parte aérea da cultivar Inca não foi atingido com a dosagem máxima de nitrogênio aplicado, sendo que a dose de nitrogênio a ser aplicada para se atingir o peso máximo de matéria seca seria de 814 mg de N/kg de solo. Os pesos máximos de matéria seca das cultivares Capivari e Sapucaí foram atingidos com as doses de 746 e 622 mg de N/kg de solo, respectivamente.

Na média das três cultivares houve uma alta correlação ($r = 0,98$) entre número de panículas/vaso e peso da matéria seca da parte aérea (palha + grãos) que, por sua vez, foi também altamente correlacionada ($r = 0,99$) com a produção de grãos, em função das doses de nitrogênio aplicado. Estes resultados concordam com Yoshida e Parao (1972) em que o crescimento da área foliar é altamente correlacionado com a formação de perfilhos e produção de grãos. Os autores afirmam ainda que o fato de o peso da matéria seca aumentar até certo ponto e depois decrescer, com o aumento do crescimento da área foliar, é que a partir daí, aumenta o sombreamento mútuo das folhas e a taxa fotossintética decresce.

TABELA 11 - Peso de matéria seca dos grãos (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	12,1	36,3	47,7	55,3	84,7	47,2 a
Inca	11,4	35,1	47,0	56,8	74,9	45,1 a
Sapucaí	9,3	28,3	42,0	53,5	54,7	37,6 b
Média	10,9	33,2	45,6	55,2	71,4	43,3

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,01)

TABELA 12 - Peso de matéria seca da palha (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	16,2	45,9	72,3	98,7	114,5	69,5 a
Inca	13,0	45,6	66,6	89,0	121,0	67,1 a
Sapucaí	12,5	37,2	56,6	75,0	85,9	53,4 b
Média	13,9	42,9	65,2	87,6	107,1	63,3

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,01)

TABELA 13 - Peso de matéria seca da parte aérea (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	28,3	82,2	120,0	154,1	199,2	116,7 a
Inca	24,5	80,7	113,6	145,8	195,9	112,1 a
Sapucai	21,8	65,4	98,6	128,5	140,6	91,0 b
Média	24,9	76,1	110,7	142,8	178,6	106,6

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,01)

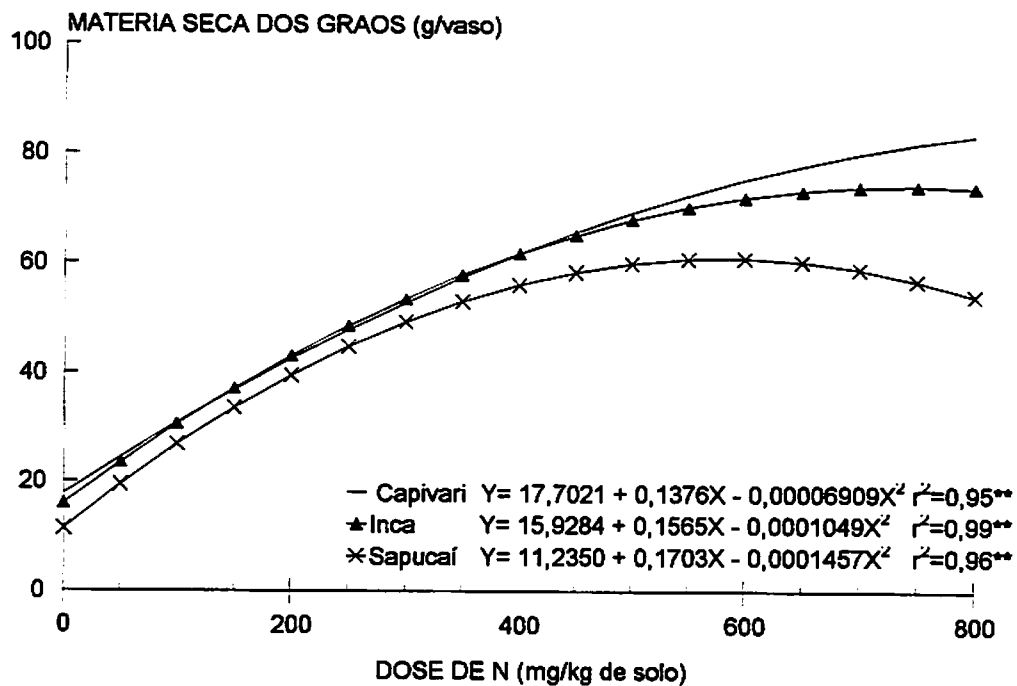


FIGURA 8- Peso de matéria seca dos grãos (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

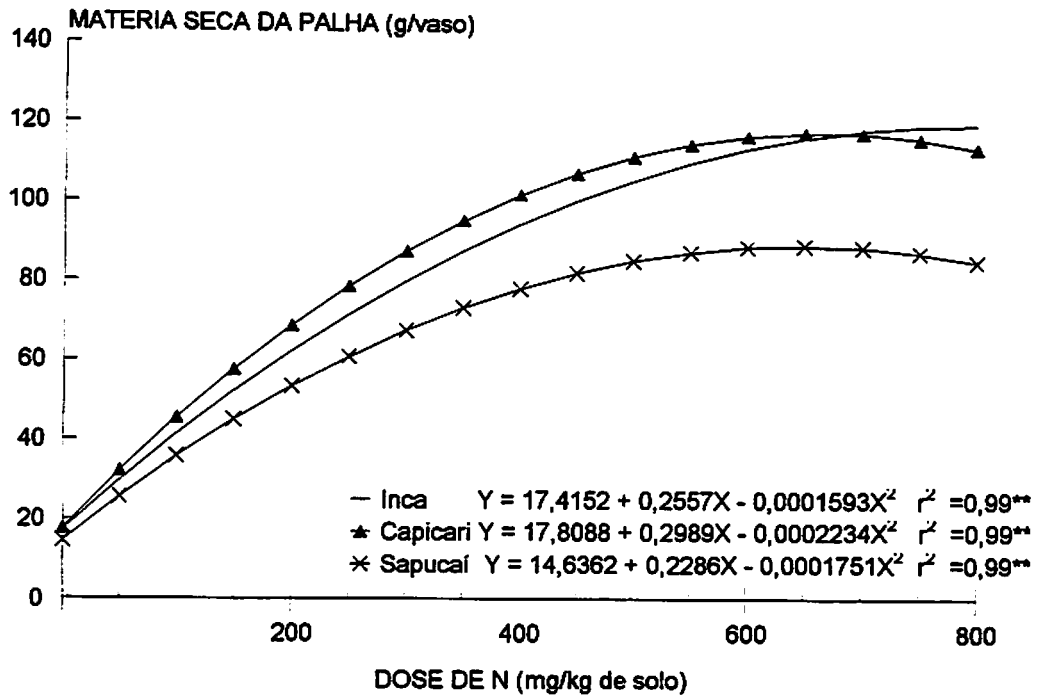


FIGURA 9- Peso de matéria seca de palha (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

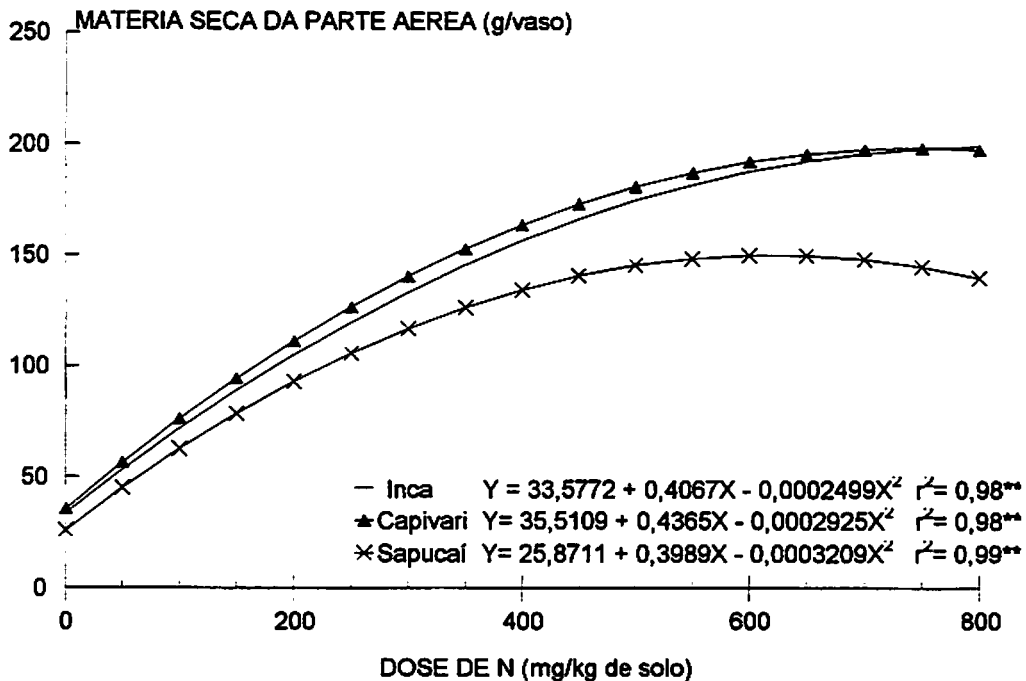


FIGURA 10 - Peso de matéria seca da parte aérea (g/vaso) de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996

4.3.3. Índice de colheita

A Tabela 14 mostra os índices de colheita das três cultivares sob as cinco dosagens de nitrogênio. Nota-se que o índice de colheita decresceu em todas as cultivares com o incremento das doses de nitrogênio, o que é explicado pelo aumento da área foliar, aumentando conseqüentemente o peso de matéria seca da parte aérea em valores acima do aumento de rendimento de grãos. Samantaray, Panda e Patnaik (1993) também verificaram que a aplicação de nitrogênio promoveu crescimento vegetativo aumentando a produção de palha e, como conseqüência, decresceu o índice de colheita de todas as cultivares estudadas.

As cultivares não diferiram estatisticamente (Tukey - 0,05) entre si, o que já era esperado, visto que elas são bastante semelhantes. As cultivares Inca e Sapucaí apresentaram um índice de colheita de 0,48, na média das cinco dosagens de nitrogênio, enquanto a cultivar Capivari apresentou um valor de 0,47. Estes valores estão de acordo com Yoshida (1981), que relata que o índice de colheita das cultivares melhoradas de porte baixo é de 0,50. Os resultados concordam também com Malavolta e Fornasieri Filho (1983), que afirmam que a matéria seca dos grãos na cultura do arroz inundado pode chegar à metade do peso da matéria seca total acumulada.

Atualmente, os melhoristas de arroz estão trabalhando para aumentar o índice de colheita para algo em torno de 0,60 e conseqüentemente ampliar o potencial de rendimento de grãos das futuras cultivares (Krush, 1995).

TABELA 14 - Índice de colheita de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	0,49	0,51	0,46	0,41	0,49	0,47 a
Inca	0,53	0,50	0,48	0,45	0,44	0,48 a
Sapucai	0,49	0,50	0,49	0,48	0,45	0,48 a
Média	0,50	0,50	0,48	0,45	0,46	0,48

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,05)

4.3.4. Relação grãos/palha

Na Tabela 15 são mostrados os valores da relação grãos/palha das três cultivares sob as cinco dosagens de nitrogênio que à semelhança do índice de colheita, decresceu em todas as cultivares com o incremento das doses de nitrogênio sobretudo para a Inca e Sapucaí. Os resultados estão de acordo com Leon e Arregocés (1985). As cultivares também não diferiram estatisticamente (Tukey - 0,05) entre si. As cultivares Inca e Sapucaí apresentaram uma relação grãos/palha de 0,83, na média das cinco dosagens de nitrogênio, enquanto a cultivar Capivari apresentou um valor de 0,81. De acordo com Yoshida (1981) a relação grãos/palha pode chegar a 1,0 nas cultivares melhoradas.

A relação grãos/palha da Capivari apresentou oscilações e foi menos consistente do que a da Inca e Sapucaí. Observe que a Capivari não teve uma tendência decrescente, pois na dosagem de 800 mg/kg de solo a relação grãos/palha

voltou a crescer. Isso sugere que a Capivari responde mais à produção de grãos, quando se aumenta a palha, ou seja, ela é menos sensível ao autosombreamento.

TABELA 15 - Relação grãos/palha de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	0,87	0,92	0,76	0,65	0,85	0,81 a
Inca	1,00	0,90	0,81	0,73	0,71	0,83 a
Sapucai	0,86	0,87	0,87	0,82	0,74	0,83 a
Média	0,91	0,90	0,81	0,73	0,77	0,82

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,0-5)

4.4. Teor de nitrogênio na planta

Os teores de nitrogênio na palha das três cultivares sob as cinco dosagens de nitrogênio são apresentados na Tabela 16. Observa-se que o teor de nitrogênio na palha aumentou com o incremento das doses de nitrogênio para todas as cultivares. Houve diferença estatística significativa (Tukey - 0,01) entre a cultivar Sapucaí e as outras duas para teor de nitrogênio na palha. As cultivares Capivari e Inca por sua vez não diferiram estatisticamente (Tukey - 0,01). Os teores médios de N na palha foram de 7,8 g/kg para a Sapucaí, de 6,8 g/kg para a Inca e de 6,7 g/kg para a Capivari. Estes valores estão próximos aos encontrados por Ishizuka (1964), citado por Fornasieri Filho (1982), em que o teor de nitrogênio, na maturação completa, foi de 7,4 g/kg na palha. Furlani et al. (1977) também encontraram teores de nitrogênio

variando de 7,2 a 8,2 g/kg nas folhas e de 6,2 a 6,9 g/kg nos colmos. Von Uexkull (1976), citado por Aquino (1984), afirma que, para uma produção ótima de grãos, o teor de nitrogênio da folha, na colheita, deve estar entre 8,5 e 9,0 g/kg.

Detectou-se interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio para teor de nitrogênio na palha. O comportamento diferencial das três cultivares em função das doses de N aplicado podem ser observados através da Figura 11. As cultivares Capivari e Sapucaí responderam de forma quadrática, enquanto a resposta da cultivar Inca foi linear. O maior teor de nitrogênio na palha foi atingido pela cultivar Sapucaí (13,4 g/kg) quando se aplicou a dose máxima de nitrogênio (800 mg de N/kg de solo), enquanto para esta mesma dosagem de nitrogênio as cultivares Capivari e Inca apresentaram teores de nitrogênio de 11,1 e 10,9 g/kg, respectivamente (Tabela 16).

Os menores teores de nitrogênio encontrados na palha das cultivares Capivari e Inca, em relação a cultivar Sapucaí, é explicado pelo efeito de diluição do nitrogênio, haja visto que o peso de matéria seca da palha foi maior nessas cultivares, o que é confirmado por Furlani, Bataglia e Azzini (1986) que registraram decréscimo dos teores de nitrogênio nas partes das plantas à medida que aumentaram os pesos de matéria seca total.

A Tabela 17 mostra os teores de nitrogênio nos grãos das três cultivares de arroz sob as cinco dosagens de nitrogênio. Nota-se que houve diferença significativa (Tukey - 0,01) entre as cultivares, na média das cinco dosagens de nitrogênio, não havendo interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio. A cultivar Sapucaí apresentou o maior teor de nitrogênio nos grãos (15,8 g/kg), enquanto as cultivares Capivari e Inca não diferiram estatisticamente (Tukey - 0,05), entre si, sendo

que os teores de nitrogênio foram de 13,6 e 13,9 g/kg, respectivamente. Observa-se também que houve aumento linear no teor de nitrogênio com o incremento das doses na média das cultivares (Figura 12). A cultivar Sapucaí apresentou um teor de nitrogênio de 24,2 g/kg quando se aplicou a dosagem máxima de nitrogênio, enquanto as cultivares Capivari e Inca apresentaram teores de 19,6 e 19,9 g/kg, respectivamente (Tabela 17). Os resultados estão de acordo com a afirmação de Perdomo et al. (1985) em que o teor de nitrogênio nos grãos aumenta à medida que se aumenta as doses do elemento.

Os resultados obtidos, para a dosagem máxima de nitrogênio aplicado, também concordam com Wallihan, Mooman e De Datta (1974) que encontraram concentrações ótimas de nitrogênio nos grãos, em diferentes cultivares, variando de 18 a 25 g/kg em condições de campo. Por outro lado, Gargantini e Blanco (1965) e Ishizuka (1964), citado por Fornasieri Filho (1982), encontraram teores de 12,9 e 12,6 g/kg, respectivamente. Uma possível explicação para esses menores teores de nitrogênio nos grãos pode ser a utilização de cultivares de baixa resposta e/ou aplicação de níveis mais baixos de nitrogênio.

Analisando os teores de nitrogênio dos grãos em relação aos encontrados na palha, os resultados mostram que, por ocasião da maturação ou final de ciclo, a concentração de nitrogênio nos grãos é maior do que na palha.

Apesar de apresentar maior concentração de nitrogênio na palha e nos grãos, em relação as outras duas cultivares, a Sapucaí foi a menos produtiva, indicando uma menor eficiência de utilização do nitrogênio para a formação de grãos.

TABELA 16 - Teor médio de nitrogênio (g/kg) na palha de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de N. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	5,2	4,4	5,4	7,3	11,1	6,7 b
Inca	4,5	4,8	5,4	8,5	10,9	6,8 b
Sapucaí	5,2	5,6	6,1	8,5	13,4	7,8 a
Média	5,0	4,9	5,6	8,1	11,8	7,1

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,01)

TABELA 17 - Teor médio de nitrogênio (g/kg) nos grãos de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de N. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	10,3	10,2	12,5	15,5	19,6	13,6 b
Inca	10,3	11,2	13,0	15,1	19,9	13,9 b
Sapucaí	12,1	11,8	14,2	16,5	24,2	15,8 a
Média	10,9	11,1	13,2	15,7	21,2	14,4

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,01)

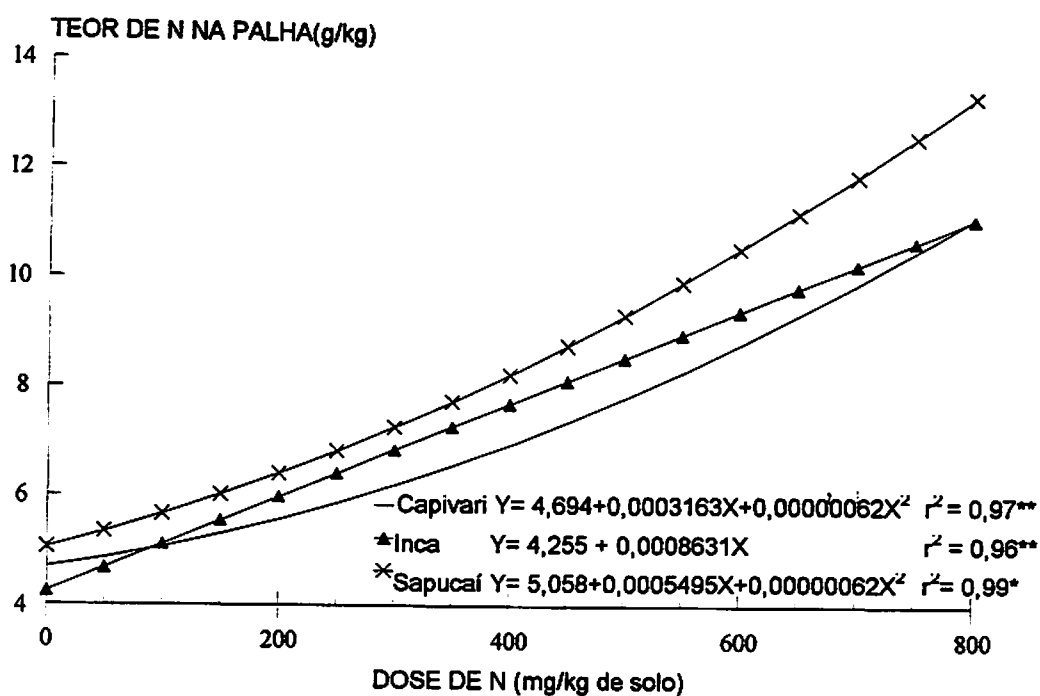


FIGURA 11 - Teor de nitrogênio na palha de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

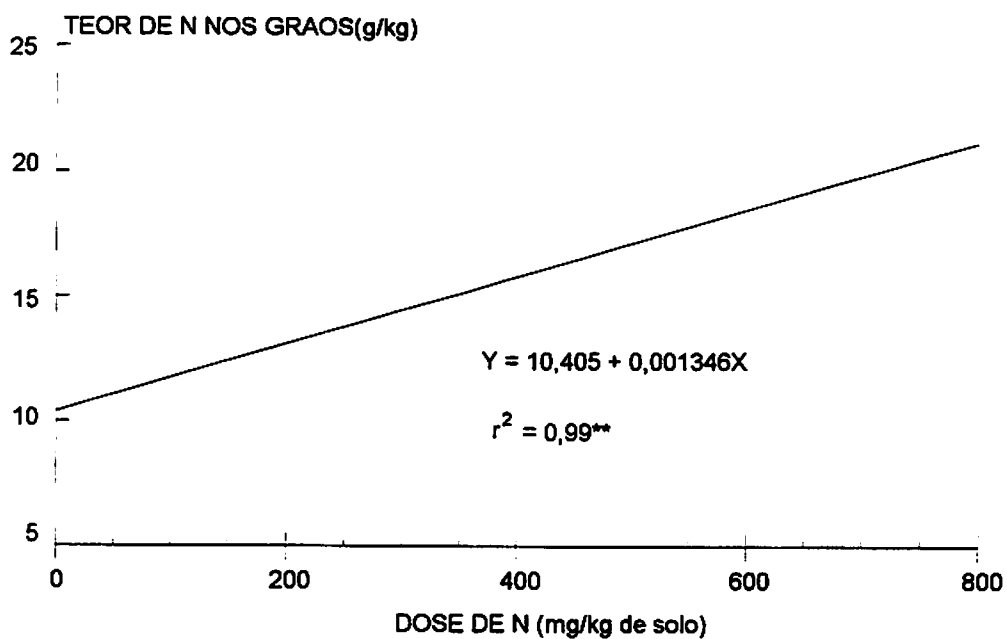


FIGURA 12 - Teor médio de nitrogênio nos grãos de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

4.5. Quantidade de nitrogênio na planta

Na Tabela 18 são mostradas as quantidades de nitrogênio (mg) na palha das três cultivares sob as cinco dosagens de nitrogênio. Não houve interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio. As cultivares Capivari e Inca diferiram estatisticamente (Tukey - 0,05) da cultivar Sapucaí, sendo que as quantidades de nitrogênio foram maiores nas cultivares Inca e Capivari que extraíram 543 e 536 mg de N/vaso, respectivamente. A cultivar Sapucaí apresentou uma menor quantidade de nitrogênio na palha (480 mg de N/vaso). Pela Figura 13, observa-se que as quantidades de nitrogênio na palha aumentaram linearmente na média das cultivares com o incremento das doses de nitrogênio. Com a aplicação da maior dosagem de nitrogênio, suas quantidades contidas na palha foram de 1.294 e 1.319 mg de N/vaso para as cultivares Capivari e Inca, respectivamente, enquanto a quantidade encontrada na cultivar Sapucaí foi de 1.140 mg de N/vaso (Tabela 18).

A quantidade de nitrogênio exportada pelos grãos também aumentou com o incremento das doses de nitrogênio, só que de forma quadrática (Figura 14), atingindo um valor médio para as três cultivares de 1.493 mg de N/vaso, quando se aplicou a maior dosagem de nitrogênio. As cultivares não diferiram estatisticamente (Tukey - 0,05) em relação a quantidade de nitrogênio exportada (Tabela 19), apesar dos dados mostrarem uma tendência de menor quantidade de nitrogênio nos grãos para a cultivar Sapucaí. Não houve interação significativa entre cultivares e doses de nitrogênio. A quantidade média de nitrogênio exportada pelas três cultivares, na média das cinco dosagens de nitrogênio, foi de 689 mg de N/vaso.

A Tabela 20 mostra a quantidade total de nitrogênio contida na parte aérea

(palha + grãos) das três cultivares sob as cinco dosagens de nitrogênio. A cultivar Sapucaí diferiu estatisticamente (Tukey - 0,05) das outras cultivares em relação à quantidade de nitrogênio extraída pela parte aérea. Na média das cinco dosagens de nitrogênio, a cultivar Capivari extraiu 1.260 mg de N/vaso, enquanto a Inca extraiu 1.249 mg de N/vaso, não se observando diferença estatística significativa entre elas. Por outro lado, a cultivar Sapucaí foi a que extraiu menor quantidade de nitrogênio do solo (1.129 mg de N/vaso).

A interação entre cultivares e doses de nitrogênio, para quantidade de nitrogênio extraída pela parte aérea, foi significativa indicando comportamento diferencial das cultivares (Figura 15). A resposta das cultivares Capivari e Inca foi linear, enquanto a cultivar Sapucaí respondeu de forma quadrática à aplicação de nitrogênio. A quantidade de nitrogênio extraída pela parte aérea aumentou em todas as cultivares com o incremento das doses de nitrogênio. As cultivares Capivari e Inca extraíram e translocaram para a parte aérea 2.940 e 2.806 mg de N/vaso, respectivamente, enquanto a cultivar Sapucaí extraiu e translocou apenas 2.466 mg de N/vaso, quando se utilizou a dosagem máxima de nitrogênio (Tabela 20).

Através das Tabelas 18, 19 e 20, observa-se que a cultivar Sapucaí extraiu menor quantidade de nitrogênio do que a Inca e Capivari, o que provavelmente está associado à menor produção de grãos dessa cultivar, confirmando assim uma menor eficiência na absorção e utilização do nitrogênio.

Os resultados obtidos demonstraram que, na média das três cultivares e das cinco dosagens de nitrogênio, 59% do nitrogênio total da parte aérea foi exportado pelos grãos (Tabela 21), o que reflete a translocação da maior parte do nitrogênio para os grãos. Estes resultados estão bem próximos dos encontrados por Reddy e Patrick

(1978) e Lopes, Volkweiss e Tedesco (1993) que verificaram valores de 60 e 62%, respectivamente, em seus experimentos. Os resultados, no entanto, diferem um pouco dos relatados por Malavolta (1979) em que os grãos, no final do ciclo, contém cerca de 66% do nitrogênio total da parte aérea.

Analisando a Tabela 20, pode-se fazer ainda uma comparação entre a quantidade de nitrogênio aplicado ao solo e a quantidade de nitrogênio extraída pela parte aérea (palha + grãos) para as três cultivares de arroz. Observa-se que à medida que se aumentaram as doses de nitrogênio, as quantidades de nitrogênio extraídas reduziram proporcionalmente, apesar de terem aumentado em valores absolutos. A relação nitrogênio extraído/nitrogênio aplicado foi de 1,19; 0,97; 0,79 e 0,68, para as dosagens de 100, 200, 400 e 800 mg/kg de solo, respectivamente. Logo, as plantas utilizaram mais o nitrogênio do solo quando doses menores do nutriente foram aplicadas, indicando que nem sempre as maiores dosagens devem ser as preferidas, uma vez que inibem uma maior absorção do nitrogênio do solo. Por outro lado, doses mais altas de nitrogênio facilitam a decomposição da matéria orgânica do solo pelos microorganismos, liberando mais nitrogênio aproveitável pelas plantas, além de promover um melhor desenvolvimento das plantas permitindo maior capacidade de explorar o solo e absorver mais nitrogênio.

Desta forma, a utilização de nitrogênio do solo pelas plantas pode ter sido também alta mesmo em altas doses de nitrogênio. A decomposição da matéria orgânica do solo estudado, que é considerada alta (3,5%), pode ter liberado mais nitrogênio para as plantas com a aplicação de altas doses de nitrogênio. Isto pode ser uma possível explicação para as altas relações N extraído/N aplicado, que foi de no mínimo 68% para a dosagem máxima aplicada. Fageria (1984), entretanto, afirma que

a absorção do nitrogênio aplicado na cultura do arroz pode chegar a 60-65%, utilizando melhor prática agrônômica, em condições controladas.

Do exposto, pode-se concluir que deve haver um ponto de equilíbrio, onde a dose ideal de nitrogênio a ser aplicada seja aquela que proporcione maior retorno econômico.

TABELA 18 - Quantidade média de nitrogênio (mg) na palha de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de N. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	84	202	392	727	1.274	536 a
Inca	59	219	357	761	1.319	543 a
Sapucai	65	208	349	637	1.140	480 b
Média	69	210	366	708	1.244	520

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,05)

TABELA 19 - Quantidade média de nitrogênio (mg) nos grãos de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de N. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	125	370	594	867	1.665	724 a
Inca	117	395	611	861	1.488	695 a
Sapucai	113	334	595	877	1.326	649 a
Média	118	366	600	868	1.493	689

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,05)

TABELA 20 - Quantidade média de nitrogênio (mg) na parte aérea (palha + grãos) de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de N. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ¹
	0	100	200	400	800	
Capivari	208	572	986	1.594	2.940	1.260 a
Inca	176	671	968	1.622	2.806	1.249 a
Sapucai	178	541	944	1.514	2.466	1.129 b
Média	187	595	966	1.577	2.737	1.212

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,05)

TABELA 21 - Percentagem de nitrogênio exportado pelos grãos em relação ao contido na parte aérea de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de N. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média
	0	100	200	400	800	
Capivari	60	65	60	54	57	59
Inca	66	59	63	53	53	59
Sapucai	63	62	63	58	54	60
Média	63	62	62	55	55	59

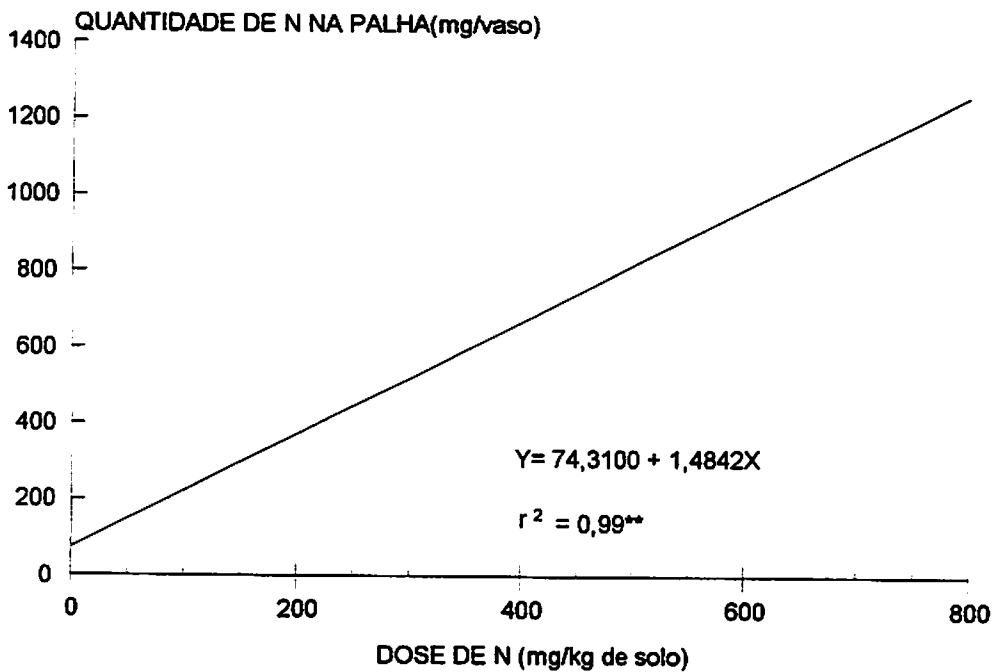


FIGURA 13 - Quantidade média de nitrogênio (mg) na palha de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

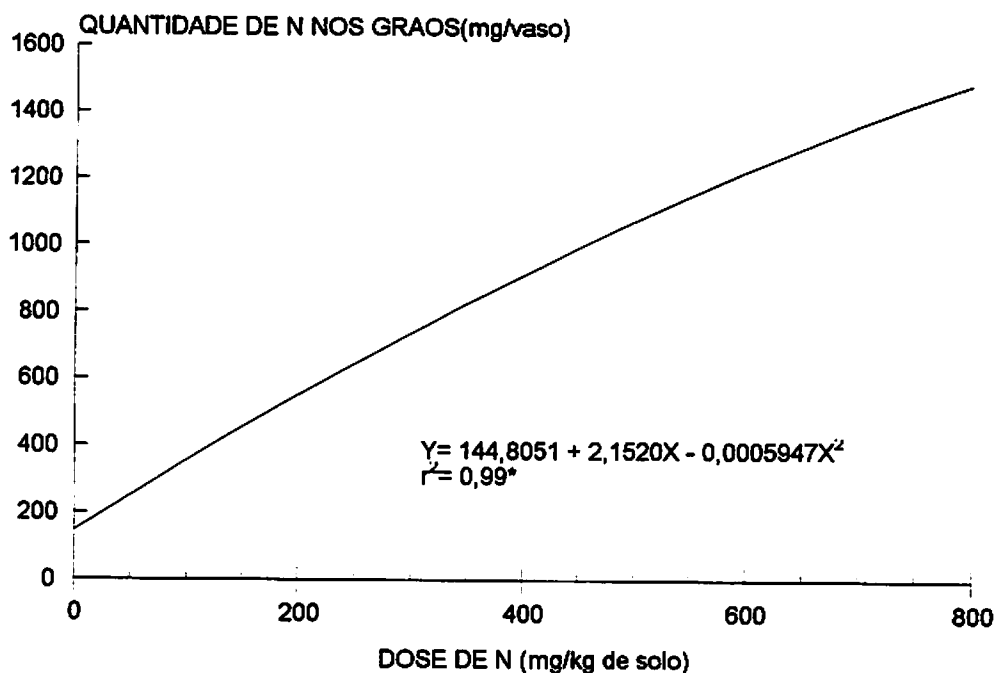


FIGURA 14 - Quantidade média de nitrogênio (mg) nos grãos de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

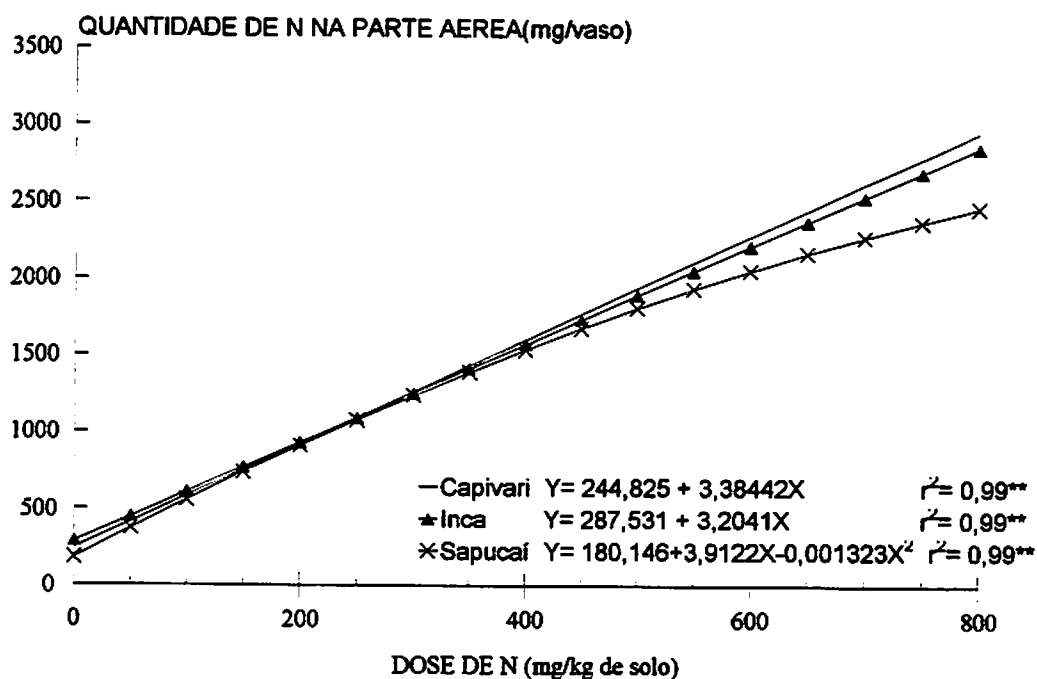


FIGURA 15- Quantidade de nitrogênio (mg) na parte aérea de três cultivares de arroz irrigado em função de cinco dosagens de nitrogênio. UFLA, 1996.

4.6. Eficiência de utilização de nitrogênio

A Tabela 22 mostra a eficiência de utilização de nitrogênio das três cultivares sob as cinco dosagens de nitrogênio. Nota-se que a eficiência de utilização foi reduzida à medida que se aumentaram as doses de nitrogênio, passando de um valor médio entre cultivares de 67,2 quando não se aplicou nitrogênio, para 29,7 com a aplicação da dosagem máxima de nitrogênio. Houve também diferença significativa (Tukey - 0,05) entre as cultivares para eficiência de utilização de nitrogênio. Na média das cinco dosagens de nitrogênio, os valores de eficiência de utilização foram de 53,8 e 52,6, para as cultivares Capivari e Inca, respectivamente. A cultivar Sapucaí apresentou uma eficiência de utilização de 47,5, sendo portanto, menor que das cultivares Capivari e Inca, indicando que a Sapucaí é menos eficiente na utilização de nitrogênio. Os resultados estão de acordo com Fageria e Barbosa Filho (1982) que evidenciam diferenças na utilização de nitrogênio entre as cultivares de arroz irrigado.

A eficiência de utilização de nitrogênio (produção de grãos/quantidade de nitrogênio extraída pela parte aérea), na média das três cultivares, foi de 51,3, estando de acordo com a afirmação de Yoshida (1981) de que a eficiência de uso de nitrogênio nos trópicos é de 50 kg de arroz/kg de nitrogênio.

O maior rendimento de grãos apresentado pela Capivari em experimentos de campo (Soares et al., 1995) e a maior resposta à aplicação de nitrogênio, em relação a Inca e Sapucaí, torna essa cultivar a mais indicada para plantio quando se utiliza adubação nitrogenada pesada, bem como em condições edafoclimáticas favoráveis.

Considerando que as cultivares de arroz diferem quanto a eficiência de

utilização de nitrogênio e que vários fatores de solo e clima afetam a utilização desse elemento pelas plantas, sugere-se a realização de novos trabalhos de pesquisa para avaliar a resposta de novas cultivares à aplicação de nitrogênio em diferentes regiões de cultivo.

TABELA 22 - Eficiência de utilização de nitrogênio (E)¹ de três cultivares de arroz irrigado sob cinco dosagens de N. UFLA, 1996.

Cultivar	Doses de N (mg/kg de solo)					Média ²
	0	100	200	400	800	
Capivari	66,8	73,0	56,3	39,6	33,1	53,8 a
Inca	74,5	61,7	55,8	40,4	30,6	52,6 a
Sapucai	60,4	60,1	51,2	40,7	25,3	47,5 b
Média	67,2	64,9	54,4	40,2	29,7	51,3

¹E = Produção de grãos (g/vaso)/Quantidade de N da parte aérea (palha + grãos) em g/vaso.

²Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey - 0,05)

5. CONCLUSÕES

- As cultivares testadas responderam de modo diferencial às doses crescentes de nitrogênio para rendimento de grãos, sendo que a dose máxima (800 mg de N/kg de solo) de nitrogênio não foi suficiente para a Capivari atingir o rendimento máximo, o qual, na média das cultivares, foi atingido com a dose de 726 mg de N/kg de solo.
- As cultivares Capivari, Inca e Sapucaí mostraram-se eficientes no tocante a resposta a nitrogênio, todavia, a Sapucaí não mostrou o mesmo desempenho das outras duas, sendo portanto menos responsiva.
- O menor potencial de rendimento de grãos da Sapucaí foi ocasionado notadamente pela menor percentagem de grãos cheios.
- O maior potencial de rendimento da Capivari deveu-se principalmente a sua estabilidade no peso de 100 grãos.
- Doses maiores de nitrogênio reduziram o peso de 100 grãos da Inca e da Sapucaí, mas não afetou o da Capivari, sugerindo que esta é mais eficiente no aproveitamento do nitrogênio, uma vez que para os outros componentes de produção, o desempenho foi semelhante ao da Inca e Sapucaí.
- Em solos mais férteis, com maior disponibilidade de nitrogênio, deve-se dar preferência à Capivari que responde mais a esse nutriente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, M. Influencia de la dosis del abonado nitrogenado de fondo sobre los componentes del rendimiento y el comportamiento agronomico del arroz. **Investigación Agraria Producción y Protección Vegetales**, Madrid, v.9, n.1, p.85-99, Junho, 1994.
- ANDRADE, W.E.B.; AMORIM NETO, S. Influência da adubação nitrogenada sobre o rendimento e outros parâmetros de duas cultivares de arroz irrigado na região Norte Fluminense. **Ciência e Agrotecnica**, Lavras, v.20, n.3, p.293-300, Jul/Set., 1996.
- ANDRADE, W.E.B.; FERNANDES, G.M.B.; NETO, S.A.; SILVA, J.A.C. Qualidade de grãos de arroz em função de níveis de nitrogênio. Niterói: PESAGRO, 1995. 6p. (Comunicado Técnico, 229).
- AQUINO, A.R.L. **Níveis e modos de aplicação da uréia-¹⁵N no arroz (*Oryza sativa* L.) submetido a veranicos**. Piracicaba: ESALQ, 1984. 134p. (Tese Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- BACHA, R.E.; LOPES, M.S. Efeito de níveis e épocas de aplicação de nitrogênio sobre o rendimento de grãos de cultivares de arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 12, Porto Alegre, 1983. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 1983. p.117-120.
- BARBOSA FILHO, M.P. Adubação do arroz de sequeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.14, n.161, p.32-38, 1989.
- BARBOSA FILHO, M.P. Nutrição e adubação do arroz (Sequeiro e Irrigado). Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e Fosfato, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9).
- BASAK, M.N. Nutrient uptake by rice plant and its effect on yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.54, n.5, p.373-376, Sep/Oct., 1962.
- BONILLA, J.A. **Curso de Métodos Estatísticos Aplicados às Pesquisas Agrícolas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1981. 106p.
- BRANDÃO, S.S. **Cultura do arroz**. Viçosa: UFV, 1974. 194p.
- BRANDON, D.M.; CROUGHAN, S.S.; GUSTAVSON, B.K.; MORRIS, H.F.; LEONARDS, W.J.; RAWLS, S.M. Nitrogen requirement of new rice varieties and the relationship between y-leaf N and grain yields. In: RICE RESEARCH STATION; **76th Annual Progress Report Louisiana**: Crowley, 1984. p.80-100.

- BROADBENT, F.E.; TUSNEEM, M.E. Losses of nitrogen from flooded soils in tracer experiments. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v.35, n.6, p.922-926, Nov/Dec., 1971.
- CARMONA, P.S.; MARKUS, R. Influência de níveis de nitrogênio e populações de plantas sobre o rendimento de grãos e componentes do rendimento de cultivares de arroz irrigado. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.9, n.1, p.91-103, 1973.
- CRASWEL, E.T.; VLEK, P.L.G. Greenhouse evaluation of nitrogen fertilizers for rice. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.43, n.6, p.1.184-1188, Nov/Dec., 1979.
- CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Solos de várzeas de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.152, p.3-10, 1988.
- DALAI, P.K.; DIXIT, L. Response of medium duration rice varieties to levels of nitrogen. **Indian Journal Agronomy**, New Delhi, v.32, n.3, p.286-287, September, 1987.
- DE DATTA, S.K. **Principles and practices of rice production**. New York: Ed. Wiley, 1981. 618p. ✕
- DE DATTA, S.K.; TAURO, A.C.; BALAOING, S.N. Effect of plant type and nitrogen level on the growth characteristics and grain yield of indica rice in the tropics. **Agronomy Journal**, Madison, v.60, n.6, p.643-647, Nov/Dec., 1968.
- DEL GIUDICE, R.M.; FREIRE, F.M.; TANAKA, R.T. Nutrição mineral e adubação do arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.5, n.55, p.40-50, Julho, 1979.
- DESHMUKH, M.R.; SHUKLA, R.K.; RAJPUT, R.P.; PARADKAR, V.K.; TIWARI, K.L. Response of early rice varieties to levels of fertility. **Indian Journal Agronomy**, New Delhi, v.33, n.1, p.10-13, March, 1988.
- FAGADE, S.O.; DE DATTA, S.K. Leaf index, tillering capacity and grain yield of tropical rice as affected by plant density and nitrogen level. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, n.3, p.503-506, May/June, 1971.
- FAGERIA, N.K. Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz. Goiânia: EMBRAPA/CNPAF, 1984. 341p.
- FAGERIA, N.K. Identificação de distúrbios nutricionais do arroz e sua correção. Goiânia: EMBRAPA/CNPAF, 1976. 22p. (Boletim Técnico, 2).
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação de cultivares de arroz para maior eficiência na absorção de fósforo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.16, n.6, p.777-782, Nov/Dez., 1981.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para maior eficiência de utilização de nitrogênio. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.17, n.12, p.1.709-1712, Dezembro, 1982.

- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; GARBER, M.J. Nível de nutrientes e densidade de plantio adequados para experimentos com arroz em casa de vegetação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.17, n.9, p.1.279-1284, Setembro, 1982.
- FAGERIA, N.K.; WILCOX, G.E. Influência de nitrogênio e fósforo no crescimento do arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.30, n.301, p.24-28, Jul/Ago., 1977.
- FORNASIERI FILHO, D. **Efeitos do N, P, K, S e Zn no desenvolvimento, produção e composição mineral do arroz (*Oryza sativa* L.), cv. IAC 47 e IAC 435.** Piracicaba: ESALQ, 1982. 155p. (Tese Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).*
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. **Manual da cultura do arroz.** Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221p. *
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F. Solos de várzeas - Características e problemas relativos à fertilidade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.6, n.65, p.24-34, Maio, 1980.
- FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C.; AZZINI, L.E. Comportamento diferencial de linhagens de arroz na absorção e utilização de nitrogênio em solução nutritiva. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.1, p.51-59, Abril, 1986.
- FURLANI, P.R.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; AZZINI, L.E.; SCHMIDT, N.C. Composição química inorgânica de três cultivares de arroz. **Bragantia**, Campinas, v.36, n.8, p.109-115, Março, 1977.
- GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do arroz. **Bragantia**, Campinas, v.24, n.38, p.515-528, Setembro, 1965.
- GOMES, A.S.; PATELLA, J.F.; VAHL, L.C. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em arroz irrigado. **Agros**, Porto Alegre, v.11, n.1, p.33-39, Junho, 1976.
- GOMES, H.A. **Influência de doses e épocas de adubação nitrogenada no rendimento de grãos de arroz irrigado.** Porto Alegre: UFRGS, 1978. 31p. (Tese Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- HALL, V.L.; SIMS, J.L.; JOHNSTON, T.H. Timing of nitrogen fertilization of rice. **Agronomy Journal**, Madison, v.60, n.5, p.450-453, Sep/Oct., 1968.
- HASEGAWA, T.; KORODA, Y.; SELIGMAN, N.G.; HORIE, T. Response of spikelet number to plant nitrogen concentration and dry weight in paddy rice. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, n.4, p.673-676, Jul/Aug., 1994.
- HUSAIN, S.M.; SHARMA, U.C. Response of rice to nitrogen fertilizer in acidic soil of Nagaland. **Indian Journal Agricultural Sciences**, New Delhi, v.61, n.9, p.662-664, September, 1991,
- ISHIZUKA, Y. Physiology of the rice plant. **Advance in Agronomy**, New York, v.23, p.241-315, 1971. *
- KRUSH, G.S. Aumento do potencial genético de rendimento do arroz: Perspectivas e Métodos. In: **Arroz na América Latina: perspectivas para o incremento da produção e do potencial produtivo.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. v.1, p.13-29.

- LEITE, N.; GARGANTINI, H.; GOMES, A.G.; IGUE, T. Efeito de diferentes fertilizantes nitrogenados no aumento da produtividade do arroz irrigado. **Bragantia**, Campinas, v.29, n.24, p.263-272, Agosto, 1970.
- LEON, L.A.; ARREGOCÉS, O. Factores que afectan la respuesta a la fertilization nitrogenada del arroz. IN: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Arroz: Investigacion y producion**. Cali, 1985. p.307-340.
- LOPES, A.S.; ABREU, C.A. Manejo de corretivos e fertilizantes sob condições de inundação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.152, p.22-32, 1988. ✖
- LOPES, M.S. Aplicação de nitrogênio em genótipos de arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.41, n.381, p.10-11, Set/Out., 1988.
- LOPES, M.S.; CARMONA, P.S. Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio em genótipos de arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ -IRRIGADO, 15. Porto Alegre, 1986. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 1986. p.207-214.
- LOPES, S.I.G.; VOLKWEISS, S.J.; TEDESCO, M.J. Acumulação de matéria seca e absorção de nutrientes pela cultura de arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.46, n.411, p.3-7, Nov/Dez., 1993.
- LOPES, S.I.G.; LOPES, M.S.; MACEDO, V.R.M. Curva de resposta à aplicação de nitrogênio para quatro genótipos de arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.49, n.425, p.3-6, Jan/Fev., 1996.
- MACHADO, M.O. Caracterização e adubação do solo. In: **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.129-179,
- MACHADO, M.O. Efeitos de calcário e nitrogênio na produtividade de três safras sucessivas de arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 12. Porto Alegre, 1983. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 1983. p.125-128.
- MACHADO, M.O. Resposta do arroz irrigado à aplicação de nitrogênio e calcário. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 11., Pelotas, 1981. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA/UEPAE, 1981. p.171-176.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola - Nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Ed. Ceres, 1976. 528p.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do arroz de sequeiro**. 2. ed. Piracicaba: ULTRAFÉRTIL. 1979. 40p. ✖
- MALAVOLTA, E.; FORNASIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: FERREIRA, M.E.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E., **Cultura do arroz de sequeiro - fatores afetando a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. p.95-140. ✖
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 210p.

- MOORE, P.A.; GILMOUR, J.T.; WELLS, B.R. Seasonal patterns of growth and soil nitrogen uptake by rice. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.45, n.5, p.875-879, Sep/Oct., 1981.
- MORAES, J.F.V.; FREIRE, C.J.S.; SILVA, E.C. Transformações do nitrogênio em dois solos submetidos a inundação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.10, n.11, p.25-30, 1975.
- MOTA, M.R. **Destino do nitrogênio aplicado em culturas de arroz (*Oryza sativa* L.) inundado em solo de várzea da amazônia**. Piracicaba: ESALQ, 1991. 175p. (Tese Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MUELLER, S. **Influência da adubação nitrogenada sobre o rendimento e outros parâmetros de três cultivares de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.)**. Pelotas: UFPEL, 1980. 191p. (Tese Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MUELLER, S.; GOMES, A.S.; BRAUNER, J.L. Análise de nitrogênio em tecidos de três cultivares de arroz. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.19, n.9, p.1.085-1.090, Setembro, 1984.
- MURATA, Y. Physiological response to nitrogen in plants. In: DINAVER, R.C., **Physiological aspects of crop yield**, Madison: Ed. Wisconsin, 1969. p.235-259.
- MURAYAMA, N. The importance of nitrogen for rice production. In: IRRI, **Nitrogen and rice**. Los Banos: International Rice Research Institute, 1979. p.5-22.
- MURTY, M.V.R.; DASH, R.N.; MOHANTY, S.K. Evaluation of rice varieties for nitrogen stress under lowland condition. **Indian Journal Agricultural Sciences**, New Delhi, v.64, n.9, p.635-638, September, 1994.
- NAIME, U.J. Solos para o arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.5, n.55, p.25-27, Julho, 1979.
- NOWICK, E.M.; HOFFPAUIR, H. Varietal differences in nitrogen uptake at two N levels and three growth stages. In: RICE RESEARCH STATION, **76th Annual Progress Report Louisiana**: Crowley, 1984. p.51-55.
- OLIVEIRA, P.S.R.; CARVALHO, J.G.; CARVALHO, G.J.; SOARES, A.A.; ALLEONI, L.R.A. Efeito da adubação nitrogenada na absorção, translocação e exportação de P, K, Ca, Mg, S por quatro cultivares e uma linhagem de arroz. **Unimar Ciências**, Marília, v.3, p.30-40, 1994.
- PATEL, R.B.; PATEL, C.L.; PATEL, Z.G.; PATEL, I.G.; NAIK, A.G. Response of rice varieties to nitrogen and phosphorus in summer season. **Indian Journal Agronomy**, New Delhi, v.31, n.2, p.211-212, June, 1986.
- PATRICK, W.H.; REDDY, K.R. Fate of fertilizer nitrogen in a flooded rice soil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.40, n.5, p.678-681, Sep/Oct., 1976.
- PAULA, M.B.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, F.D.; SOARES, A.A. Curva de resposta e avaliação do nitrogênio em solos de várzeas para o arroz inundado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 19. Balneário Camboriú, 1991. **Anais...** Florianópolis: EMPASC, 1991. 350p.

- PAULA, M.B.; CARVALHO, J.G.; SOARES, A.A.; NOGUEIRA, F.D. Avaliação da fertilidade de um solo de várzea (Gley Húmico) para a cultura do arroz. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.25, n.4, p.571-577, Abril, 1990.
- PERDOMO, M.A.; GONZALES, J.; GALVIS, Y.C.; GARCIA, E., ARREGOCÉS, O. Os macronutrientes en la nutrición de la planta de arroz. In: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Arroz: Investigación y producción**. Cali, 1985. p.103-132. ✱
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advance in Agronomy**, New York, v.24, p.29-96, 1972.
- PRASAD, U.K.; SHARMA, N.N.; OJHA, S.N. Yields of medium maturing rice varieties at different level of nitrogen. **Indian Journal Agronomy**, New Delhi, v.27, n.1, p.85-87, March, 1982.
- RAO, Y.Y.; REDDY, C.S.; KHAN, F.; MIRZA, W.A.; NAIDU, N.G. Performance of promising rice cultures under different nitrogen levels in kharif season. **Indian Journal Agronomy**, New Delhi, v.25, n.2, p.256-58, June, 1980.
- REDDY, K.R.; PATRICK, W.H. Utilization of labelled urea and ammonium sulfate by lowland rice. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, n.3, p.465-467, May/June, 1978.
- REDDY, K.R.; PATRICK, W.H. Yield and nitrogen utilization by rice as affected by method and time of application of labelled nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, n.6, p.965-969, Nov/Dec., 1976.
- RURALMINAS - COORDENADORIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM - Programa de aproveitamento de várzeas do estado de Minas Gerais - PROVÁRZEAS-MG. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.6, n.65, p.8-13, Maio, 1980.
- SAIKIA, L.; MAHANTA, T.C.; PATGIRI, D.K.; BORA, P.C. Response of rice varieties to nitrogen under late transplanting. **Indian Journal Agronomy**, New Delhi, v.33, n.4, p.423-425, December, 1988.
- SAMANTARAY, R.N.; PANDA, D.; PATNAIK, S. Pattern of growth and nitrogen absorption of elite rice varieties grown under direct-seeded, rainfed, lowland conditions with and without nitrogen fertilization. **Indian Journal Agricultural Sciences**, New Delhi, v.63, n.6, p.363-366, June, 1993.
- SANCHEZ, P.A. **Suelos del trópico: Características y manejo**. San José, Instituto Interamericano de Ciências Agrárias, 1981. 634p.
- SCHMIDT, N.C.; GARGANTINI, H. Adubação nitrogenada para arroz em solos argilosos de várzeas. **Bragantia**, Campinas, v.22, n.28, p.367-372, Maio, 1963.
- SCHMIDT, N.C.; GARGANTINI, H. Aplicação de nitrogênio em cobertura, em cultura de arroz. **Bragantia**, Campinas, v.25, n.5, p.57-63, junho, 1966.
- SIMS, J.L.; PLACE, G.A. Growth and nutrient uptake of rice different growth stages and nitrogen levels. **Agronomy Journal**, Madison, v.60, n.6, p.692-696, Nov/Dec., 1968.
- SOARES, A.A. A cultura do arroz nas várzeas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.152, p.36-39, 1988.

- SOARES, A.A.; CARVALHO, J.G.; CARVALHO, G.J.; FONSECA, J.R.; OLIVEIRA, P.S.R. Diferenças varietais na absorção, translocação e exportação de nitrogênio em arroz de sequeiro. **Ciência e Prática**, Lavras, v.18, n.3, p.248-257, Jul/Set., 1994.
- SOARES, A.A.; REIS, M.S.; CORNÉLIO, V.M.O.; SOARES, P.C. Urucuia, Sapucaí e Capivari: Novos cultivares de arroz irrigado para o estado de Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, n.240, p.225-232, Outubro, 1995.
- SOARES, P.C.; MORAIS, O.P. Efeitos de diferentes níveis de nitrogênio sobre variedades tradicional e melhorada de arroz irrigado na Zona da Mata de Minas Gerais. In: EPAMIG, PROJETO arroz; relatório 78/80. Belo Horizonte: EPAMIG, 1983. p.243-251.
- SOARES, P.C.; MORAIS, O.P. Efeitos de diferentes níveis de nitrogênio sobre cultivares tradicional e melhorada de arroz irrigado na Zona da Mata de Minas Gerais. In: EPAMIG, PROJETO arroz; relatório 77/78. Belo Horizonte: EPAMIG, 1980. p.126-130.
- SOUZA, P.R. Épocas de semeadura e níveis de nitrogênio em cultivares de arroz irrigado. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 13. Balneário Camboriú, 1984. **Anais...** Florianópolis: EMPASC, 1984. p.190-193.
- STONE, L.F. **Produtividade e utilização do nitrogênio pelo arroz (*Oryza sativa* L.): Efeitos de deficiência hídrica, cultivares e vermiculita**. Piracicaba: ESALQ, 1983. 200p. (Tese Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- STONE, L.F.; STEINMETZ, S. Índice de área foliar e adubação nitrogenada em arroz. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.14, n.1, p.25-28, 1979.
- TEIXEIRA, P.E.G.; SOUZA, A.F. Níveis de Nitrogênio e épocas de decapitação: Influências no perfilhamento, produção e em algumas características do arroz. **Ciência e Prática**, Lavras, v.4, n.1, p.7-13, Jan/Jun., 1980.
- THAKUR, R.B. Performance of summer rice to varying levels of nitrogen. **Indian Journal Agronomy**, New Delhi, v.38, n.2, p.187-190, June, 1993.
- THAKUR, R.B. Response of medium duration rice varieties to nitrogen. **Indian Journal Agronomy**, New Delhi, v.34, n.4, p.491-492, December, 1989.
- VAHL, L.C. **Solos e Adubação do arroz no Rio Grande do Sul**. Pelotas: EMBRAPA/UEPAE, 1979. 45p. (Circular Técnica, 2). ✕
- VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A.A. **Fertilidade do solo: Dinâmica e Disponibilidade de Nutrientes**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 171p.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo.**, Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- VLEK, P.L.G.; HONG, C.W.; YOUNGDAHL, L.J. An analysis of N nutrition on yield and yield components for the improvement of rice fertilization in Korea. **Agronomy Journal**, Madison, v.71, n.5, p.829-833, Sep/Oct., 1979.

- WALLIHAN, E.F.; MOOMAW, J.C.; DE DATTA, S.K. Variable optimum concentrations of nitrogen in rice plants. **Soil Science**, New Brunswick, v.118, n.4, p.263-266, October, 1974.
- WELLS, B.R.; FAW, W.F. Short-statured rice response to seedling and N rates. **Agronomy Journal**. Madison, v.70, n.3, p.477-480, May/June, 1978.
- WESTFALL, D.G.; FLINCHUM, W.T.; STANSEL, J.W. Distribution of nutrients in the rice plant and effect of two nitrogen levels. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, n.2, p.236-238, March/April, 1973.
- YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Banos: International Rice Research Institute, 1981. 269p. *
- YOSHIDA, S.; PARAO, F.T. Performance of improved rice varieties in the tropics with special reference to tillering capacity. **Experimental Agriculture**, London, v.8, n.3, p.203-212, 1972.