

PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE ARROZ IRRIGADO RESULTANTE DA APLICAÇÃO DE DOSES DE NITROGÊNIO ⁽¹⁾

JOSÉ GUILHERME DE FREITAS ^(2*,5); HEITOR CANTARELLA ^(3,5); MARCUS VINICIUS SALOMON ⁽⁶⁾;
VANDA MARIA ANGELI MALAVOLTA ⁽²⁾; LÚCIA HELENA SIGNORI MELO DE CASTRO ⁽²⁾;
PAULO BOLLER GALLO ⁽⁴⁾; LUIZ ERNESTO AZZINI ⁽²⁾

RESUMO

Foi avaliada a resposta de três cultivares de arroz irrigado por inundação a diferentes doses de nitrogênio, mediante experimentos realizados em Mococa, SP, em 2000/2001 e em 2001/2002. Nas parcelas foram aplicadas quatro doses de N (0, 90, 180 e 270 kg ha⁻¹) e nas subparcelas foram transplantadas mudas das cultivares de arroz IAC 101, IAC 103 e EPAGRI 109. O nitrogênio, tendo como fonte a uréia, foi aplicado, no transplântio das mudas, aos 20 e 40 dias após. Os componentes de produção não responderam à aplicação do nitrogênio, porém as cultivares diferiram significativamente entre si, tendo se observado na 'IAC 103' maior valor para o índice de fertilidade da panícula e o número de panículas por unidade de área. O número de panículas por unidade de área foi o componente de produção que melhor se correlacionou com a produção de grãos. Verificaram-se nas cultivares respostas quadráticas à aplicação de nitrogênio para o rendimento de grãos em casca e inteiros. A 'IAC 103' respondeu a doses maiores de N e maximizou o retorno econômico (218 kg ha⁻¹ de N, com rendimento de 6790 kg ha⁻¹ de grãos em casca). As doses para maior retorno das demais cultivares foram 161 (EPAGRI 109) e 179 kg ha⁻¹ de N (IAC 101).

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., produção de grãos, rendimento do benefício, nitrogênio.

ABSTRACT

RESPONSE OF RICE CULTIVARS UNDER WATER LOGGED CONDITIONS TO NITROGEN RATES

The objective of this study was to evaluate the response of three rice cultivars to N fertilizers under irrigated conditions. Two field experiments were carried out in Mococa, SP, in 2000/01 and 2001/02. Rates of N (0, 90, 180, and 270 kg ha⁻¹) were applied in the main plots and seedlings of three rice cultivars (IAC 101, IAC 103, and EPAGRI 109) were transplanted into the subplots. Nitrogen, as urea, was split in three applications: at transplantation, 20 and 40 days later. Except for the number of spiklets per panicle, yield components did not respond to N rates, although they varied for the different plant genotypes. IAC 103 presented the higher value for panicle fertility index and number of panicles per area, and the lower plant height, compared to IAC 101 and EPAGRI 109. Number of plants per area was the yield component most closely related with grain yield. Responses to N varied with the genotype. The highest rate of N to maximize economic return (218 kg/ha N and 6790 kg/ha grain yield) was observed for IAC 103. The corresponding rates for the other genotypes were 161 (EPAGRI 109) and 179 kg/ha N (IAC 101). These rates are higher than those currently recommended for waterlogged rice in Brazil.

Index terms: *Oryza sativa* L., grain yield, milling yield, nitrogen.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 4 de novembro de 2005 e aceito em 12 de janeiro de 2007.

⁽²⁾ Instituto Agronômico (IAC), Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Grãos e Fibras, Caixa Postal. 28, 13001-970 Campinas (SP). E-mail: jfreitas@iac.sp.gov.br (*) Autor correspondente; vanda@iac.sp.gov.br; lhcastro@iac.sp.gov.br; leazzini@iac.sp.gov.br

⁽³⁾ Instituto Agronômico (IAC), Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, Campinas (SP). E-mail: cantarella@iac.sp.gov.br

⁽⁴⁾ Pólo de Desenvolvimento Regional do Nordeste Paulista/ DDD/ APTA, Caixa Postal 58, 13730-970 Mococa (SP). E-mail: polonordestepaulista@apta.sp.gov.br

⁽⁵⁾ Bolsista do CNPq.

⁽⁶⁾ Estagiário do IAC e Bolsista CNPq.

1. INTRODUÇÃO

A recomendação de cultivares com maior eficiência na utilização de N é uma das maneiras mais adequadas para diminuir o custo de produção da cultura do arroz (FAGERIA E BARBOSA FILHO, 1982). O melhoramento da eficiência fisiológica do uso do nitrogênio no arroz pode ser conseguido com base no conhecimento da resposta desse cereal ao manejo do N, o que foi observado em relação à acumulação e redistribuição da matéria seca e N em três cultivares de arroz (JIANG et al., 2004).

As cultivares de uma mesma espécie têm exigências nutricionais e tolerâncias diferenciadas para os estresses de nutrientes (BROWN E JONES, 1997; FAGERIA E BARBOSA FILHO, 1981 e 1982). LOPES et al (1995a), trabalhando com doses crescentes de nitrogênio (2, 20, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 kg ha⁻¹ de N) em cultivares de arroz, não obtiveram resposta para a cultivar Colombiano durante três anos, enquanto com a 'IRGA 416' houve resposta apenas na safra 1994/1995. Respostas diferenciadas de duas cultivares (IRGA 416 e IRGA 417) e duas linhagens de arroz à aplicação de N também foram relatadas por LOPES et al. (1995b). A cultivar IRGA 417 foi a de maior eficiência na utilização de N segundo os autores.

A variabilidade de resposta à aplicação de N também foi observada em três cultivares de arroz (IAC 101, IAC 102 e IAC 104) com relação ao rendimento de grãos e alguns componentes de rendimento; a dose econômica situou-se ao redor de 150 kg ha⁻¹ N para as cultivares estudadas (FREITAS et al., 2001).

A produtividade de grãos é uma característica controlada por grande número de genes, sendo, portanto, herança quantitativa. Isso ocorre porque a produtividade de grãos depende da interação de vários componentes de rendimento (números de espiguetas e grãos por panícula, massa de mil grãos e índice de fertilidade da espiga) e do comprimento da panícula, os quais são controlados por fatores genéticos e pelo ambiente. Os componentes de rendimento de grãos são importantes características que podem ser afetadas pela nutrição, entre outros fatores. O desenvolvimento desses componentes pode ser influenciado positiva ou negativamente pelo N, devido às múltiplas funções desse nutriente na planta (FAGERIA E BARBOSA FILHO, 1982).

O comprimento da panícula, o número de espiguetas por panícula, a fertilidade das espiguetas e a massa de mil grãos afetam diretamente a produtividade de grãos (EVANS, 1977). Assim, o conhecimento dessas correlações com o meio pode ajudar os melhoristas na seleção de novas cultivares, as quais podem aumentar a produtividade e diminuir o custo de produção e o impacto ambiental.

Os objetivos deste trabalho foram: estudar as respostas ao nitrogênio de três cultivares de arroz; calcular a eficiência de utilização de nitrogênio e a dose econômica desse nutriente para cada cultivar; estimar os níveis de correlações entre a produtividade de grãos em casca e inteiro, índice de fertilidade das espiguetas, massa de mil grãos, número de panículas por área e altura de plantas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do Nordeste Paulista, Mococa (SP), em 2000/2001 e 2001/2002, com coordenadas geográficas de latitude 21°28'S, longitude 47°01'W e altitude 665 m. O solo foi caracterizado como Cambissolo Háplico Tb Eutrófico gleico (EMBRAPA, 1999), ácido e de média fertilidade, analisado conforme Raj et al. (2001): M.O. = 42 g dm⁻³; pH CaCl₂ = 5,1; P resina = 16 mg dm⁻³; K = 2,4 mmol_c dm⁻³, Ca = 12 mmol_c dm⁻³ e Mg = 6 mmol_c dm⁻³, V = 42%; B = 0,21 mg dm⁻³, Cu = 0,5 mg dm⁻³, Fe = 14 mg dm⁻³, Mn = 14,7 mg dm⁻³ e Zn = 0,6 mg dm⁻³. O clima é subtropical mesotérmico com estação seca de inverno, e temperatura média do mês mais quente (janeiro) acima de 22 °C (C.W.A.), com 1275 mm de precipitação pluvial média, de setembro a março, e temperaturas anuais máxima e mínima de 29,4 °C e 18,8 °C respectivamente.

As cultivares IAC 101, IAC 103 e EPAGRI 109 foram escolhidas para este trabalho por serem recomendadas para o plantio no Estado de São Paulo. A 'IAC 103' vem-se destacando nos dois últimos anos pelo bom potencial produtivo e rendimento de grãos inteiros. As cultivares IAC 101 e EPAGRI 109 são consideradas de ciclo tardio e a 'IAC 103', de ciclo médio.

O arroz foi transplantado para as unidades experimentais em 13/12/00 e 19/12/01, respectivamente, em área mantida sob condição de irrigação por inundação e pousio durante o inverno.

O delineamento estatístico utilizado foi em blocos ao acaso, em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições. Nas parcelas, foram aplicadas quatro doses de nitrogênio (0, 90, 180 e 270 kg ha⁻¹ de N. As subparcelas foram constituídas por três cultivares de arroz de porte baixo (IAC 101, IAC 103 e EPAGRI 109), as quais foram transplantadas em 10 linhas de 5 m de comprimento, com espaçamento entre linhas de 0,40 m. Dentro das linhas foram transplantadas três mudas por cova, espaçadas de 0,15 m. As subparcelas foram separadas por construção de alvenaria, de modo a impedir a mistura da água de irrigação. A adubação de base foi aplicada a lanço por

ocasião do transplântio das mudas das cultivares de arroz, nas doses correspondentes a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 40 kg ha⁻¹ de K₂O e 70 kg ha⁻¹ de micronutrientes, nas formas de superfosfato simples e cloreto de potássio, de acordo com RAJ et al. (1996) e fritas Br-12 contendo B, Cu, Fe, Mn e Zn. As doses de nitrogênio, na forma de uréia, foram aplicadas parceladamente, sendo 33% da dose de N a lanço no transplântio das mudas, juntamente com P, K e os micronutrientes, 33% aos 20 dias e o restante aos 40 dias após o transplântio das mudas de arroz.

As cinco linhas centrais foram colhidas para quantificar o rendimento de grãos em casca. Para a obtenção dos componentes de rendimento de grãos (número de espiguetas por panícula, índice de fertilidade das espiguetas e massa de mil grãos), foram coletadas 10 panículas ao acaso por unidade experimental. O número de panículas por área foi determinado pela contagem do número de panículas em um metro linear. O índice de fertilidade das espiguetas foi determinado dividindo-se o número de espiguetas cheias pelo número total de espiguetas por panícula e multiplicando-se por 100. O número total de espiguetas por panícula foi obtido por contagem, somando-se o número de espiguetas cheias e chochas. A renda no benefício e o rendimento de grãos inteiros foram estimados a partir do beneficiamento de uma amostra de 100 g de arroz em casca por unidade experimental, em engenho de prova SUZUKI⁽⁷⁾. A renda no benefício foi expressa pelo percentual total do arroz beneficiado (grãos inteiros + quebrados + quirera), e o rendimento do grão pelo percentual de inteiros. A produtividade de grãos em casca foi obtida quantificando-se a massa dos grãos colhidos e peneirados para cada unidade experimental. A produtividade de grãos inteiros foi obtida multiplicando o valor da produtividade de grãos em casca pelo rendimento de grãos inteiros. A altura de plantas, em centímetros, foi medida do solo ao ápice da ráquis.

A eficiência de utilização de nitrogênio (E_N) foi calculada de acordo com CIAT (1978) e FAGERIA E BARBOSA FILHO (1982). A dose de N obtida para o rendimento máximo foi aquela decorrente do maior retorno econômico.

$$E_N = \frac{\text{Rendimento máximo de grãos} - \text{Rendimento de grãos da testemunha (sem N)}}{\text{Dose correspondente ao rendimento máximo} - \text{Dose da testemunha (sem N)}}$$

(7) Máquinas Suzuki S.A., Santa Cruz do Rio Pardo (SP).

Para o cálculo da dose de nitrogênio que proporcionou a maior produtividade do arroz, maximizou-se a função da produtividade através da aplicação do cálculo diferencial à equação de regressão obtida. A dose econômica foi determinada, segundo NOGUEIRA (1997), levando-se em conta o preço médio de grãos em casca de R\$ 0,65 kg⁻¹ (IRGA, 2005) e o preço da uréia (R\$ 1.200,00 t⁻¹) em 2004.

Foram realizadas as análises de variâncias individuais para todas as características estudadas, inclusive a produtividade de grãos inteiros em 2001/2002, exceto para a produtividade de grãos em casca, que foi analisada conjuntamente com os dados obtidos nos anos agrícolas de 2000/2001 e 2001/2002, com auxílio do programa Sistema de Análise Estatística - SANEST (ZONTA et al., 1987). A análise conjunta foi efetuada após a verificação da homogeneidade das variâncias dos erros (quadrado médio do resíduo) das subparcelas. A homogeneidade das variâncias dos resíduos das subparcelas foi estimada segundo COCHRAN e COX (1957). Empregou-se o teste de Tukey, a 5%, para comparar as médias entre cultivares, conforme COCHRAN e COX (1957). O teste F a 5% de probabilidade foi utilizado para avaliar a significância das equações polinomiais, referentes aos efeitos de nitrogênio aplicado. Foram realizadas análises de correlações lineares simples (a 5% de probabilidade, pelo teste t), para estimar as relações entre produtividades de grãos em casca, rendimentos de grãos inteiros, grãos totais, número de espiguetas por panícula, índice de fertilidade das espiguetas, massa de mil grãos e número de panículas por metro quadrado.

O teste de homogeneidade, calculado com base nos erros das análises individuais, possibilitou a realização das análises conjuntas para a produtividade de grãos em casca (COCHRAN e COX, 1957). As outras variáveis foram analisadas apenas individualmente, porque os dados foram obtidos somente no ano agrícola 2001/2002.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os componentes de produção e a altura de planta não responderam à aplicação do nitrogênio, porém, houve variabilidade entre os genótipos de arroz para o índice de fertilidade das espiguetas, massa de mil grãos, altura de plantas e número de panículas por metro quadrado (Tabelas 1 e 2). Na 'IAC 103' constatou-se o maior número de panículas por área, diferindo significativamente das demais (Tabela 1). O número de panículas por área é um dos componentes que mais contribui para a produtividade de grãos em casca (EVANS et al., 1977), porém, no presente estudo a variabilidade desta característica foi relativamente pequena.

Tabela 1. Altura de plantas e número de panículas, por unidade de área, das cultivares de arroz irrigado. Média de doses de nitrogênio. Mococa (SP), 2000/01 e 2001/02

Cultivar	Altura de plantas	Panículas/m ²
	cm	n. ^o
IAC 101	87 a	350 c
IAC 103	84 c	363 a
EPAGRI 109	86 b	360 b
Média	86	358
C.V. (%)	5	6

(¹) Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si (Tukey, 5%).

A cultivar IAC 101 foi a de maior altura de plantas (87 cm), diferindo significativamente das demais, e IAC 103, a de porte mais baixo (84 cm), o que pode favorecer a aplicação de maiores doses de nitrogênio e aumentar a produtividade de grãos em casca (Tabela 1).

Na média geral do índice de fertilidade das espiguetas (Tabela 2), o maior valor foi apresentado pela cultivar IAC 103 (96%), diferindo ao nível de 5%,

Tabela 2. Número de espiguetas por panícula, índice de fertilidade das espiguetas e massa de mil grãos de cultivares de arroz irrigado. Média de doses de nitrogênio. Mococa (SP), 2001/2002

Cultivar	Espiguetas por panícula	Índice de fertilidade das espiguetas	Massa de mil grãos
	n. ^o	%	g
IAC 101	110	92 b	33,5 a
IAC 103	115	96 a	29,9 b
EPAGRI 109	122	89 c	27,1 c
Média	116	92	30,2
C.V. (%)	15	3	5

(¹) Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si (Tukey, 5%).

Considerando-se a média das cultivares, a produtividade de grãos em casca, correlacionou-se positivamente com o número de espiguetas por panícula e panículas por metro quadrado. Essas duas características representam o número de grãos por área. O número de panículas por metro quadrado foi o que mais se correlacionou com a produtividade de grãos em casca (Tabela 3), verificado para o arroz irrigado. O número de espiguetas por panículas correlacionou-se negativamente com a massa de mil grãos e com o índice de fertilidade das espiguetas e positivamente com o número de panículas por metro quadrado (Tabela 3). O rendimento de grãos inteiros correlacionou-se positivamente com a renda do benefício total de grãos e índice de fertilidade das espiguetas.

pelo teste Tukey, das cultivares IAC 101 (92%) e EPAGRI 109 (89%).

Em estudo anterior, FREITAS et al. (2001) observaram na 'IAC 101' índice de fertilidade das espiguetas de 85%, inferior ao valor de 92% do presente trabalho. O índice de fertilidade das espiguetas depende do desenvolvimento vegetativo e do início do reprodutivo. Como a meiose ocorre nesse estágio, tal índice pode variar de ano para ano porque a viabilidade do grão de pólen é a característica mais sensível ao estresse ambiental (EVANS et al., 1977).

Entre as médias das cultivares, a 'IAC 101' foi a de maior valor de massa de mil grãos, diferindo significativamente da 'IAC 103' e da 'EPAGRI 109', que também diferiram entre si (Tabela 2). ANDRADE et al. (1992), estudando duas cultivares de arroz (IR 841-62-5 e INCA 4440), também não observaram efeito das doses de N sobre a massa de mil grãos. Essas cultivares tiveram valores de 27 g e 24 g, respectivamente, inferiores aos observados neste trabalho. Essa característica é dependente da densidade do grão, e assim, uma cultivar com estande menor e/ou baixo índice de fertilidade das espiguetas, pode ter grão com maior massa de mil grãos e produtividade menor.

Tabela 3. Correlação linear entre as variáveis grãos inteiros (GI), total de grãos (GT), espiguetas por panícula (EP), fertilidade das espiguetas (FE), massa de mil grãos (MG), produtividade grãos com casca (PG) e panículas por metro quadrado (PMQ) de três cultivares de arroz irrigado. Mococa (SP), 2001/2002

Variável	GI	GT	EP	FE	MG	PG
GT	0,76*	-	-	-	-	-
EP	0,14	0,27	-	-	-	-
FE	0,44*	0,27	-0,30*	-	-	-
MG	0,00	-0,27	-0,38*	0,20	-	-
PG	0,07	0,05	0,36*	-0,09	0,21	-
PMQ	0,06	0,18	0,46*	-0,19	-0,18	0,56*

*Coeficiente de correlação significativos pelo teste t a 5% $\geq 0,288$.

Os dados de produção de grãos em casca em função da adubação nitrogenada são apresentados na tabela 4. Em ambos os anos, observou-se resposta significativa à aplicação de N. De acordo com os modelos quadráticos ajustados à produção média das três cultivares ($R^2 = 0,99$) os rendimentos máximos de grãos em casca foram de $5,8 \text{ t ha}^{-1}$ em 2000/2001 e $7,6 \text{ t ha}^{-1}$ em 2001/02. Apesar de serem altas, essas produtividades médias foram inferiores às relatadas por FREITAS et al. (2001) em estudos realizados na mesma região em anos anteriores (até 9 t ha^{-1}). Uma das causas prováveis foi o transplântio tardio em relação à época recomendada para o Estado de São Paulo (outubro-novembro).

As três cultivares testadas responderam de forma diferenciada à adubação nitrogenada (Tabela 4). A interação entre esses fatores foi estatisticamente significativa ($P \leq 0,0001$). O padrão de respostas foi semelhante nos experimentos desenvolvidos nos dois anos. Como as interações entre ano x genótipo e ano x dose x genótipo não foram significativas, a análise estatística detalha os dados de rendimentos médios dos dois anos.

Verificaram-se, nas IAC 101, IAC 103 e EPAGRI 109, resposta de efeito quadrático para a produtividade de grãos em casca. As equações de regressão para produção de grãos em casca (kg ha^{-1}), em funções das doses (kg ha^{-1}) de N são as seguintes:

$$\text{Grãos (IAC 101)} = 4452 + 21,87N - 0,0490N^2 \quad (R^2 = 0,97)$$

$$\text{Grãos (IAC 103)} = 3580 + 25,55N - 0,0496N^2 \quad (R^2 = 0,96)$$

$$\text{Grãos (EPAGRI 109)} = 4290 + 19,17N - 0,0482N^2 \quad (R^2 = 0,93)$$

A cultivar IAC 101 foi a mais produtiva nos tratamentos sem N ou com doses baixas desse elemento, mas também, responsiva, alcançando altos rendimentos com as maiores doses de N. A 'EPAGRI'109' foi relativamente produtiva com baixas doses de N, mas menos responsiva que a 'IAC 101'. Por outro lado, a 'IAC 103' foi a que resultou em menores quantidades de grãos quando não adubada com N, mas foi a mais responsiva à adição deste nutriente.

Pelos resultados deste trabalho, observou-se que existem diferenças de resposta à aplicação de doses crescentes de nitrogênio entre os genótipos, o que está de acordo e com BROWN e JONES (1997); FAGERIA e BARBOSA FILHO (1981, 1982); LOPES et al (1995a); JIANG et al. (2004), e a aplicação de N é importante para o aumento da produtividade (ANDRADE ET AL., 1992; BORRELL ET AL., 1998; SHARMA e SHARMA, 1999; FREITAS et al., 2001).

A adubação com N não afetou a porcentagem de grãos inteiros; no entanto, essa característica variou com a cultivar: os valores para a 'IAC 103' (59%) foram

significativamente superiores aos da 'IAC 101' e da 'EPAGRI 109', ambos com 53%. O aumento da produtividade de grãos inteiros em função da adubação nitrogenada ($P \leq 0,0003$) ocorreu em razão do efeito do nutriente sobre a produção de grãos em casca. Porém, em função das diferenças de porcentagem de grãos inteiros por cultivar, a produtividade de grãos inteiros da 'IAC 103' foi superior às demais (Figura 1) ao passo que o rendimento de grãos em casca da 'IAC 103' foi o menor entre as três cultivares estudadas (Tabela 4).

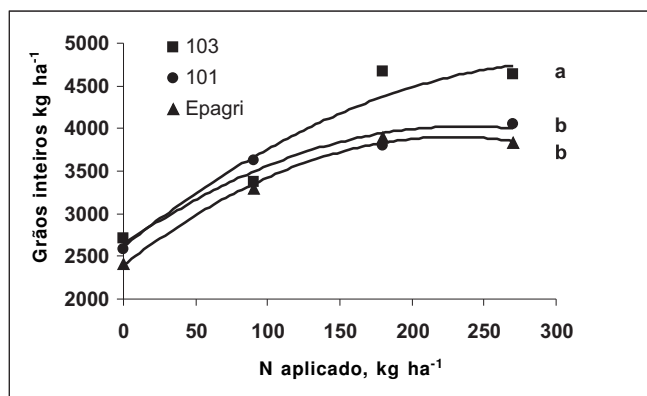


Figura 1. Resposta de cultivares de arroz, em grãos inteiros, a doses de N. Dados da safra 2001/2002. Letras aos lado das curvas de resposta comparam as médias das cultivares pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

FREITAS et al. (2001), estudando três cultivares de arroz, constataram valores médios inferiores aos observados neste trabalho, tendo a 'IAC 101' 39% e a 'IAC 102', 55% de rendimento de grãos inteiros. SILVA e BRANDÃO (1987) e ANDRADE et al. (1992), trabalhando com diferentes genótipos, obtiveram rendimentos de grãos inteiros variando entre 53% e 55% e 40% e 62% respectivamente. Constatou-se nesse estudo que a 'IAC 103' possui grãos com maior resistência à quebra no processo de beneficiamento, importante característica do ponto de vista comercial.

Dados da literatura sugerem que a porcentagem de grãos inteiros é mais influenciada pelo genótipo do que pela aplicação de N e que o efeito desse último fator não é constante. FREITAS et al. (2001) observaram que a adubação nitrogenada (de 0 a 150 kg ha^{-1}) provocou ligeiro aumento na porcentagem de grãos inteiros da cultivar IAC 101, mas não em outras cultivares, e esse efeito só ocorreu em um dos anos do estudo. SILVA e BRANDÃO (1987) verificaram efeito positivo da aplicação de N sobre o rendimento de grãos inteiros apenas para a cultivar IR-665, efeito negativo para a cultivar De Abril e nulo para quatro cultivares. SEETANUN e DE DATTA (1973) também notaram aumento no rendimento de grãos inteiros com a aplicação de N. Por outro lado, no trabalho de ANDRADE et al. (1992) não foi constatada influência da adubação nitrogenada sobre o rendimento de grãos inteiros de duas cultivares de arroz.

Tabela 4. Rendimento de grãos em casca de cultivares de arroz em resposta a doses de N. Dados de duas safras

Cultivar	Produtividade de grãos em casca para doses de N				Média
	0	90	180	270	
	kg ha ⁻¹				
2000/2001					
IAC 101	3855	5388	5998	6168	5352
IAC 103	2833	4390	6138	5680	4760
EPAGRI 109	4028	5648	5135	5480	5042
Média	3572	5142	5757	5576	
2001/2002					
IAC 101	4897	7112	7153	7560	6681
IAC 103	4557	5884	7696	7825	6491
EPAGRI 109	4560	6503	7100	7194	6339
Média	4671	6500	7317	7526	
Média 2 anos ⁽¹⁾					
IAC 101	4376 a	6250 a	6575 b	6864 a	6016 a
IAC 103	3694 c	5137 c	6917 a	6753 b	5625 c
EPAGRI 109	4293 b	6075 b	6118 c	6337 c	5706 b
Média ⁽²⁾	4121	5820	6537	6651 (Q)	
C.V.(%): 5,2					

⁽¹⁾ Produção média de grãos de 2 anos. Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente (Tukey $P \leq 0,05$).

⁽²⁾ Efeito quadrático significativo (**) para resposta a N: grãos = 4141 + 22,436 N - 0,0489 N², grãos e N em kg ha⁻¹

A eficiência de uso do N (E_N) para a produção de grãos variou de 9,6 a 16,1 quilogramas de grãos por quilograma de N aplicado (Tabela 5). Os valores obtidos com a 'IAC 103' foram superiores aos dos demais genótipos pois essa cultivar foi a mais responsiva à adubação nitrogenada. Quando computados apenas os grãos inteiros, as diferenças entre os valores de E_N foram menores, mas a 'IAC 103' continuou tendendo a apresentar maior eficiência (Tabela 5). Os resultados do presente estudo para arroz em casca estão abaixo dos obtidos por SHARMA e SHARMA (1999) para cultivares de arroz irrigado e adubado com 60 kg ha⁻¹ de N, e por FREITAS et al. (2001) que observaram E_N entre 20 e 30 para cultivares IAC em Mococa. Por outro lado, FAGERIA e BARBOSA FILHO (1982) obtiveram valores de E_N que variaram de 1 a 67 kg kg⁻¹ de N entre 60 cultivares testadas, concordando com os números observados no presente trabalho. Os valores de E_N obtidos em diferentes trabalhos dependem do método de cálculo, pois o E_N aumenta com a diminuição da dose de N. No presente caso, as doses de N para máximo rendimento variaram de 161 a 218 kg ha⁻¹, superiores às dos autores citados acima.

As doses de N necessárias para a obtenção da máxima produção física variaram, em kg ha⁻¹ de N, de 257 para a 'IAC 103' a 206 para a 'EPAGRI 109'

(Tabela 6). Os rendimentos máximos de arroz em casca estimados pelas equações de regressão, das cultivares "IAC 103", 'IAC 101' e 'EPAGRI 109' foram 6870, 6890 e 6440 kg ha⁻¹ respectivamente (Tabela 6).

Tabela 5. Eficiência de uso de N para produção de grãos em casca e de grãos em casca e de grãos inteiros de três cultivares de arroz. Os cálculos foram feitos levando em conta as doses de N estimadas por regressão para a máxima produção econômica

Cultivar	Eficiência de uso de N para produção de grãos ⁽¹⁾	
	Arroz em casca	Grãos inteiros
	kg de grãos kg ⁻¹ de N	
IAC 101	(11,9-14,0) 12,9	7,4
IAC 103	(13,4-16,1) 14,8	8,2
EPAGRI 109	(9,6-14,6) 12,1	8,0
Média	(13,0-14,0) 13,2	7,9

⁽¹⁾ Valores entre parênteses se referem aos dados dos anos agrícolas 2000/2001 e 2001/2002, respectivamente, seguidos do valor obtido para as produções médias dos dois anos. Para os grãos inteiros os dados se referem ao ano agrícola 2001/2002.

Tabela 6. Doses de N para máxima eficiência física e econômica na produção de grãos em casca de três cultivares de arroz. Cálculos realizados com os valores de doses de N e de produtividade máxima e produtividade mais econômica estimados pelas equações de regressão ajustadas aos dados experimentais

Cultivar	Dose de N para máxima eficiência		Rendimento de grãos para dose de N		Retorno bruto com adubação ⁽³⁾
	Física ⁽¹⁾	Econômica ⁽²⁾	Máxima	Econômica	
	kg ha ⁻¹		kg ha ⁻¹ de grãos		R\$ ha ⁻¹
IAC 101	(235 - 215) 223	179	6890	6800	3690
IAC 103	(227 - 309) 257	218	6870	6790	3980
EPAGRI 109	(189 - 218) 206	161	6440	6340	3460

⁽¹⁾ Valores entre parênteses se referem aos dados dos anos agrícolas 2000/2001 e 2001/2002, respectivamente, seguidos do valor obtido para as produções médias dos dois anos.

⁽²⁾ Para as doses de N para máxima eficiência econômica considerou-se um ágio de 4% no preço do arroz Tipo I com 58% de grãos inteiros, e um deságio de 6% no preço do Tipo II com 52-54% inteiros, comparado com o preço médio do arroz Tipo I.

⁽³⁾ Preços: arroz R\$0,65/kg e uréia R\$1.200,00/t.

Para o cálculo das doses de N que proporcionam o maior retorno com o uso de fertilizante, foi levado em consideração o diferencial de preço devido à porcentagem de grãos inteiros no arroz com casca, que é o comercializado pelos agricultores. Os lotes de arroz com mais de 58% ou com menos de 55% de grãos inteiros geralmente tem um ágio e um deságio, respectivamente, em relação ao preço médio do arroz em casca (IRGA, 2005). As cotações de preços tomadas indicavam ágio de 4% para o tipo produzido pela 'IAC 103' e deságio de 6% para a 'IAC 101' e a 'EPAGRI 109'. Assim, as doses para máxima eficiência econômica variaram conforme o genótipo: 161, 179 e 218 kg ha⁻¹ de N para a 'EPAGRI 109', 'IAC 101' e 'IAC 103' respectivamente (Tabela 6). Apesar da maior dose de N recomendada para a 'IAC 103', o retorno econômico obtido com a aplicação de N com este genótipo foi superior ao dos demais (Tabela 6).

Os rendimentos estimados para a máxima eficiência econômica foram muito próximos daqueles para a máxima eficiência técnica, indicando que as curvas de resposta a N tenderam a estabilizar após 150 kg ha⁻¹ para as cultivares IAC 1011 e EPAGRI 109.

Os preços dos produtos agrícolas podem variar substancialmente de acordo com as condições do mercado. Por exemplo, os preços médios de arroz irrigado em casca em meados de 2005 (R\$ 0,44 kg⁻¹) estavam bastante deprimidos em relação aos do mesmo período no ano anterior (R\$ 0,65 kg⁻¹), usados para os cálculos econômicos por refletirem melhor a tendência de longo prazo. Por outro lado, os preços dos fertilizantes permaneceram estáveis. Com preços de arroz em casca 33% menores, as doses de N para maior retorno por unidade de área seriam 199, 158 e 140 kg ha⁻¹ de N para a 'IAC 103', 'IAC 101' e 'EPAGRI 109', respectivamente; ainda assim, são doses consideradas

altas, refletindo as elevadas respostas em produção de grãos desse cereal à adubação nitrogenada.

FREITAS et al. (2001) obtiveram respostas de arroz irrigado com doses de até 150 kg ha⁻¹ de N em experimento realizado no mesmo local do presente estudo. Outros trabalhos recentes, com cultivares de arroz irrigado de alto potencial produtivo, têm relatado respostas à aplicação de N da ordem de 180 kg ha⁻¹ (TIMSINE et al., 1998) e de 225-270 kg ha⁻¹ (WANG et al., 2004). Os diferentes patamares de resposta ao N podem ser explicados pela maior ou menor capacidade do solo de fornecer N. Outros fatores que podem afetar o aproveitamento do N fertilizante são as condições de drenagem e a movimentação da água na área. De modo geral, uma cultura de arroz que produz cerca de 7 t ha⁻¹ de grãos extrai cerca de 150 kg ha⁻¹ de N (CANTARELLA e FURLANI, 1996).

As doses econômicas obtidas no presente estudo, mesmo para as cultivares menos exigentes, foram, em geral, superiores às recomendadas nas tabelas de adubação em uso. CANTARELLA e FURLANI (1996) indicam dose máxima de 130 kg ha⁻¹ de N para a obtenção de rendimentos de 6 a 8 t ha⁻¹ de arroz. As doses de N recomendadas nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina para arroz irrigado (6 a 9 t ha⁻¹) variam de 70 a 90 kg ha⁻¹ de N (SBCS, 2004).

A resposta diferencial das cultivares de arroz às doses de nitrogênio revela que para adubação com esse nutriente deve-se considerar o genótipo. Com isso, pode-se evitar a aplicação excessiva de nitrogênio e causar a poluição das águas (CHOWDARY et al., 2004). Por outro lado, a adubação com doses insuficientes para atender o potencial produtivo dos genótipos pode causar queda no rendimento pelo estresse da deficiência de nitrogênio e, conseqüentemente, diminuição da receita líquida.

Mesmo em altas doses de N, não houve ocorrência de brusone e de acamamento nos dois anos agrícolas. Desse modo, ficou comprovada a hipótese do trabalho de que houve variabilidade entre as cultivares de arroz estudadas, quanto à resposta ao nitrogênio, com relação ao rendimento de grãos em casca e inteiros. Houve, também, variabilidade genética entre as cultivares para o rendimento de grãos em casca e inteiros e para os componentes de rendimento, exceto para o número de espiguetas por panículas, deduzindo que o manejo racional desse nutriente pode levar ao aumento no rendimento líquido dos grãos.

4. CONCLUSÃO

1. O número de grãos por área é o componente que mais se correlaciona com a produtividade de grãos em casca.

2. O rendimento de grãos inteiros varia com a cultivar, e afeta o retorno econômico à adubação nitrogenada.

3. A recomendação da adubação nitrogenada em cultivares de arroz irrigado por inundação deve levar em conta a responsividade do genótipo e a qualidade dos grãos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, W.E.B.; AMORIM NETO, S.; FERNANDES, G.M.B.; OLIVEIRA, H. de F. Épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz irrigado na Região Norte Fluminense. **Lavoura Arrozeira**, v.45, p.14-17, 1992.
- BORRELL, A.K.; GARSIDE, A.L.; FUKAI, S.; REID, D.J. Season and plant type affect the response of rice yield to nitrogen fertilization in a semi-arid tropical environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v.49, p.179-190, 1998.
- BROWN, J.C.; JONES, W.E. Fitting plant nutritionally to soil. I Soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, p.399-404, 1997.
- CANTARELLA, H.; FURLANI, P.R. Arroz irrigado. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. p. 50-51. (Boletim Técnico, 100)
- CHOWDARY, V.M.; RAO, N.H.; SARNA, P.B.S. A coupled soil water and nitrogen balance model for flooded rice fields in India. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.103, n.3, p. 425-441, 2004.
- CIAT - CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Programa de frijol**. Cali: CIAT, 1978. p. 12-13. (Informativo Anual 1978)
- COCHRAN, W.G.; COX, G.M. **Experimental designs**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1957.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- EVANS, L.E.; BHATT, G.M. Influence of seed size, protein content and cultivar on early seedling vigor in rice. **Canadian Journal of Plant Science**; Ottawa.v. 57; p.929-935, 1977.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação de cultivares de arroz para a maior eficiência de absorção de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, p.772-782, 1981.
- FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação preliminar de cultivares de arroz irrigado para a maior eficiência de utilização de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, p.1709-1712, 1982.
- FREITAS, J.G. de; AZZINI, L.E.; CANTARELLA, H.; BASTOS, C.R.; CASTRO, L.H.S.M. de; GALLO, P.B.; FELÍCIO, J.C. Resposta de cultivares de arroz irrigado ao nitrogênio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.3, p. 573-579, 2001.
- IRGA - Instituto Riograndense do Arroz. Preço médio de comercialização. Disponível em: www.irga.rs.gov.br, acesso em maio de 2005.
- JIANG, L.G., DAI, T.B.; JIANG, D.; CAO, W.K., GAN, X.Q.; WEI, S. Characterizing physiological N-use efficiency as influenced by nitrogen management in three rice cultivars. **Field Crops Research**, v. 88, 2-3, p. 239-250, 2004.
- LOPES, S.I.G.; LOPES, M.S.; MACEDO, V.R.M. Curva de resposta à aplicação de nitrogênio nas cultivares IRGA 416 e Colombiano. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO 21, 1995. **Anais...** Porto Alegre, RS: IRGA, 1995a. p.161-163.
- LOPES, S.I.G.; LOPES, M.S.; MACEDO, V.R.M. Curva de resposta à aplicação de nitrogênio para a cultivar IRGA 416 e três linhagens. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO 21., 1995. **Anais...** Porto Alegre, RS: IRGA, 1995b. p.167-168.
- NOGUEIRA, M.C.S. **Estatística Experimental Aplicada à Experimentação Agrônoma**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1997. 250p.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100)
- SEETANUN, W.; De DATTA, S.K. Grain yield, milling quality, and seed viability of rice as influenced by time of nitrogen application and time of harvest. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, p.390-394, 1973.

SHARMA, D.K.; SHARMA, D.R. Sustainable use of poor quality water with proper scheduling of irrigation and nitrogen levels for a rice crop. **Water Science and Technology**, Madison, v.40, p.111-114, 1999.

SILVA, P.S.L.; BRANDÃO, S.S. Rendimento no beneficiamento e translucidez de grãos de cultivares de arroz em função de níveis de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, p. 943-949, 1987.

SNA/MA - COMISSÃO TÉCNICA DE NORMAS E PADRÕES **Normas de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do arroz**. Brasília, 1980. 39p.

SBCE - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2004. 400p.

TIMSINA, J.; SINGH, U.; BADARUDDIN, M.; MEISNER, C. Cultivar, nitrogen, and moisture effects on a rice-wheat sequence: experimentation and simulation. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, n.2, p.119-130, 1998.

WANG, D.J.; LIU, Q.; LIN, J.H.; SUN, R.J. Optimum nitrogen use and reduced nitrogen loss for production of rice and wheat in the Yangtze Delta region. **Environmental Geochemistry and Health**, Kev, v.26, n.2, p.221-227, 2004.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A.; SILVEIRA JUNIOR, P. **Sistema de análise estatística para microcomputadores: manual de utilização**. 2.ed. Pelotas: UFP 1987, 177p.