

Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada

Nand Kumar Fageria⁽¹⁾, Alberto Baêta dos Santos⁽¹⁾ e Veridiano dos Anjos Cutrim⁽¹⁾

⁽¹⁾Embrapa Arroz e Feijão, Rod. GO 462, Km 12, Zona Rural, Caixa Postal 179, CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: fageria@cnpaf.embrapa.br, baeta@cnpaf.embrapa.br, cutrim@cnpaf.embrapa.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta de genótipos de arroz irrigado à aplicação de nitrogênio. O experimento foi conduzido em campo, por dois anos consecutivos, com 12 genótipos e cinco doses de N. Foram utilizadas doses de 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N. Os genótipos de arroz irrigado apresentaram diferenças significativas na produtividade de grãos. Houve resposta significativa e quadrática à aplicação de N. Nos dois anos de cultivo, os genótipos mais produtivos foram BRSGO Guará e BRS Alvorada, e os menos produtivos foram BRS Jaburu e BRS Biguá. A maior produtividade dos genótipos BRS Guará e BRS Alvorada está associada ao maior número de panículas, maior índice de colheita e menor esterilidade de espiguetas sob alta dose de N. Os genótipos diferiram, também, na eficiência do uso de N, no que se refere à produtividade de grãos por quilograma de N aplicado, N acumulado na planta ou recuperado pela planta.

Termos para indexação: *Oryza sativa*, arroz irrigado, componentes de rendimento, eficiência agrônômica.

Yield and nitrogen use efficiency of lowland rice genotypes as influenced by nitrogen fertilization

Abstract – The objective of this work was to evaluate the yield of lowland rice genotypes as affected by nitrogen fertilization. A field experiment was conducted, during two consecutive years, in order to evaluate the response of 12 irrigated rice genotypes to five doses of N application. The N doses used were 0, 50, 100, 150 and 200 kg ha⁻¹. Genotypes differed significantly in relation to grain yield. Response of genotypes to N rate was significant and quadratic. Genotypes BRSGO Guará and BRS Alvorada had maximum grain yield and BRS Jaburu and BRS Biguá were the lowest yield producers, during two years of cultivation. Higher productivity of BRSGO Guará and BRS Alvorada was associated with higher panicle number, higher grain harvest index, and low grain sterility at higher N rates. Genotypes also differed in N use efficiency regarding grain produced per kilogram of N applied, and regarding N accumulated in the plant or recovered by plant

Index terms: *Oryza sativa*, irrigated rice, yield components, agronomic efficiency.

Introdução

A importância do nitrogênio na cultura de arroz irrigado é indiscutível. A deficiência de N nesta cultura, nos solos de várzeas do Brasil Central, é frequentemente observada (Fageria et al., 2003a), e entre as principais razões para sua ocorrência estão as perdas por vários processos (volatilização, lixiviação, desnitrificação, erosão), baixas doses de aplicação e diminuição do teor de matéria orgânica em consequência dos cultivos sucessivos. É, também, o nutriente que a planta de arroz acumula em maior quantidade, com exceção do K (Fageria et al., 2003b).

O arroz no Brasil é cultivado em várzeas e terras altas, sob diversos sistemas de produção. A cultura de

arroz irrigado contribui com aproximadamente 68% da produção brasileira e ocupa cerca de 31% da área cultivada com este cereal. No Brasil, existem aproximadamente 35 milhões de hectares de várzeas e, no momento, menos de 2 milhões de hectares desse total são utilizados na produção de arroz irrigado. A maioria das áreas de várzeas está localizada nas margens de rios ou lagos e, em muitas delas, há disponibilidade de água durante a época da seca, o que possibilita o cultivo de outra espécie pelo uso da subirrigação. Isso significa que existe grande potencial para aumentar as áreas de várzeas para a produção de grãos no país. A maioria dos solos de várzeas, contudo, são ácidos e, após dois ou três cultivos, têm sua fertilidade diminuída significativamente (Vahl, 1999). Isto é particularmente

importante para o N, principalmente em sistemas irrigados, pelo seu envolvimento nas reações de nitrificação e desnitrificação.

A eficiência de recuperação de N pelo arroz inundado situa-se em torno de 40%, em solo de várzea (Fageria & Baligar, 2001). Nessa situação, o uso racional da adubação nitrogenada é fundamental, não somente para aumentar a eficiência de recuperação, mas também para aumentar a produtividade das culturas e diminuir o custo de produção e os riscos de poluição ambiental. A eficiência de recuperação de N pode ser aumentada com a adoção de práticas de manejo apropriadas, como o uso de dose adequada e aplicação na época apropriada, de acordo com resultados de pesquisa e com a necessidade da cultura (Fageria et al., 2003b). Além disso, o emprego de cultivares eficientes na absorção e utilização de N é uma importante estratégia para aumentar a eficiência de seu uso. A literatura indica que existe grande diferença entre as cultivares quanto à capacidade de absorção e utilização de nutrientes, inclusive N (Singh et al., 1998).

O objetivo deste trabalho foi avaliar respostas de genótipos de arroz irrigado à aplicação de nitrogênio.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Palmital, da Embrapa Arroz e Feijão, durante dois anos consecutivos nas safras de 2003/2004 e 2004/2005, num Gleissolo Háptico distrófico de várzea (Embrapa, 1999). Os resultados da análise química e granulométrica das amostras de solo da área experimental, coletadas antes da instalação do experimento, revelaram: pH 4,8; MO, 9 g dm⁻³; P, 24,5 mg dm⁻³; K, 34 mg dm⁻³; Ca, 1 cmol_c dm⁻³; Mg, 0,5 cmol_c dm⁻³; Al, 1,5 cmol_c dm⁻³; Cu, 5,1 mg dm⁻³; Zn, 4,9 mg dm⁻³; Fe, 462 mg dm⁻³ e Mn, 14 mg dm⁻³. A análise granulométrica mostrou 322 g dm⁻³ de argila, 140 g dm⁻³ de silte e 538 g dm⁻³ de areia. As análises química e granulométrica de solo foram realizadas de acordo com o manual e métodos de análise do solo da Embrapa (1997).

A dose de calcário foi calculada com base no teor de Al e Ca+Mg trocáveis pela seguinte fórmula: dose de calcário (Mg ha⁻¹) = (2 x Al³⁺) + {2 - (Ca²⁺ + Mg²⁺)}, corrigindo-se o PRNT do calcário para 100%. Foram incorporados ao solo, com grade, 4 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, quatro semanas antes do plantio do primeiro cultivo de arroz. O calcário utilizado possuía PRNT 85,1%, CaO, 32,9% e MgO, 14%.

Os tratamentos consistiram de 12 genótipos de arroz irrigado: BRS Jaçanã, CNAi 8860, BRS Fronteira, CNAi 8879, CNAi 8880, CNAi 8886, CNAi 8885, CNAi 8569, BRSGO Guará, BRS Alvorada, BRS Jaburu e BRS Biguá, e cinco doses de N: 0, 50, 100, 150, e 200 kg ha⁻¹. A metade do N foi aplicada no sulco do plantio na forma de uréia, e o restante em cobertura, aos 45 dias após o plantio, também com uréia. O parcelamento do N foi baseado no trabalho de Fageria et al. (2003b). A adubação foi de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O no sulco de plantio, tendo-se como fonte o superfosfato triplo e o cloreto de potássio.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e com três repetições. As doses de N constituíram a parcela principal, e os genótipos as subparcelas. As parcelas foram compostas por quatro fileiras de cada genótipo com 5 m de comprimento. O espaçamento entre fileiras foi de 20 cm. A densidade de sementes foi de 90 sementes por metro. Após 25 dias de germinação, as parcelas foram inundadas com lâmina de água de aproximadamente 10 cm. Foi aplicado o herbicida Ronstar pré-emergência, para controlar planta daninhas.

Para a determinar a produção de grãos, foram coletadas duas fileiras centrais de 4 m cada, tendo-se deixado 0,5 m nos dois lados, como bordadura. Os genótipos foram colhidos no estágio de maturação fisiológica e, na mesma época, foi colhido um metro da linha de plantio, em cada unidade experimental, para se determinar o acúmulo de matéria seca da parte aérea. Foi determinado o número de panículas por metro, em três locais, em cada parcela.

Para a avaliação da eficiência do uso de N, determinou-se, pelo método Kjeldahl, o N presente na parte aérea e nos grãos de cinco genótipos selecionados ao acaso. Foram realizadas as análises de variância de cada ano e a conjunta, para verificar se houve interação entre ano e genótipos. As médias dos tratamentos foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e foram utilizadas equações de regressão apropriadas para avaliar os efeitos da adubação nitrogenada.

Foram selecionados cinco genótipos para a realização de análises foliares, com o intuito de se reduzirem os custos. Nos genótipos selecionados, para o cálculo da eficiência do uso de N, foram empregadas as fórmulas (Fageria et al., 2003a): eficiência agrônômica (EA) = (PG_{cf} - P_{g_{sf}})/(QN_a), dada em kg kg⁻¹, em que PG_{cf} é a produção de grãos com fertilizante nitrogenado;

PG_{sf} é a produção de grãos sem fertilizante nitrogenado; e QN_a é a quantidade de N aplicado em quilograma. A eficiência fisiológica (EF) = (PB_{cf} - PB_{sf})/(AN_{cf} - AN_{sf}) foi dada em kg kg⁻¹, em que PB_{cf} é a produção biológica (palha e grãos) com fertilizante nitrogenado; PB_{sf} é a produção biológica (palha e grãos), sem fertilizante nitrogenado; AN_{cf} é a acumulação de N na parte aérea e nos grãos, com fertilizante nitrogenado; e AN_{sf} é a acumulação de N na parte aérea e nos grãos, sem fertilizante nitrogenado. A eficiência agrofisiológica (EAF) = (PG_{cf} - PG_{sf})/(AN_{cf} - AN_{sf}) foi dada em kg kg⁻¹, em que PG_{cf} é a produção de grãos, com fertilizante nitrogenado; PG_{sf} é a produção de grãos, sem fertilizante nitrogenado; AN_{cf} é a acumulação de N na parte aérea e nos grãos, com fertilizante nitrogenado; e AN_{sf} é a acumulação de N na parte aérea e nos grãos, sem fertilizante nitrogenado. A eficiência de recuperação (ER) = 100(AN_{cf} - AN_{sf}/QN_a) foi dada em porcentagem, em que AN_{cf} é a acumulação de N na parte aérea e nos grãos, com fertilizante nitrogenado; AN_{sf} é a acumulação de N na parte aérea e nos grãos, sem fertilizante nitrogenado; e QN_a é a quantidade de N aplicado em quilograma.

O índice de colheita de grãos foi obtido pelo quociente entre produtividade de grãos (kg ha⁻¹) e produtividade de matéria seca total da parte aérea (kg ha⁻¹).

Resultados e Discussão

Houve efeitos significativos das doses de N, genótipos e interação entre ano e genótipos, em relação à produtividade de grãos (Tabela 1). Portanto, os dados

Tabela 1. Produtividade (kg ha⁻¹) de genótipos de arroz irrigado. Médias de cinco doses de nitrogênio⁽¹⁾.

Genótipo	1º ano	2º ano	Média
BRS Jaçanã	4.015bc	3.663ab	3.839ab
CNAi 8860	4.519abc	4.168ab	4.344ab
BRS Fronteira	4.415abc	4.372ab	4.393ab
CNAi 8879	4.351abc	4.382a	4.366ab
CNAi 8880	4.394abc	4.578a	4.486ab
CNAi 8886	4.638abc	4.262ab	4.450ab
CNAi 8885	4.856abc	4.162ab	4.509ab
CNAi 8569	4.581abc	3.565ab	4.073ab
BRS GO Guarã	5.557a	4.098ab	4.828a
BRS Alvorada	5.260ab	4.185ab	4.723ab
BRS Jaburu	3.778c	3.497ab	3.638b
BRS Biguá	4.343abc	3.252b	3.798ab
Média	4.559	4.015	

⁽¹⁾Valores seguidos por letras iguais, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

dos genótipos são apresentados por ano e, com relação ao N, são apresentadas apenas as médias dos dois anos, na equação: $Y = 2.339,92 + 26,5780X - 0,0474X^2$ ($R^2 = 0,8900^{**}$).

A produtividade de grãos aumentou de forma quadrática, em relação às doses de N aplicadas. A dose de N necessária para obtenção de 90% da produtividade máxima, considerada como dose econômica, foi atendida com 136 kg ha⁻¹ de N, que possibilitaria rendimento médio de 5.077 kg ha⁻¹. Os resultados obtidos por Fageria & Baligar (2001) mostraram que houve resposta significativa e quadrática da produtividade do arroz à aplicação de N, na faixa de 0 a 210 kg ha⁻¹, em três anos de experimento. Tem Berge & Riethovem (1997), ao relatar resultados obtidos na China sobre a dose adequada de N, na produção de arroz irrigado, concluíram que, para cultivares de ciclo médio (135 dias), a dose adequada é de 100 a 150 kg ha⁻¹. Dobermann et al. (2000) relataram que a cultivar de arroz irrigado IR72 aumentou significativamente a produtividade até a dose de 150 kg ha⁻¹ de N, em trabalho conduzido em condições de campo, no Instituto Internacional de Pesquisa de Arroz, nas Filipinas. Vahl (1999) relatou que a produtividade máxima de cultivares modernas, no Rio Grande do Sul, foi obtida com a aplicação de 114 a 126 kg ha⁻¹ de N, dependendo da região e do solo. Mariot et al. (2003) relataram que a resposta da cultivar IRGA 417, no Rio Grande do Sul, foi linear, na faixa de 0 a 120 kg ha⁻¹ de N, mas com a cultivar BR-IRGA 410, a resposta foi quadrática, na mesma faixa de adubação.

A produtividade de grãos entre os genótipos variou de 3.778 a 5.557 kg ha⁻¹, no primeiro ano, e de 3.252 a 4.578 kg ha⁻¹, no segundo ano de cultivo. No primeiro ano, a maior produtividade foi obtida com as cultivares BRS GO Guarã, seguida pela BRS Alvorada. A cultivar BRS Jaburu apresentou a menor produtividade. No segundo ano, o genótipo CNAi 8880 apresentou a maior produtividade, seguido pelo CNAi 8879, enquanto a cultivar BRS Biguá foi a menos produtiva. Na média dos dois anos, a maior produtividade foi a da cultivar BRS GO Guarã, seguida da BRS Alvorada, e a BRS Jaburu foi a menos produtiva. A BRS GO Guarã produziu 33% a mais, em comparação com a BRS Jaburu. Isto significa que existe grande potencial de aumento da produtividade com a seleção de genótipos mais eficientes na absorção e utilização de N. A diferença entre os genótipos de arroz, na absorção e utilização de N e no potencial de produtividade, é

largamente relatada na literatura (De Datta et al., 1988; Singh et al., 1998; Kiniry et al., 2001; Fageria et al., 2003a; Fageria & Baligar, 2005).

O número de panículas e o índice de colheita de grãos foram influenciados significativamente pela interação ano x genótipos (Tabela 2). No primeiro ano de cultivo, o número de panículas variou de 408 a 516 panículas por metro quadrado, mas o teste de média empregado não indicou diferença significativa entre os genótipos. No segundo ano, a variação foi de 230 a 385 panículas por metro quadrado. A diminuição do estande, ocasionada pelo herbicida oxadiazon, aplicado em pré-emergência, foi a causa da redução no número de panículas, no segundo ano. As cultivares BRS Alvorada e BRSGO Guará alcançaram o maior número de panículas, e os genótipos BRS Biguá, BRS Jaçanã e CNAi 8860, o menor. Em razão do maior número de panículas, os genótipos BRSGO Guará e BRS Alvorada apresentaram maior produtividade de grãos (Tabela 1). O número de panículas foi altamente correlacionado à produtividade do arroz ($r = 0,6780^{**}$). Fageria et al. (2003b) e Fageria & Baligar (2005) relataram que é quadrática a relação entre o número de panículas e a produtividade na cultura do arroz. Isto significa que a produtividade de arroz pode ser aumentada, com o aumento do número de panículas por unidade de área, até certo limite. O número de panículas é característica da cultivar, mas pode ser aumentado

com a aplicação de dose adequada de N (Fageria & Baligar, 2001; Fageria et al., 2006).

O índice de colheita de grãos é outro parâmetro importante na determinação da produtividade de arroz (Fageria et al., 2006). Na média dos dois anos, o índice de colheita de grãos variou de 0,39 a 0,49 (Tabela 2). Os genótipos BRSGO Guará e BRS Alvorada, que apresentaram maior produtividade de grãos, também apresentaram maior índice de colheita, em comparação aos demais genótipos. A correlação entre produtividade de grãos e índice de colheita de grãos foi significativa e positiva ($r = 0,3680^{**}$). Isso significa que esse índice está associado ao aumento da produtividade no arroz. O índice de colheita das cultivares tradicionais está em torno de 0,3 e, o das modernas, em torno de 0,5 (Mae, 1997; Fageria et al., 2006). O índice de colheita de cultivares de arroz irrigado chegou até 0,59, em estudo conduzido na Califórnia (Roberts et al., 1993).

As interações ano x N e ano x genótipos, com relação à esterilidade de espiguetas, foram significativas. Dados relativos à esterilidade de espiguetas, nos dois anos, são apresentados na Tabela 3. Houve diferença significativa entre os genótipos, dentro de cada dose de N. Na média, houve ligeiro aumento na esterilidade de espiguetas, com o aumento da dose de N, e este aumento variou de genótipo para genótipo. Nas cultivares BRSGO Guará e BRS Alvorada, que apresentaram as maiores produtividades, a esterilidade de grãos diminuiu com o aumento das doses de N. O genótipo BRS Alvorada mostrou mínima esterilidade de espiguetas na aplicação de 200 kg ha⁻¹ de N. A baixa esterilidade, em condição de alta dose de N, é considerada um dos importantes critérios de seleção para as cultivares responsivas à aplicação de N (Yoshida, 1981). Em termos gerais, a maior esterilidade foi obtida no primeiro ano de cultivo. Yoshida (1981) relatou que 15% de esterilidade de espiguetas em arroz irrigado é normal, mesmo em condições ambientais favoráveis. Alguns genótipos, como BRSGO Guará e BRS Alvorada, apresentaram valor de esterilidade em torno de 15% com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de N. Esses materiais deverão ser importante fonte para o desenvolvimento de cultivares com baixa esterilidade de grãos, com o uso de altas doses de N. Esses resultados mostram que a esterilidade de grãos, em arroz irrigado, é característica dos genótipos e pode ser modificada com o uso de N.

A massa de 1.000 grãos foi influenciada somente pelos genótipos e variou de 24,7 a 27,4 g (Tabela 4).

Tabela 2. Número de panículas e índice de colheita de grãos (ICG) de genótipos de arroz irrigado. Médias de cinco doses de nitrogênio⁽¹⁾.

Genótipo	Panículas por m ²			ICG ⁽²⁾		
	1º ano	2º ano	Média	1º ano	2º ano	Média
BRS Jaçanã	429a	229d	329c	0,45ab	0,46a	0,45a
CNAi 8860	421a	242d	331c	0,45ab	0,48a	0,47a
BRS Fronteira	423a	263cd	343bc	0,43ab	0,47a	0,45ab
CNAi 8879	439a	254d	346bc	0,45ab	0,49a	0,47a
CNAi 8880	454a	274bcd	364abc	0,44ab	0,51a	0,47a
CNAi 8886	479a	300bcd	390abc	0,46ab	0,52a	0,49a
CNAi 8885	419a	339ab	379abc	0,46ab	0,49a	0,48a
CNAi 8569	413a	332abc	372abc	0,41b	0,37a	0,39b
BRSGO Guará	501a	382a	442ab	0,51a	0,48a	0,49a
BRS Alvorada	516a	385a	450a	0,49ab	0,48a	0,48a
BRS Jaburu	490a	328abc	409abc	0,44ab	0,46a	0,45a
BRS Biguá	408a	230d	319c	0,48ab	0,51a	0,49a
Média	449	297	373	0,46	0,48	0,47

⁽¹⁾Valores seguidos por letras iguais, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. ⁽²⁾Índice de colheita de grãos = produtividade de grãos/produtividade de grãos mais massa de matéria seca da arte aérea.

Yoshida (1981) relatou que a massa de 1.000 grãos é um componente da produtividade bastante estável e característico da cultivar. A correlação entre a massa de 1.000 grãos e a produtividade de grãos foi positiva mas não significativa, o que demonstra, mais uma vez, a sua menor importância no aumento da produtividade de grãos na cultura de arroz.

Os genótipos diferiram quanto à eficiência do uso de N (Tabela 5). O genótipo CNAi 8886 produziu 23 kg de grãos por quilograma de N aplicado. Na mesma situação, o genótipo CNAi 8569 produziu 17 kg de grãos por quilograma de N aplicado. Na média, 19 kg de grãos foram produzidos por quilograma de N aplicado. Fageria & Baligar (2001) relataram que a cultivar Metica 1 produziu 23 kg de grãos por quilograma de N aplicado. Dobermann et al. (2000) relataram que, com a aplicação

de 150 kg ha⁻¹ de N, a eficiência agrônômica da cultivar de arroz irrigado IR 72 foi de 20 kg de grãos por quilograma de N aplicado. Yoshida (1981) relatou que a eficiência agrônômica nas regiões tropicais, geralmente, situa-se na faixa de 15 a 25 kg de arroz produzido por quilograma de N aplicado.

A eficiência fisiológica foi maior na BRSGO Guará e menor no genótipo CNAi 8886. Na média, com a acumulação de 1 kg de N na parte aérea e nos grãos, foram produzidos 155 kg de matéria seca (na palha e nos grãos). Fageria et al. (2003b) relataram que a acumulação de 1 kg de N, na parte aérea e nos grãos, produziu 146 kg de matéria seca. A eficiência agrofisiológica variou de 56 a 123 kg de grãos produzidos por quilograma de N acumulado na parte aérea e nos grãos. Na média, a eficiência agrofisiológica foi de 77 kg de grãos por quilograma de N acumulado na parte aérea e nos grãos. Fageria & Baligar (2001) relataram

Tabela 3. Esterilidade de espiguetas de genótipos de arroz irrigado, sob diferentes doses de nitrogênio no primeiro e no segundo ano⁽¹⁾.

Genótipo	Doses de nitrogênio (kg ha ⁻¹)				
	0	50	100	150	200
1º ano					
BRS Jaçanã	13,7a	17,8bc	22,6a	17,2b	22,7a
CNAi 8860	7,7b	15,9bc	17,5a	18,8b	21,1a
BRS Fronteira	11,3b	20,2bc	21,1a	24,6ab	23,4a
CNAi 8879	9,9b	14,4bc	18,3a	19,9ab	23,1a
CNAi 8880	7,9b	14,8bc	17,3a	18,1b	20,3a
CNAi 8886	8,7b	14,3bc	18,6a	24,6ab	22,1a
CNAi 8885	9,4b	11,2c	15,3a	16,2b	17,1a
CNAi 8569	28,5a	29,8a	25,0a	29,5a	29,0a
BRSGO Guará	26,9a	23,3ab	16,1a	19,0b	14,2a
BRS Alvorada	22,8a	17,6bc	14,9a	15,9b	13,8a
BRS Jaburu	25,9a	21,9ab	23,7a	19,8ab	19,2a
BRS Biguá	23,4a	17,8bc	15,0a	18,4b	16,6a
Média	16,3	18,3	18,8	20,2	20,2
2º ano					
BRS Jaçanã	9,5b	17,1a	19,2ab	12,4a	16,2ab
CNAi 8860	9,7b	15,4a	17,5ab	15,4a	15,1b
BRS Fronteira	12,4b	17,3a	21,6a	18,0a	22,8a
CNAi 8879	10,3b	14,0a	14,9ab	18,8a	16,7ab
CNAi 8880	9,5b	13,4a	15,9ab	13,0a	17,2ab
CNAi 8886	12,2b	13,5a	15,6ab	18,4a	15,2b
CNAi 8885	9,9b	14,6a	9,7b	15,1a	15,2b
CNAi 8569	20,2ab	15,8a	15,7ab	18,7a	18,9ab
BRSGO Guará	26,4a	20,9a	21,7a	17,6a	16,4ab
BRS Alvorada	18,1ab	15,8a	17,6ab	14,1a	13,4b
BRS Jaburu	18,4ab	21,4a	15,3ab	17,6a	16,1ab
BRS Biguá	19,9ab	13,7a	15,6ab	18,0a	15,8ab
Média	14,7	16,1	16,7	16,4	16,6

⁽¹⁾Valores seguidos por letras iguais, na mesma coluna, em cada ano, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 4. Massa de 1.000 grãos de genótipos de arroz irrigado. Médias de dois anos e cinco doses de nitrogênio⁽¹⁾.

Genótipo	Massa de 1.000 grãos (g)
BRS Jaçanã	25,3bcd
CNAi 8860	26,5abc
BRS Fronteira	27,0ab
CNAi 8879	27,4a
CNAi 8880	26,6abc
CNAi 8886	26,7abc
CNAi 8885	24,7d
CNAi 8569	26,0abcd
BRSGO Guará	25,0cd
BRS Alvorada	26,2abcd
BRS Jaburu	26,5abc
BRS Biguá	26,2abcd
Média	26,2

⁽¹⁾Valores seguidos por letras iguais, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 5. Eficiência do uso de N pelos genótipos de arroz irrigado. Médias de quatro doses de nitrogênio⁽¹⁾.

Genótipo	EA	EF	EAF	ER (%)
----- (kg kg ⁻¹) -----				
CNAi 8886	23	105	56	37
CNAi 8569	17	188	69	29
BRSGO Guará	21	222	123	29
BRS Jaburu	16	114	64	26
BRS Biguá	19	145	74	23
Média	19	155	77	29

⁽¹⁾EA: eficiência agrônômica; EF: eficiência fisiológica; EAF: eficiência agrofisiológica; ER: eficiência de recuperação.

valor médio de 63 kg de grãos de arroz, produzidos com a acumulação de 1 kg de N na parte aérea e nos grãos. A eficiência de recuperação variou de 23 a 37%, entre os genótipos, com valor médio de 29%. Fageria et al. (2003a) relataram que a eficiência de utilização do N, pela cultura do arroz irrigado, é baixa, em consequência das perdas por volatilização, imobilização, lixiviação e desnitrificação. A maioria dos trabalhos realizados mostra que a eficiência de recuperação de N, na cultura do arroz irrigado, situa-se entre 20 e 40% (De Data et al., 1988; Schnier, 1994; Bronson et al., 2000).

Conclusões

1. Há efeito significativo e quadrático da aplicação de nitrogênio na produtividade de grãos.
2. A contribuição dos componentes de produção das plantas à produtividade de grãos é decrescente, na seguinte ordem: número de panículas > índice de colheita de grãos > massa de 1.000 grãos.
3. A eficiência do uso do nitrogênio varia de acordo com os genótipos e o tipo de eficiência calculada; em média, a eficiência de recuperação é baixa.
4. A menor esterilidade de espiguetas, nas maiores doses de nitrogênio, é característica importante no aumento da produtividade e apresenta comportamento diferenciado entre genótipos.

Referências

- BRONSON, K.F.; HUSSAIN, F.; PASUQUIN, E.; LADHA, J.K. Use of ¹⁵N-labeled soil in measuring nitrogen fertilizer recovery efficiency in transplanted rice. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.235-239, 2000.
- DE DATTA, S.K.; BURESH, R.J.; SAMSON, M.I.; KAI-RONG, W. Nitrogen use efficiency and nitrogen-15 balance in broadcast-seeded flooded and transplanted rice. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.849-855, 1988.
- DOBERMANN, A.; DAWE, D.; ROETTER, R.P.; CASSMAN, K.G. Reversal of rice yield decline in a long-term continuous cropping experiment. **Agronomy Journal**, v.92, p.633-643, 2000.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1999. 412p.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v.88, p.97-185, 2005.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Lowland rice response to nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.32, p.1405-1429, 2001.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; CLARK, R.B. **Physiology of crop production**. New York: Haworth Press, 2006. 345p.
- FAGERIA, N.K.; SLATON, N.A.; BALIGAR, V.C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, v.80, p.63-152, 2003a.
- FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B. dos. **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003b. 250p.
- KINIRY, J.R.; McCAULEY, G.; XIE, Y.; ARNOLD, J.G. Rice parameters describing crop performance of four U.S. cultivars. **Agronomy Journal**, v.93, p.1354-1361, 2001.
- MAE, T. Physiological nitrogen efficiency in rice: nitrogen utilization, photosynthesis, and yield potential. In: ANDO, T.; FUJITA, K.; MAE, T.; MATSUMOTO, H.; MORI, S.; SEKIYA, J. (Ed.). **Plant nutrition for sustainable food production and environment**. Dordrecht: Kluwer, 1997. p.51-60.
- MARIOT, C.H.P.; SILVA, P.R.F. da; MENEZES, V.G.; TEICHMANN, L.L. Resposta de duas cultivares de arroz irrigado à densidade de sementeira e à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.233-241, 2003.
- ROBERTS, S.R.; HILL, J.E.; BRANDON, D.M.; MILLER, B.C.; SCARDACI, S.C.; WICK, C.M.; WILLIAMS, J.F. Biological yield and harvest index in rice: nitrogen response of tall and semidwarf cultivars. **Journal of Production Agriculture**, v.6, p.585-588, 1993.
- SCHNIER, H.F. Nitrogen-15 recovery fraction in flooded tropical rice as affected by added nitrogen interaction. **European Journal of Agronomy**, v.3, p.161-167, 1994.
- SINGH, U.; LADHA, J.K.; CASTILLO, E.G.; PUNZALAN, G.; TIROL-PADRE, A.; DUQUEZA, M. Genotypic variation in nitrogen use efficiency in medium- and long-duration rice. **Field Crops Research**, v.58, p.35-53, 1998.
- TEM BERGE, H.F.M.; RIETHOVEN, J.J.M. Application of a simple rice nitrogen model. In: ANDO, T.; FUJITA, K.; MAE, T.; MATSUMOTO, H.; MORI, S.; SEKIYA, J. (Ed.). **Plant nutrition for sustainable food production and environment**. Dordrecht: Kluwer, 1997. p.793-798.
- VAHL, L.C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A. da S.; PAULETTO, E.A. (Ed.). **Manejo de solo e da água em áreas de várzeas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p.119-162.
- YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: IRRI, 1981. 269p.

Recebido em 27 de março de 2007 e aprovado em 11 de junho de 2007