

## MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA ATIVIDADE DA NITRATO REDUTASE E ACÚMULO DE BIOMASSA POR PLANTAS DO ARROZ DE TERRAS ALTAS

Edemar Moro<sup>1</sup>, Carlos Alexandre Costa Crusciol<sup>2</sup>, Adriana Lima Moro<sup>1</sup>, Fernando Broetto<sup>2</sup>, Adriano Stephan Nascente<sup>3</sup>, João Paulo Costa Carneiro<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Curso de Agronomia, Presidente Prudente, SP. <sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP, Botucatu, SP. <sup>3</sup>Embrapa, Arroz e Feijão, Santo Antonio de Goiás, GO. <sup>4</sup>Universidade Estadual de Londrina – UEL, Londrina, PR.

### RESUMO

O uso de alternativas que proporcionem aumento da atividade da enzima nitrato redutase (NR) no início do desenvolvimento das plantas pode viabilizar a introdução do arroz de terras altas no sistema plantio direto (SPD). O objetivo foi determinar a interferência de épocas e fontes de nitrogênio na atividade da enzima nitrato redutase e no acúmulo de biomassa por plantas de arroz de terras altas em SPD. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, Botucatu (SP), em área cultivada há seis anos no SPD. As parcelas foram constituídas por seis espécies de plantas de cobertura do solo (*Urochloa brizantha*, *U. decumbens*, *U. humidicola*, *U. ruziziensis*, *Pennisetum americanum* e *Crotalaria spectabilis*) e as subparcelas por sete formas de manejo da adubação nitrogenada aplicados aos 0 e 30 dias após a emergência do arroz, respectivamente [(1- controle, sem N, 2- nitrato de cálcio (40+40 kg ha<sup>-1</sup>), 3-nitrato de cálcio (0+80 kg ha<sup>-1</sup>), 4-sulfato de amônio, (40+40 kg ha<sup>-1</sup>), 5- sulfato de amônio (0+80 kg ha<sup>-1</sup>), 6- sulfato de amônio + dicianodiamida (40+40 kg ha<sup>-1</sup>) e 7-sulfato de amônio + dicianodiamida (0+ 80 kg ha<sup>-1</sup>)]. As plantas de cobertura *C. spectabilis* e a *U. ruziziensis* proporcionaram as maiores atividades da enzima nitrato redutase nas plantas de arroz, enquanto que milho e *U. humidicola* as menores. A atividade da enzima nitrato redutase nas plantas de arroz foi maior com aplicação de todo o nitrogênio aos 30 dias após a emergência do arroz, independentemente da fonte. O fornecimento de nitrogênio na forma amoniacal com inibidor de nitrificação proporcionou maior acúmulo de biomassa por plantas de arroz. As formas de manejo de nitrogênio que proporcionaram os maiores acúmulos de biomassa foram as parceladas. O milho foi a planta de cobertura que proporcionou o maior acúmulo de biomassa pelas plantas de arroz.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa*; sistema plantio direto; amônio, nitrogênio.

### SOURCE AND DOSES OF NITROGEN FERTILIZERS AS AFFECTING NITRATE REDUCTASE ACTIVITY AND BIOMASS ACCUMULATION BY UPLAND RICE PLANTS

#### ABSTRACT

The use of alternatives that promote increase in the activity of the nitrate reductase (NR) enzyme in the beginning of plant development could allow the introduction of upland rice in the no-tillage (NT). This paper aimed to evaluate the interference of cover crops and rates of N in the nitrate reductase activity and biomass accumulation by rice plants on NT. The experiment was conducted in Botucatu (SP), in an area under NT for six years. Plots consisted of six species of cover crops (*Urochloa brizantha*, *U. decumbens*, *U. humidicola*, *U. ruziziensis*, *Pennisetum americanum* and *Crotalaria spectabilis*), and the split plots seven forms of nitrogen fertilizer management at 0 and 30 days after rice emergence, respectively [(1- control, no N, 2- calcium nitrate (40+40 kg ha<sup>-1</sup>), 3- calcium nitrate (0+80 kg ha<sup>-1</sup>), 4- ammonium sulfate (40+40 kg ha<sup>-1</sup>), 5- ammonium sulfate (0+80

kg ha<sup>-1</sup>), 6- ammonium sulfate + dicyandiamide (40+40 kg ha<sup>-1</sup>) e 7- ammonium sulfate + dicyandiamide (0+ 80 kg ha<sup>-1</sup>]. *C. spectabilis* and *U. ruziziensis* provided the highest nitrate reductase enzyme activity in rice and *P. americanum* and *U. humidicola* the lowest. The nitrate reductase enzyme activity in rice plants was higher when all the nitrogen was applied at 30 days after emergence. The supply of nitrogen as ammonium with nitrification inhibitor showed higher biomass accumulation on rice plants. The forms of nitrogen fertilization showed the highest biomass accumulation were the splitting. The millet was showed the highest biomass accumulation on rice.

**Keywords:** ammonium; nitrogen; no tillage; *Oryza sativa*.

## INTRODUÇÃO

O Sistema Plantio Direto destaca-se por possibilitar uma série de benefícios ambientais, pois aumenta a matéria orgânica do solo, reduz a incidência de plantas daninhas e conseqüentemente, o uso de herbicidas, diminui a erosão laminar do solo, bem como o carreamento de fertilizantes e agrotóxicos para os mananciais de água (D'ANDRÉA et al., 2004; BORGHI; CRUSCIOL, 2007; SUBBARAO et al., 2007).

Dentre as principais culturas agrícolas o arroz de terras altas parece ser o menos adaptado ao SPD (KLUTHCOUSKI et al., 2000; NASCENTE et al., 2011a, 2011b). Uma das razões atribuídas para esta queda da produtividade da cultura seria a baixa atividade da enzima nitrato redutase (NR) no início do desenvolvimento do arroz. Com isso, a planta, nos estádios iniciais, possui dificuldade de absorver o nitrogênio na forma de nitrato (NASCENTE et al., 2012). A NR é a primeira enzima que atua no processo de assimilação do nitrogênio nas plantas, sendo responsável pela redução do nitrato a nitrito (PEREIRA et al., 2008). Experimentos desenvolvidos por D'Andréa et al. (2004) demonstraram que no SPD há maior disponibilidade de nitrato no solo em relação ao plantio convencional, devido ao ambiente em SPD possuir maiores teores de água, de nutrientes e matéria orgânica do solo, favorecendo a atividade microbiológica, em

especial das bactérias nitrificadoras.

O uso de alternativas que proporcionem aumento da atividade da enzima NR no início do desenvolvimento das plantas pode viabilizar a introdução do arroz de terras altas no SPD (CAZETTA; VILLELA, 2004). Entretanto, no Brasil, estudos em condições de campo no SPD onde se avalia o efeito das espécies utilizadas como planta de cobertura e da fonte de nitrogênio na atividade da enzima NR em plantas de arroz de terras altas, são inexistentes. Dessa forma, partiu-se da hipótese de que as plantas de cobertura e as fontes e doses do fertilizante nitrogenado podem alterar a atividade da enzima nitrato redutase e conseqüentemente o acúmulo de biomassa pelas plantas de arroz. O objetivo desse trabalho foi de determinar a interferência das plantas de cobertura e da fonte de nitrogênio na atividade da enzima nitrato redutase e no acúmulo de biomassa pelas plantas de arroz em sistema plantio direto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no ano agrícola 2009/2010 (10/12/2009 a 28/01/2010) na Fazenda Experimental Lageado da Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP, em Botucatu (SP), em área de arroz de terras altas. A área está localizada a 22° 51'S de latitude, 48° 26'W de longitude e 740 m de altitude. Segundo a

classificação climática de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO; DRUGOWICH, 1994). Durante o período da condução do experimento ocorreu a precipitação de 202 mm e as temperaturas máxima e mínima foram de 30° C e 18° C, respectivamente.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 1999), sendo manejado sob SPD há seis anos. A sequência de culturas neste período foi: soja/aveia preta, milho/*Urochloa brizantha*, milho/*Urochloa brizantha*, soja/aveia branca, feijão/aveia branca, soja/pousio. Na safra anterior à instalação do experimento, foi cultivado milho no verão e pousio no inverno.

Antes da implantação do experimento foi realizada a caracterização química do solo, segundo metodologia proposta por Raji et al. (2001), na profundidade 0-0,2 m e os valores obtidos foram: matéria orgânica de 14 g dm<sup>-3</sup>, pH (CaCl<sub>2</sub>) de 5,8, P(resina) de 35 mg dm<sup>-3</sup>, S de 40 mg dm<sup>-3</sup>, H+Al e K, Ca e Mg trocáveis de 6,36, 3,6, 43,0 e 34,0 mmolc dm<sup>-3</sup>, respectivamente, V de 73%, Fe, Cu, Mn, Zn e B, respectivamente, de 6,0, 7,5, 105, 2,3 e 0,22 mg dm<sup>-3</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, respectivamente, de 6,05 e 15,7 mg dm<sup>-3</sup>.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As unidades experimentais possuíam 7 m de comprimento por 4,5 m de largura. Para as avaliações, foram consideradas as linhas centrais de cada unidade experimental, desprezando-se 1,0 m nas extremidades das parcelas. As parcelas foram constituídas por seis espécies de plantas de cobertura do solo: *Urochloa brizantha*, *Urochloa decumbens*, *Urochloa humidicola*, *Urochloa ruziziensis*, *Pennisetum americanum* e *Crotalaria spectabilis*. As subparcelas constituíam-se de sete formas de manejo da adubação nitrogenada (fontes e ou doses), aos 0 e 30 DAE das plantas de arroz. Sendo estas: 1- controle, sem aplicação de N, 2- nitrato de cálcio [40 (0 dia) + 40 (30 dias) kg ha<sup>-1</sup>], 3- nitrato de cálcio (0+80 kg ha<sup>-1</sup>), 4- sulfato de amônio (40+40 kg ha<sup>-1</sup>), 5- sulfato de amônio (0+80 kg ha<sup>-1</sup>), 6- sulfato de amônio + dicianodiamida (inibidor de nitrificação) (40+40 kg ha<sup>-1</sup>) e 7- sulfato de amônio + dicianodiamida (0+ 80 kg ha<sup>-1</sup>).

A semeadura das plantas de cobertura foi realizada no dia 01/04/2009. A densidade de semeadura e o espaçamento entre linhas foram realizadas de acordo com a recomendação indicada para cada espécie. Em outubro de 2009, aos 150 DAE, foi determinada a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de cobertura. Para

isso, fez-se o corte das plantas rente ao solo em uma área de 0,15 m<sup>2</sup>. Foram feitas quatro amostragens de forma aleatória na área útil da parcela. O material foi seco em estufa de circulação forçada à 65°C, até as amostras atingiram peso constante. As produções foram: 10,7 t ha<sup>-1</sup> para milheto (*Pennisetum americanum*), 8,7 t ha<sup>-1</sup> para *Crotalaria juncea*, 12,5 t ha<sup>-1</sup> de *Urochloa brizantha*, 14,6 t ha<sup>-1</sup> de *U. decumbens*, 12,5 t ha<sup>-1</sup> na *U. humidicola* e 7,0 t ha<sup>-1</sup> na *U. ruziziensis*. Após esta coleta realizou-se aplicação em toda a área de glifosato (2.000 g de ácido equivalente ha<sup>-1</sup>).

A semeadura do arroz, cultivar IAC 202, foi realizada no dia 10/12/09 no espaçamento de 0,34 m entre linhas e na densidade de semeadura 80 sementes por metro, por meio de semeadora adubadora modelo Personalle Drill 13 da fabricante Semeato para Sistema Plantio Direto. As práticas agrícolas foram realizadas de acordo com as necessidades da cultura.

A atividade da enzima nitrato redutase na parte aérea foi avaliada aos 14, 28 e 42 DAE das plantas de arroz, de acordo com metodologia proposta por Jaworski (1971). Em cada coleta foram amostradas oito folhas recém-expandidas ao acaso, dentro da área útil, retirando-se o terço médio para a avaliação. Desta forma, para cada unidade experimental utilizou-se o valor médio destas oito folhas. A coleta foi realizada no período

da manhã, entre 8:00 e 10:00 horas. As folhas foram acondicionadas em tubos cônicos de plástico tipo Falcon (50 mL), congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em freezer a -80°C até o momento da análise.

No florescimento da cultura coletaram-se plantas contidas em 1,0 m de uma fileira dentro da área útil de cada unidade experimental, cortando os colmos próximo a superfície do solo, para determinação da produção de matéria seca da parte aérea. O material foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e levados para secagem em estufa de circulação forçada à 65 °C, até atingirem peso constante. Posteriormente o material foi pesado e os dados extrapolados em toneladas por hectare.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ) utilizando-se o programa estatístico SAS (SAS, 1999).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A atividade da NR foi influenciada pelas plantas de cobertura, pelo manejo da adubação nitrogenada e pela interação entre os fatores (Tabela 1). A maior atividade da NR aos 14 e 28 DAE foi observada quando se utilizou a fonte nítrica. Aos 42 DAE a maior atividade foi observada para a fonte amoniacal sem inibidor de nitrificação em

uma única aplicação (80 kg ha<sup>-1</sup> aos 30 DAE).

**Tabela 1.** Atividade da enzima nitrato redutase da cultivar IAC-202 em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura no Sistema Plantio Direto. Botucatu-SP, 2010

Manejo do N	Planta de cobertura <sup>1</sup>						Média
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µM g de matéria fresca h <sup>-1</sup> )						
	14 DAE						
TEST.	11,0bAB	11,0bAB	12,1aA	10,0bB	9,6bB	10,9bAB	10,8b
NO-40+40	13,8aA	12,1abA	12,3aA	12,3aA	13,0aA	14,0aA	12,9a
NH-40+40	9,51bC	13,0aA	12,2aAB	11,0abBC	11,1abABC	12,4abAB	11,6b
NHI-40+40	10,2bC	12,8abAB	11,2aABC	11,0abBC	11,3abABC	13,1aA	11,7b
Média	11,1B	12,2AB	12,0AB	11,1B	11,3B	12,6A	-
	28 DAE						
TEST.	8,0cB	9,3bA	9,0bA	9,0bA	8,8bcAB	9,1bA	8,9c
NO-40+40	9,9aB	11,4aA	10,2aB	10,1aB	10,5aB	10,6aAB	10,5a
NH-40+40	9,3abAB	9,1bAB	9,3bAB	9,2bB	8,2cC	10,0aA	9,2bc
NHI-40+40	8,9bA	9,8bA	9,2bA	9,4abA	9,7abA	9,8abA	9,5b
Média	9,0B	9,9A	9,4B	9,4B	9,3B	9,9A	-
	42 DAE						
TEST.	4,2dBC	5,4dAB	6,4cA	5,1dAB	3,3dC	3,6dC	4,7e
NO-40+40	8,9bBC	10,2abA	9,7aABC	10,1bAB	8,5bC	6,5cD	9,0c
NO-00+80	10,1bB	9,5abB	9,9aB	10,4abAB	9,3bB	11,5aA	10,1b
NH-40+40	7,1cABC	6,6cdBC	7,7bAB	7,2cABC	6,2cC	8,2bA	7,2d
NH-00+80	11,6aA	10,3aBCD	10,2aCD	9,7bD	11,6aAB	11,1aABC	10,8a
NHI-40+40	6,5cB	6,8cB	6,4cB	7,5cAB	7,0cB	8,3bA	7,1d
NHI-00+80	9,4bB	9,0bB	9,3aB	11,4aA	9,4bB	12,0aA	10,1b
Média	8,3AB	8,3AB	8,5AB	8,8A	7,9B	8,7A	-
Média geral	9,47B	10,13A	9,97AB	9,77AB	9,50B	10,40A	-

<sup>1</sup>MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ-*Urochloa brizantha*; DECU-*U. decumbens*; HUMI-*U. humidicola* e RUZI-*U. ruzizensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD); 40+40-40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz e 40 kg ha<sup>-1</sup> aplicados aos 30 DAE e 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio aplicados aos 30 DAE. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ).

Quanto ao efeito das plantas de cobertura, a espécie *Urochloa ruzizensis* destacou-se entre as demais, sendo que a atividade da NR foi maior nas parcelas cultivadas sobre esta gramínea. Na avaliação da média geral das três avaliações verificou-se que as plantas de cobertura, *Crotalaria spectabilis* e a *Urochloa ruzizensis*,

proporcionaram as maiores atividades da enzima NR, enquanto que o milheto e *Urochloa humidicola* apresentaram as menores taxas. Desta forma, constata-se que plantas de cobertura podem influenciar diretamente na atividade da NR.

A redução da atividade da NR, no decorrer do tempo, pode estar associada à

diminuição dos teores de nitrato no solo (SUBBARAO et al., 2009). Este comportamento foi confirmado por Campbell (1999), comprovando que o nível de nitrato no solo determina a atividade da enzima nitrato redutase na planta. Considerando que a planta de arroz proveio de ambientes alagados, rico em amônio e pobre em nitrato (NASCENTE et al., 2012), é provável que ao longo da evolução, este ambiente tenha contribuído para o retardo na atividade da enzima nitrato redutase nessa cultura. Nos dados do tratamento controle verifica-se valores decrescentes com o tempo, sendo 10,8  $\mu\text{M g}$  de matéria fresca  $\text{h}^{-1}$  de  $\text{NO}_2^-$  aos 14 DAE, 8,9 aos 28 DAE e 4,7 aos 42 DAE. Nessas unidades experimentais, como não foi realizada adubação nitrogenada, à medida que a planta foi consumindo o N e, conseqüentemente, reduzindo o teor no solo, a atividade da NR também foi reduzindo (Tabela 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Araújo et al. (2012) que observaram uma redução na atividade da NR com o avanço do desenvolvimento da cultura do arroz na ausência da adubação nitrogenada e reforçam que a atividade da enzima NR nas folhas e raízes pode ser induzida pela presença do substrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Pacheco et al. (2011) verificou que a atividade da NR teve sua atividade máxima no período de maior disponibilidade de  $\text{NO}_3^-$

logo após a adubação nitrogenada de cobertura.

Nas parcelas com aplicação de nitrogênio a atividade enzimática também foi reduzindo, mas os valores foram maiores do que os obtidos na testemunha. O que reforça a explicação anterior de que com a redução do nitrogênio no solo também reduz a atividade da NR. Entretanto, mesmo com a aplicação de nitrogênio, com o tempo, verificou-se uma redução na atividade da NR. Isto ocorreu por que o nitrato pode ser facilmente lixiviado caso ocorram chuvas intensas, como aconteceu no período de condução do experimento (mais de 200 mm de precipitação). O nitrato é o elemento mais facilmente lixiviado, acompanhando o movimento descendente da água que percola no perfil do solo (JUSTINO et al., 2006). Com a provável redução dos teores de nitrato no solo, é de se esperar uma redução na atividade da enzima NR.

As aplicações de fertilizantes nitrogenados aos 30 DAE proporcionaram maior atividade da enzima NR aos 42 DAE (Tabela 1), o que pode estar relacionado com os maiores teores de nitrato no solo. Nas aplicações parceladas, a planta absorveu o nutriente ou este foi perdido por lixiviação devido ao excesso de chuva (202 mm). Assim, observa-se que um aporte constante de nitrogênio no solo (adubações parceladas) é crucial para manter a atividade da NR

(CAZETTA; VILLELA, 2004), o que pode ser obtido no sistema plantio direto com o uso de plantas de cobertura e manejo adequado do nitrogênio. No presente trabalho, a maior atividade da NR foi obtida nas adubações realizadas aos 30 DAE.

O acúmulo de biomassa pelo arroz foi influenciado pelas plantas de cobertura e manejo da adubação nitrogenada (Tabela 2). Os maiores valores foram obtidos com o fornecimento parcelado de N (40 kg ha<sup>-1</sup> aplicado em duas épocas). Dentre estas formas de manejo, a maior produtividade média (6,7 ton ha<sup>-1</sup>) ocorreu com a aplicação de N amoniacal com inibidor. Diversos

estudos relataram que o efeito da adubação nitrogenada na cultura do arroz é variável, ora com incremento de produtividade (FARINELLI et al., 2004; BORDIN et al., 2003; STONE et al., 1999), ora sem (ARF et al., 1996; ARF et al., 2003). Adicionalmente, verifica-se que a produtividade de grãos do arroz ocorre devido à diferença da distribuição de assimilados entre os órgãos durante o crescimento e o desenvolvimento das plantas, sendo que, o acúmulo de biomassa pelas plantas e a translocação de fotoassimilados correlacionam-se, positivamente, com a produtividade da cultura (FALQUETO et al., 2009).

**Tabela 2.** Acúmulo de biomassa por plantas de arroz IAC-202 na época do florescimento em função do manejo da adubação nitrogenada e plantas de cobertura no Sistema Plantio Direto. Botucatu-SP, 2010.

Manejo do N	Planta de cobertura <sup>1</sup>						Média
	MILH	CROT	BRIZ	DECU	HUMI	RUZI	
Fonte/época	Produção de matéria seca (ton ha <sup>-1</sup> )						
TEST.	6,2dA	5,6aA	3,3dD	3,5cdBC	4,4cB	6,0cA	4,8c
NO-40+40	9,1aA	4,3cC	5,3bcB	5,9aB	6,1aB	7,7abB	6,4ab
NO-00+80	9,0aA	5,4abAB	4,8cC	5,2abC	5,0bcC	6,2cB	5,9bc
NH-40+40	9,3aA	4,6bcD	5,0bcCD	5,1abCD	4,7abC	7,7abB	6,1b
NH-00+80	8,1bcA	5,9aB	4,9bcC	4,4bcC	5,1bcBC	7,3bA	6,0bc
NHI-40+40	8,9abA	5,4abC	6,5aB	5,4aC	5,5abBC	8,3aA	6,7a
NHI-00+80	7,2cA	5,3abB	5,7abB	5,3aB	6,1aB	7,6abA	6,2b
Média	8,3A	5,2C	5,1D	5,0D	5,3C	7,3B	-

<sup>1</sup>MILH-*Pennisetum americanum*; CROT-*Crotalaria spectabilis*; BRIZ- *Urochloa brizantha*; DECU-*U. decumbens*; HUMI-*U. humidicola* e RUZI-*U. ruziziensis*. TEST-Testemunha (sem aplicação de N); NO-nitrato de cálcio; NH-sulfato de amônio; NHI-sulfato de amônio + inibidor de nitrificação (DCD); 40+40-40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio aplicados aos 0 DAE do arroz e 40 kg ha<sup>-1</sup> aplicados aos 30 DAE e 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio aplicados aos 30 DAE. Médias com a mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ).

A aplicação parcelada do N amoniacal com e sem inibidor não proporcionou alterações significativas na atividade da NR.

Porém, a produtividade média da aplicação parcelada de N foi maior quando utilizou-se inibidor de nitrificação com fonte amoniacal



(6,7 ton ha<sup>-1</sup>), em relação à fonte amoniacal sem inibidor (6,1 ton ha<sup>-1</sup>). Esta diferença pode ter ocorrido em razão da maior oferta de N amoniacal para a planta devido ao uso de inibidor de nitrificação. De acordo com Tisdale et al. (1985), o arroz possui preferência pela absorção de amônio. Além disso, o maior teor de amônio pode ser um fator favorável. De acordo com Souza e Fernandes (2006) as plantas não assimilam N em alto estado de oxidação; desse modo, quando NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é absorvido, só será assimilado se for reduzido a NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Cregan e Berkum (1984) constatou que a quantidade de nitrogênio absorvida aumenta progressivamente durante o período de crescimento vegetativo e atinge o máximo durante os estádios reprodutivos. Assim, como a demanda por N aumenta no decorrer do ciclo e a atividade da NR diminui, o fornecimento de N amoniacal torna-se importante para as fases de maior demanda deste nutriente.

Quanto às plantas de cobertura, as maiores produtividades foram obtidas nas parcelas que foram cultivadas com milheto (8,3 ton ha<sup>-1</sup>). Da mesma forma, Nascente et al. (2013) obtiveram maior produtividade do arroz de terras altas quando a cultura foi cultivada sobre palhada de milheto e atribuíram o resultado à rápida decomposição das plantas de cobertura que disponibiliza mais rapidamente o nitrogênio

para a cultura. Corroborando Bordin et al. (2003) e Pacheco et al. (2011), os quais observaram que, mesmo sem adubação em cobertura, houve maior produtividade em áreas cultivadas com milheto.

## CONCLUSÕES

As plantas de cobertura *Crotalaria spectabilis* e a *Urochloa ruziziensis* proporcionam as maiores atividades da enzima nitrato redutase nas plantas de arroz, enquanto que milheto e *Urochloa humidicola* as menores.

A atividade da enzima nitrato redutase nas plantas de arroz é maior com aplicação de todo o nitrogênio aos 30 DAE, independentemente da fonte.

O fornecimento de nitrogênio na forma amoniacal com inibidor de nitrificação proporciona o maior acúmulo de biomassa nas plantas de arroz.

O parcelamento do nitrogênio possibilita maior acúmulo de biomassa do arroz.

O maior acúmulo de biomassa pelas plantas de arroz ocorre após a cultura do milheto.

## Agradecimentos

À FAPESP pelo financiamento da pesquisa e ao CNPq pela concessão de bolsa produtividade em pesquisa ao segundo autor.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J.L.; FAQUIN, V.; VIEIRA, N.M.B.; OLIVEIRA, M.V.C.; SOARES, A.A.; RODRIGUES, C.R.; MESQUITA, A.C. Crescimento e produção do arroz sob diferentes proporções de nitrato e amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n.3, p.921-930, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300022>
- ARF, O.; SÁ, M.E.; RODRIGUES, R.A.F.; BUZZETTI, S.; STRADIOTO, M.F.; PASTANA, A.R.M.P. Comportamento de cultivares de arroz para condição de sequeiro irrigado por aspersão em diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura. **Científica**, v.24, n.1, p. 85-97, 1996.
- ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; SÁ, M.E.; BUZZETTI, S. Manejo do solo e adubação nitrogenada para cultivares de arroz de terras altas irrigadas por aspersão. **Scientia Agrícola**, v.60, n.2, p.348-352, 2003
- BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. **Bragantia**, v.62, n.3, p.417-428, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052003000300008>
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* no SPD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.2, p.163-171, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000200004>
- CAMPBELL, W.H. Nitrate reductase structure, function and regulation: Bridging the Gap between Biochemistry and Physiology. **Annual Reviews of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, n.1, p.277-303, 1999. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.277>
- CAZETTA, J.O.; VILLELA, L.C.V. Nitrate reductase activity in leaves and stems of tanner grass (*Brachiaria radicans* Napper). **Scientia Agrícola**, v.61, n.6, p.640-648, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162004000600012>
- CREGAN, P.B.; BERKUM, P. Genetics of nitrogen metabolism and physiological-biochemical selection for increased grain crop productivity. **Theoretical and Applied Genetics**, v.67, n.2/3, p.97-111, 1984. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00317013>
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e formas de nitrogênio mineral em solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.2, p.179-186, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000200012>
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 1999. 41 p.
- FALQUETO, A.R.; CASSOL, D.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M.; OLIVEIRA, A.C.; BACARIN, M.A. Partição de assimilados em cultivares de arroz diferindo no potencial de produtividade de grãos. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 453-461, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052009000300002>
- FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G.; FORNASIERI FILHO, D.; BORDIN, L. Características agrônomicas de arroz de terras altas sob plantio direto e adubação nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.3, p.447-454, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300006>
- JAWORSKI, E.G. Nitrate reductase assay in

intact plant tissues. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v.43, n.6, p.1274-1279, 1971.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0006-291X\(71\)80010-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0006-291X(71)80010-4)

JUSTINO, G.C.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M.A.; OLIVEIRA, J.A. Absorção e redução de nitrato em duas cultivares de arroz na presença de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.8, p.1285-1290, 2006.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000800011>

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C.M.; FERRARO, L.A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, v.57, n.1, p.97-104, 2000.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162000000100016>

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M.I. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, v. 2, 1994. 168p.

NASCENTE, A.S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R.R.; OLIVEIRA, P.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade do arroz de terras altas em função do manejo do solo e da época de aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.1, p.60-65, 2011a.  
<http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i1.6509>

NASCENTE, A.S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R.R.; OLIVEIRA, P.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C.A.C. Desenvolvimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas em função do manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.2, p. 189-192, 2011b.  
<http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i2.6980>

NASCENTE, A.S.; CRUSCIOL, C.A.C.; COBUCCI, T. Amônio e nitrato no solo e produtividade do arroz de terras altas influenciados por plantas de cobertura e suas épocas de dessecação. **Pesquisa Agropecuária**

**Brasileira**, v.47, n.12, p.1699-1706, 2012.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012001200004>

NASCENTE, A.S.; CRUSCIOL, C.A.C.; COBUCCI, T. The no-tillage system and cover crops – alternatives to increase upland rice yields. **European Journal of Agronomy**, v.45, n.2, p.124-131, 2013.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2012.09.004>

PACHECO, L.P.; BARBOSA, J.M.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.A.; ASSIS, R.L.; MADARI, B.E.; PETTER, F.A. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p.1787-1800, 2011.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500033>

PEREIRA, T.A.; ALVES, J.D.; ABRAHÃO, A.S.; ABRAHÃO, J.E.; FRIES, D.D.; LIVRAMENTO, D.E.; DEUNER, S. Carboidratos, redutase do nitrato e restabelecimento de mudas “passadas” de cafeeiros após a poda em diferentes alturas. **Revista Ceres**, v.55, n.3, p.236-242, 2008.

RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

SAS Institute. **Procedure guide for personal computers**. Version 5. Cary, USA, 1999.

SOUZA, S.R.; FERNANDES, M.S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S. (Eds.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-252.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A.; YOKOYAMA, L.P. Adubação nitrogenada em arroz sob irrigação suplementar por aspersão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.6, p.929-932, 1999.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999000600002>

SUBBARAO, G.V.; RONDON, M.; ITO, O.; ISHIKAWA, T.; RAO, I.M.; NAKAHARA, C.L.; BERRY, W.L. Biological nitrification inhibition (BNI) - is it a widespread phenomenon? **Plant & Soil**, v.294, n.1/2, p.5-18, 2007. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-006-9159-3>

SUBBARAO, G.V.; NAKAHARA, K.; HURTADO, M.P.; ONO, H.; MORETA, D.E.; SALCEDO, A.F.; YOSHIHASHI, A.T.; ISHIKAWA, T.; ISHITANI, M.; OHNISHI-KAMEYAMA, M.; YOSHIDA, M.; RONDON, M.; RAO, I.M.; LASCANO, C.E.; BERRY, W.L.; ITO, O. Evidence for biological nitrification inhibition in *Brachiaria* pastures.

<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0903694106>  
**Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America**, v.106, n.41, p.17302-17307, 2009.

TISDALE, S.I.; NELSON, W.I.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. New York: Macmillan, 1985, 754 p.

Recebido para publicação em 03/11/2014

Revisado em 08/06/2015

Aceito em 03/08/2015