

Boletim de Pesquisa 199

e Desenvolvimento

ISSN 1678-2518
Novembro, 2013

**Influência da Umidade do Solo e
do Uso de Inibidor de Urease na
Recuperação de Nitrogênio e
Produtividade de Arroz Irrigado**



ISSN 1678-2518

Novembro, 2013

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Embrapa Clima Temperado

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 199

Influência da Umidade do Solo e do Uso de Inibidor de Urease na Recuperação de Nitrogênio e Produtividade de Arroz Irrigado

Walkyria Bueno Scivittaro

Anderson Dias Silveira

Marla de Oliveira Farias

Embrapa Clima Temperado

Pelotas, RS

2013

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

Endereço: BR 392, Km 78

Caixa postal 403, CEP 96010-971 - Pelotas/RS

Fone: (53) 3275-8100

www.embrapa.br/clima-temperado

www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da Unidade Responsável

Presidente: *Ariano Martins de Magalhães Júnior*

Secretaria-Executiva: *Bárbara Chevallier Cosenza*

Membros: *Márcia Vizzotto, Ana Paula Schneid Afonso, Giovani Theisen, Luis Antônio Saita de Castro, Flávio Luiz Carpêna Carvalho.*

Suplentes: *Isabel Helena Vernetti Azambuja, Beatriz Marti Emygdio*

Revisão de texto: *Bárbara Chevallier Cosenza*

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Rosana Bosenbecker (estagiária)*

Foto(s) de capa: *Walkyria Bueno Scivittaro*

1^a edição

1^a impressão (2013): 30 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Clima Temperado

S419i Scivittaro, Walkyria Bueno

Influência da umidade do solo e do uso de inibidor de urease na recuperação de nitrogênio e produtividade de arroz irrigado /Walkyria Bueno Scivittaro, Anderson Dias Silveira, Marla de Oliveira Farias. - Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013.

28 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 199)

1. Arroz irrigado. 2. Uréia. 3. Adubação nitrogenada.

I. Silveira, Anderson Dias. II. Farias, Marla de Oliveira.

III. Título. IV. Série.

633.18 CDD

©Embrapa 2013

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Materiais e Métodos	10
Resultados e Discussão	13
Conclusões	26
Referências	27

Influência da Umidade do Solo e do Uso de Inibidor de Urease na Recuperação de Nitrogênio e Produtividade de Arroz Irrigado

Walkyria Bueno Scivittaro¹

Anderson Dias Silveira²

Marla de Oliveira Farias³

Resumo

A ureia é a principal fonte de nitrogênio para o arroz irrigado. Na região Sul do Brasil, parte do nutriente é aplicada na semeadura, e o restante em cobertura, no início do perfilhamento e iniciação da panícula. A primeira cobertura com N é aplicada em solo seco, antecedendo o início da irrigação por inundação, estando sujeita a perdas por volatilização de amônia, cuja intensidade varia com a umidade do solo e o intervalo de tempo entre a aplicação do N e o início da irrigação. O uso de um inibidor de urease pode ser benéfico, minimizando as perdas de amônia. Em razão do exposto, realizou-se um experimento para avaliar o efeito do uso de inibidor de urease, do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada com N-ureia no início do perfilhamento e o início da inundação, e da umidade do solo sobre o desempenho produtivo e a recuperação de nitrogênio pelo arroz. O estudo foi realizado em duas safras agrícolas consecutivas, na Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. Em ambas as safras, o experimento foi realizado sob duas condições de umidade

¹ Engenheira-agronôma, D.Sc. em Energia Nuclear na Agricultura, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

² Estudante de Agronomia da FAEM-UFPel, bolsista ProbiC da Fapergs, Pelotas, RS

³ Engenheira-agronôma, D.Sc. em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas, Bolsista DTI do CNPq, Pelotas, RS

do solo [solo úmido (oxidado) e solo saturado]. Para cada condição de umidade do solo, os tratamentos compreenderam as combinações de duas fontes de nitrogênio (ureia e ureia protegida com o inibidor de urease NBPT) e três intervalos de tempo entre a adubação nitrogenada no início do perfilhamento e a entrada de água definitiva na lavoura (1, 5 e 10 dias). Na segunda safra, incluiu-se, porém, um fator adicional, dose de N, em três níveis: 40; 80 e 120 kg ha⁻¹. Avaliou-se o efeito dos tratamentos sobre o estado nutricional, desempenho produtivo e utilização de N pelas plantas de arroz. O intervalo de tempo entre a aplicação da ureia e o início da irrigação para o arroz deve ser menor em solo saturado, relativamente à condição de solo úmido, visando otimizar a produtividade de grãos e a eficiência de recuperação do N aplicado ao arroz. O uso do inibidor de urease NBPT possibilita que a aplicação de ureia anteceda em mais de cinco dias a entrada de água na lavoura de arroz sem prejuízo para a produtividade e a recuperação de nitrogênio pelo arroz irrigado, independentemente do teor de água no solo no momento da aplicação.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., adubação nitrogenada, manejo, produtividade, recuperação.

Influence of Soil Moisture and Use of Urease Inhibitor on Nitrogen Recovery and Rice Yield

Abstract

Urea is the primary nitrogen (N) source for flooded rice. In Southern Brazil, a small portion of the N is applied at sowing and remaining N is applied as topdressing fertilization at around beginning tillering and panicle initiation. The early topdressing fertilization should be applied onto dry soil, immediately prior to flooding. However, sometimes the time required to flood a rice field is longer than three days, and urea remained on the soil surface is prone to ammonia volatilization losses. The intensity of ammonia losses varies according to soil moisture and time interval between urea application and field flooding. The use of urease inhibitor may be of benefit in reducing ammonia losses from urea. A study was conducted to evaluate the effect of a urease inhibitor, time interval between urea application and field flooding on rice nitrogen uptake and grain yield. The experiment was carried out in two growing seasons at Embrapa Temperate Agriculture, Capão do Leão, state of Rio Grande do Sul, Brazil, on a Typic Albaqualf. The experiment consisted of applying 120 kg ha⁻¹ de N as urea with and without the urease inhibitor NBPT on wet and muddy soil 1, 5, and 10 days prior to establishment of the permanent flood. In the second growing season, three nitrogen rates were evaluated, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹. We evaluated the effect of treatments on the nutritional status, yield performance and N utilization by rice plants. Time interval

between urea application and field flooding for rice should be lower in muddy soil comparing to wet soil in order to optimize grain yield and N utilization for rice. The use of NBPT urease inhibitor enables the application of urea precede by more than five days of rice flooding without harming grain yield and nitrogen use by rice crop, regardless the condition of soil moisture (wet or muddy).

Index terms: Oryza sativa L., nitrogen fertilization, crop management, yield, nitrogen utilization.

Introdução

No Rio Grande do Sul, predomina o cultivo de arroz irrigado no sistema de semeadura em solo seco, para o qual se recomenda o parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura em duas aplicações, no início do perfilhamento e na iniciação da panícula, visando maior aproveitamento do nitrogênio (N) pela cultura. Na primeira época, preconiza-se a aplicação do fertilizante nitrogenado em solo seco, antecedendo a entrada de água na lavoura, e na segunda, sobre uma lâmina de água não circulante. Em ambas as aplicações, a fonte de N normalmente utilizada é a ureia (SOSBAI, 2012).

A aplicação de N-ureia em solo seco por ocasião do início do perfilhamento proporciona maior eficiência de utilização do nutriente pelo arroz, em razão de sua incorporação ao solo pela água de irrigação, com consequente diminuição de perdas (NORMAN et al., 1992). O sucesso desse manejo depende, basicamente, de dois fatores: intervalo de tempo entre a aplicação da ureia e o início da irrigação e condição de umidade do solo por ocasião da aplicação do fertilizante nitrogenado (SCIVITTARO; GOMES, 2006).

O período de tempo entre a aplicação da ureia e a entrada de água na lavoura deve ser o menor possível, evitando perdas de N por volatilização de amônia (BEYROUTY et al., 1992), ou por desnitrificação, considerando-se que parte do N do fertilizante pode ser oxidado a nitrato no período que antecede a inundaçāo do solo. Quanto à condição de umidade do solo, preconiza-se que seja baixa, visto que, quanto maior o conteúdo de água, menor a efetividade da incorporação da ureia ao solo pela água de irrigação, possibilitando perdas por volatilização de amônia (NORMAN et al., 1992). Neste sentido, ao avaliarem a influência do período de tempo decorrido desde a aplicação da ureia até a inundaçāo do solo e da umidade do solo por ocasião da aplicação do fertilizante, Norman et al. (1991)

verificaram que a produtividade de grãos de três cultivares de arroz não foi afetada quando a entrada de água na lavoura ocorreu em até cinco ou dez dias após a aplicação da ureia em solo saturado ou úmido (oxidado), respectivamente. Isto indica que o efeito do intervalo de tempo entre a aplicação da ureia no início do perfilhamento das plantas de arroz e a inundação do solo é mais importante em períodos chuvosos, que condicionam maior conteúdo de água do solo e, até mesmo, sua saturação.

No Rio Grande do Sul, embora se recomende que o intervalo de tempo entre a primeira aplicação de nitrogênio em cobertura e o início da irrigação para o arroz não seja superior a três dias, para evitar perdas do nutriente (SOSBAI, 2012), variações no manejo da cultura e na operacionalidade da lavoura muitas vezes condicionam intervalos de tempo maiores, desconhecendo-se a magnitude das perdas envolvidas e seu reflexo na nutrição e desempenho produtivo da cultura. Da mesma forma, ainda não foi quantificada a influência da umidade do solo, por ocasião da adubação nitrogenada em cobertura, sobre o aproveitamento do nutriente pelo arroz.

Em razão do exposto, realizou-se um experimento para avaliar o efeito da condição de umidade do solo e do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada com N-ureia no início do perfilhamento e a inundação do solo sobre o estado nutricional, desempenho produtivo e utilização de nitrogênio da ureia pelo arroz.

Materiais e Métodos

O experimento foi realizado em Planossolo Háplico (SANTOS et al., 2006), na Estação Experimental Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS, em duas safras consecutivas. Na primeira safra, o experimento foi realizado sob duas condições de umidade do solo [solo úmido ($\approx 16\%$ de umidade) e solo saturado

(≈24% de umidade)]. Para cada condição de umidade do solo, os tratamentos compreenderam as combinações de duas fontes de nitrogênio (ureia e ureia protegida com o inibidor de urease NBPT) e três intervalos de tempo entre a adubação nitrogenada no início do perfilhamento e a entrada de água definitiva na lavoura (1, 5 e 10 dias). Os tratamentos foram dispostos em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial com quatro repetições. As unidades experimentais apresentaram dimensões de 1,93 m x 5,0 m. O início da irrigação por inundação ocorreu simultaneamente para todos os tratamentos no início do perfilhamento, estádio de quatro a cinco folhas (V4-V5) (COUNCE et al., 2000). As diferenças nos períodos entre a adubação nitrogenada em cobertura e a inundação do solo foram obtidas por meio de variações nas épocas de aplicação do fertilizante nitrogenado. Por sua vez, a condição de solo saturado foi obtida mediante a irrigação das parcelas experimentais, por inundação intermitente, com antecedência de um dia das adubações nitrogenadas.

A dose de nitrogênio foi estabelecida de acordo com os resultados da análise de solo e seguindo as recomendações de adubação para a cultura (SOSBAI, 2010), consistindo na aplicação de 120 kg ha⁻¹ do nutriente. Esta foi dividida em duas aplicações, no início do perfilhamento e na diferenciação da panícula (estádio R1). Na primeira época, aplicaram-se 90 kg ha⁻¹ de N antecedendo a entrada de água e, na segunda, 30 kg ha⁻¹ de N sobre uma lâmina de água não circulante.

A semeadura do arroz, cultivar BRS7 'Taim', foi realizada em sistema convencional de preparo do solo, utilizando-se um espaçamento entre linhas de 17,5 cm e uma densidade de 100 kg ha⁻¹ de sementes viáveis. Como adubação de semeadura, aplicaram-se a lanço e incorporaram-se 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo) e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). Para complementar a dose prevista de potássio para o arroz, aplicaram-se, na diferenciação da panícula, 20 kg ha⁻¹ de K₂O, como cloreto de potássio (SOSBAI, 2010). O controle de

plantas daninhas e demais tratos culturais seguiram as indicações da pesquisa para a cultura de arroz irrigado (SOSBAI, 2010).

Os tratamentos foram avaliados pela determinação do índice de área foliar, teor de nitrogênio na parte aérea e índice relativo de clorofila na folha do arroz, nos estádios de diferenciação da panícula (R1) e floração (R4). O índice de área foliar foi medido em uma amostra de 30 perfis, utilizando-se o integrador de área foliar LICOR modelo LI3000. Os valores obtidos foram expressos com base na massa de matéria seca dos perfis. A determinação do teor de N na parte aérea foi realizada seguindo método descrito em Freire (2001). O índice relativo de clorofila foi medido em clorofilômetro SPAD 502 - Minolta, resultando da média de três posições (basal, intermediária e apical) da folha índice (penúltima completamente desenvolvida) ou bandeira de cinco plantas por unidade experimental. Na maturação de colheita, determinou-se a produtividade de grãos e a utilização de nitrogênio da ureia pelas plantas de arroz.

Para cada condição de umidade do solo, os dados foram submetidos à análise de variância, comparando-se o efeito dos fatores fonte de nitrogênio e intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e o início da irrigação pelo teste de Duncan ($p<0,05$).

Os procedimentos utilizados na segunda safra agrícola foram semelhantes aos descritos para a primeira safra, incluindo-se, porém, variações nas doses de nitrogênio avaliadas, que foram três: 40; 80 e 120 kg ha⁻¹. Nesta safra utilizou-se a cultivar BRS Pelota. A adubação de semeadura consistiu na aplicação a lanço e incorporada de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, como superfosfato triplo, e 80 kg ha⁻¹ de K₂O, como cloreto de potássio (SOSBAI, 2010). Como na safra anterior, os tratos culturais seguiram as indicações técnicas da pesquisa para o arroz irrigado (SOSBAI, 2010).

As variáveis medidas foram: teor de nitrogênio e índice relativo de

clorofila na folha índice do arroz, determinados uma semana após as adubações nitrogenadas em cobertura, no início do perfilhamento e na diferenciação da panícula, e na floração. Ademais, avaliou-se a produtividade de grãos e seus componentes e a utilização de nitrogênio da ureia pela cultura.

Para cada condição de umidade do solo, os dados foram submetidos à análise de variância, comparando-se o efeito dos fatores fonte e dose de nitrogênio e intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e o início da irrigação pelo teste de Duncan ($p<0,05$).

Resultados e Discussão

Na primeira safra agrícola, em ambas as avaliações realizadas, diferenciação da panícula e floração, não se observou efeito dos tratamentos sobre o índice de área foliar, teor de N na parte aérea e índice relativo de clorofila na folha índice do arroz. Os valores médios, determinados na diferenciação da panícula e floração, foram, respectivamente: índice de área foliar: 2,35 e 4,21 $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$; teor de N na planta: 15,2 e 17,2 g kg^{-1} ; e índice relativo de clorofila: 28,4 e 32,2. Independentemente da variável, os valores medidos aumentaram da diferenciação da panícula para a floração, o que reflete, principalmente, o efeito da segunda cobertura com N, realizada por ocasião da diferenciação da panícula, promovendo o crescimento da planta e aumento na absorção de nitrogênio.

Efeito dos tratamentos sobre a produtividade de grãos do arroz foi verificado para os fatores fonte de N e intervalo de tempo entre a aplicação do fertilizante nitrogenado e a inundação do solo, bem como para a interação entre esses fatores. Não houve influência do fator umidade do solo e de suas interações com os demais fatores avaliados. Na aplicação de N realizada dez dias antes da inundação do solo, o tratamento da ureia com o inibidor de urease NBPT propiciou

maior produtividade de grãos, relativamente à ureia comum. Esse efeito não se manifestou para os intervalos de um e cinco dias, onde o desempenho das duas fontes de N foi semelhante. Apenas a ureia sofreu a influência do intervalo de tempo entre a aplicação do fertilizante e a inundação do solo. As diferenças restringiram-se ao período de dez dias, que proporcionou menor produtividade de grãos que os demais (Figura 1).

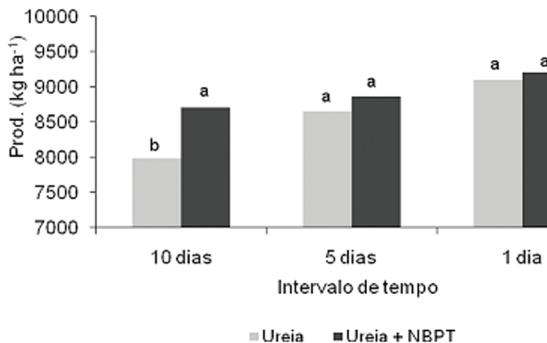


Figura 1. Produtividade de grãos de arroz, em função da fonte de nitrogênio e do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada no início do perfilhamento e a inundação do solo.

Acompanhando o efeito observado para a variável produtividade de grãos, a acumulação de N na parte aérea (colmos, folhas e grãos) das plantas de arroz foi influenciada pela interação entre a fonte de nitrogênio e o período de tempo entre a aplicação do fertilizante e a inundação do solo. Apenas quando a cobertura com N foi realizada dez dias antes da inundação do solo, o tratamento da ureia com inibidor de urease NBPT resultou em maior utilização de N pelo arroz. Nos intervalos de tempo menores, o efeito de ambas as fontes de N foi semelhante. O efeito do período de tempo entre a aplicação de N e a inundação do solo manifestou-se, exclusivamente, para a ureia. Para esta fonte, maior acumulação de N pelo arroz foi determinada para o período de um dia, seguida dos intervalos de cinco dias, com desempenho intermediário, e de dez dias, com menor acumulação de

N (Tabela 1).

Tabela 1. Nitrogênio acumulado na parte aérea das plantas de arroz, em função da fonte de nitrogênio e do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada no perfilhamento e a inundaçāo do solo.

Fonte de N	Intervalo de tempo, dias		
	1	5	10
	kg ha ⁻¹		
Ureia	162,8a A	149,2a AB	132,0b B
Ureia+NBPT	165,1a A	158,6a A	153,7a A

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5%.

A despeito da aceleração da degradação enzimática da ureia decorrente do maior conteúdo de água do solo, quando da aplicação do fertilizante nitrogenado em solo saturado (SANKHAYAN; SHUKLA, 1976), não se verificou influência da condição de umidade do solo, por ocasião da primeira cobertura com nitrogênio, sobre a utilização do nutriente pelo arroz, indicando não ser este um fator preponderante na dinâmica do nitrogênio da ureia no sistema de cultivo de arroz irrigado em estudo.

Na segunda safra avaliada, independentemente da condição de umidade, a análise das variáveis indicadoras do nível de nitrogênio na planta de arroz não apresentou significância das interações tripla ou duplas entre os fatores fonte de N, dose de N e intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e a inundaçāo do solo. Porém, o teor de nitrogênio na folha índice, medido em V6 (uma semana após a entrada de água definitiva), foi influenciado pela dose do nutriente, nas condições de solo úmido e saturado. Adicionalmente, sob solo saturado, houve influência do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e a inundaçāo do solo. Na avaliação realizada uma semana após a diferenciação da panícula, exclusivamente para a condição de solo úmido, determinou-se efeito da dose de N sobre

o teor do nutriente na folha. Já na avaliação realizada por ocasião da floração (estádio R4), em ambas as condições de umidade do solo, não se verificou efeito dos tratamentos sobre o teor foliar de nitrogênio.

Com relação ao índice relativo de clorofila na folha índice, não se verificou efeito dos tratamentos em nenhuma das épocas de avaliação, para ambas as condições de umidade do solo. Obtiveram-se, como médias gerais do experimento, os seguintes valores: 36,7 e 34,7; 37,0 e 36,4; 33,6 e 32,9, respectivamente para as determinações realizadas em solo úmido e saturado em V6; uma semana após a diferenciação da panícula e na floração.

Na amostragem realizada uma semana após a inundação do solo, independentemente da condição de umidade do solo, o teor de nitrogênio na folha aumentou proporcionalmente à dose do nutriente aplicada em cobertura, refletindo sua disponibilidade no meio de cultivo (Tabela 2). Cabe ressaltar que os dados obtidos retratam apenas o efeito da aplicação de metade da dose prevista para os tratamentos, visto que essa amostragem antecedeu a segunda cobertura com N, realizada na diferenciação da panícula. A equivalência no desempenho das fontes testadas de N, a despeito da variação no intervalo de tempo entre a aplicação do fertilizante e a inundação do solo, possivelmente se deva à reação ácida do solo utilizado ($\text{pH} \approx 5,5$), minimizando a suscetibilidade da ureia a perdas de N por volatilização de amônia. Na avaliação realizada uma semana após a diferenciação da panícula, para a condição de solo úmido, o efeito da variação na dose de N restringiu-se à menor dose aplicada do nutriente (40 kg ha^{-1}), que proporcionou menor teor foliar de N relativamente aos tratamentos com aplicação de 80 e 120 kg ha^{-1} no início do perfilhamento (Tabela 2). Vale ressaltar que os resultados desta segunda avaliação refletem o efeito das duas coberturas com N realizadas (início do perfilhamento e da fase reprodutiva), indicando, portanto, que a cobertura nitrogenada realizada por ocasião da

diferenciação da panícula pode compensar, ao menos parcialmente, possíveis restrições do nutriente ocorridas durante a fase vegetativa.

Tabela 2. Teor de nitrogênio na folha índice do arroz, em função da dose do nutriente. Avaliações realizadas em V6, nas condições de solo úmido e saturado, e uma semana após a diferenciação da panícula (DP+7 dias), na condição de solo úmido.

Dose de N kg ha ⁻¹	N / V6 solo úmido	N / V6 solo saturado	N / DP+7dias solo úmido
	-----	kg ha ⁻¹ -----	-----
40	41,1c	40,1c	31,7b
80	45,0b	44,1b	33,6a
120	46,9a	45,8a	35,0a

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5%.

Com relação ao efeito do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e a inundação do solo sobre o teor foliar de N, maior concentração do nutriente foi determinada para o tratamento onde a aplicação de N antecedeu em cinco dias a inundação do solo. Este não diferiu, porém, do tratamento em que o período de tempo foi de dez dias, o qual foi equiparado pelo tratamento com intervalo de um dia, que proporcionou menor teor de N na folha (Tabela 3).

Intervalo de tempo dias	N / solo saturado g ha ⁻¹
1	42,6b
5	44,2a
10	43,1ab

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5%.

Tabela 3. Teor de nitrogênio na folha índice do arroz no estádio V6, em função do intervalo entre a adubação nitrogenada e a inundação do solo, para a condição de solo saturado.

Possivelmente o resultado verificado resulte da ocorrência de condições edafoclimáticas favoráveis no período de realização das coberturas nitrogenadas, minimizando o efeito prejudicial da permanência do fertilizante por longo período de tempo na superfície do solo e minimizando as diferenças em seu aproveitamento pela planta. Ressalta-se, ainda, os teores elevados de nitrogênio na planta determinados, revelando a intensa absorção de N durante a fase vegetativa, particularmente no perfilhamento.

Nas determinações realizadas em solo saturado uma semana após a DP e na floração, em ambas as condições de umidade do solo, determinaram-se, como médias gerais do experimento, os seguintes teores de N na folha do arroz: 33,1; 19,6 e 18,1 g kg⁻¹, respectivamente. Com respeito a esses resultados, destaca-se a redução drástica nos teores foliares de N ocorrida da avaliação realizada uma semana após a DP para a avaliação realizada na floração, indicando intensa translocação do nutriente das folhas para a formação das espiguetas.

Na condição de solo úmido, determinou-se apenas significância da interação entre os fatores fonte de N e intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e a inundação do solo, a qual se manifestou para a variável índice de colheita. O principal fator interferente foi a dose de nitrogênio, que influenciou as variáveis estatura de planta, produtividade de grãos, índice de colheita e esterilidade de espiguetas. Adicionalmente, a produtividade de grãos foi influenciada pelo intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e a entrada de água. As demais variáveis medidas: número de perfilhos, comprimento da panícula, número de espiguetas por panícula, peso de mil grãos e percentual de grãos inteiros e quebrados não sofreram efeito dos tratamentos, apresentando, respectivamente, os seguintes valores médios no experimento: 530 perfilhos m⁻²; 23,6 cm; 244 espiguetas panícula⁻¹; 26,94 g; 63,6% e 7,3%.

Já em solo saturado, não houve significância das interações entre os

fatores avaliados, tendo-se determinado efeito da dose de nitrogênio para as variáveis número de perfilhos e peso de mil grãos, bem como do fator intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e a entrada de água sobre as variáveis produtividade de grãos, número de espiguetas por panícula e percentual de grãos inteiros e quebrados. Os valores médios, no experimento, para as demais variáveis medidas foram: estatura de planta = 84,8 cm; índice de colheita = 0,53; comprimento da panícula = 23,9 cm; e esterilidade de espiguetas = 20,8%.

Quando a aplicação do fertilizante nitrogenado foi feita em solo úmido, plantas de maior estatura foram obtidas com a aplicação das duas maiores doses de N em cobertura, sendo que o efeito da aplicação de 120 kg ha⁻¹ não diferiu daquele proporcionado pela menor dose do nutriente (40 kg ha⁻¹). O aumento no crescimento das plantas de arroz decorrentes da aplicação de doses maiores de nitrogênio não se refletiu na produtividade da cultura, que foi menor no tratamento com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de N. Também o índice de colheita, que é a razão entre a massa de matéria seca dos grãos e da parte aérea, diminuiu com o aumento da dose de N aplicada; os valores determinados para as doses 80 e 120 kg ha⁻¹ foram menores que o obtido com a aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N. Acompanhado o efeito depressivo do aumento da dose de N sobre o desempenho produtivo da cultura, maior esterilidade de espiguetas foi determinada para o tratamento com aplicação de 120 kg ha⁻¹, superando os valores propiciados pelas demais doses, que não diferiram entre si (Tabela 4). Esses resultados mostram que a maior dose de N aplicada no início do perfilhamento (120 kg ha⁻¹) foi excessiva, afetando o desempenho produtivo da cultura, sugerindo a necessidade de parcelamento, conforme preconizado em Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004) e Sosbai (2012). Cabe ressaltar, ainda, que esse comportamento ocorreu em um ano agrícola com condições climáticas bastante favoráveis, em termos de radiação solar e temperatura, onde a probabilidade de resposta da cultura ao nitrogênio é elevada

(STEINMETZ; MOTTA, 1974; MACHADO; DIAS, 1985). Ademais, as produtividades atingidas foram elevadas, com média superior a 10 t ha⁻¹. Isto demonstra a complexidade do manejo da adubação nitrogenada para o arroz irrigado, com a resposta da cultura ao nutriente variável em função de fatores associados ao meio físico e biológico (SCIVITTARO; MACHADO, 2004).

Tabela 4. Estatura de planta, produtividade de grãos, índice de colheita e esterilidade de espiguetas de arroz em função da dose de nitrogênio, na condição de solo úmido.

Dose de N kg ha ⁻¹	Estatura de planta cm	Produtividade de grãos kg ha ⁻¹	Índice de colheita ----	Esterilidade de espiguetas %
40	81,8b	11.451a	0,55a	13,1b
80	84,7a	11.101a	0,51b	13,3b
120	83,8ab	9367b	0,51b	16,7a

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($p<0,05$).

Ainda para a condição de solo úmido, verificou-se que o aumento do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e a inundação do solo prejudicou a produtividade do arroz, independentemente da fonte ou da dose de nutriente consideradas (Tabela 5). Este resultado confirma a suposição de que o prolongamento do período de exposição da ureia aguardando a incorporação favorece as perdas de N, com reflexos sobre o desempenho produtivo da cultura.

Com relação à variável índice de colheita, o efeito do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e a entrada de água manifestou-se, exclusivamente, com o uso de ureia comum; para este fertilizante, o maior período entre a adubação e a inundação do solo (dez dias) condicionou menor índice de colheita, relativamente aos demais. Por sua vez, diferenças entre as fontes de N somente ocorreram para o

intervalo de tempo de dez dias, para o qual maior índice de colheita foi determinado para a ureia protegida com o inibidor de urease NBPT (Tabela 6). Atribui-se o comportamento verificado à inibição da atividade da urease proporcionada pelo NBPT, minimizando o efeito do período de exposição da ureia na superfície do solo sobre as perdas do nutriente e, consequentemente, sobre o desempenho produtivo da cultura.

Intervalo de tempo	Produtividade de grãos
dias	kg ha ⁻¹
1	11.448a
5	10.437ab
10	10.035b

Tabela 5. Produtividade de grãos de arroz, em função do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e a entrada de água, na condição de solo úmido.

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($p<0,05$).

Tabela 6. Índice de colheita do arroz, em função da fonte de nitrogênio e do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e a inundaçāo do solo, na condição de solo úmido.

Fonte de N	Intervalo de tempo, dias		
	1	5	10
Ureia	0,52 a A	0,55a A	0,47b B
Ureia+NBPT	0,55 a A	0,54a A	0,52a A

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($p<0,05$).

Na condição de solo saturado, a dose média de N (80 kg ha^{-1}) promoveu maior número de perfilhos e peso de mil grãos. Porém, seu efeito não diferiu daquele proporcionado pela aplicação de 120 kg ha^{-1} de N, que apresentou desempenho intermediário, equiparado também pelo tratamento com aplicação da menor dose do nutriente (40 kg ha^{-1}) (Tabela 7). Estes resultados reforçam inferência relatada anteriormente de que o uso da dose de 120 kg ha^{-1} de N para o arroz

irrigado, nas condições edafoclimáticas avaliadas, pode ser excessiva, comprometendo a eficiência técnica e econômica dessa prática de manejo.

Dose de N	Perfilhos	Peso de mil grãos
kg ha ⁻¹	Nº m ⁻²	g
40	505b	26,69b
80	550a	27,32a
120	529ab	26,80ab

Tabela 7. Número de perfilhos, produtividade de grãos, índice de colheita e esterilidade de espiguetas de arroz em função da dose de nitrogênio, na condição de solo saturado.

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($P<0,05$).

Em solo saturado, a adoção dos dois menores intervalos de tempo entre a adubação nitrogenada e a inundação do solo promoveu maior produtividade de grãos de arroz, relativamente ao período de dez dias (Tabela 8). Também esse efeito é atribuído à maior predisposição a perdas de N decorrente da permanência do fertilizante por período mais longo na superfície do solo, aguardando a incorporação pela água da chuva ou de irrigação. Com relação à variável número de espiguetas por panícula, maior valor foi obtido com o intervalo de um dia, o qual não diferiu daquele propiciado pelo intervalo de dez dias entre a aplicação do fertilizante e a inundação do solo. Este último foi equiparado, ainda, pelo intervalo de cinco dias, que proporcionou menor número de espiguetas por panícula. Por sua vez, maior percentual de grãos inteiros foi determinado para o intervalo de cinco dias, cujo efeito foi equiparado pelo período de dez dias, o qual não diferiu também do menor período de tempo (um dia). Por sua vez, para o percentual de grãos quebrados, o intervalo de um dia proporcionou maior quebra de grãos, não diferindo, porém, do efeito determinado para o intervalo de cinco dias, cujo desempenho foi equiparado também ao do período de dez dias (Tabela 8).

Em solo úmido, apenas a dose de N influenciou a acumulação e

exportação do nutriente pelo arroz. Por sua vez, sob condição de solo saturado, a acumulação de nitrogênio nos colmos e folhas foi influenciada pela interação entre dose de N e intervalo de tempo entre a aplicação do fertilizante e a inundaçāo do solo. Já a acumulação do nutriente nos grāos e na parte aérea das plantas de arroz sofreram efeito da fonte de N.

Tabela 8. Produtividade de grāos, númeroo de espiguetas por panícula, esterilidade de espiguetas de arroz, em função do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e a inundaçāo do solo, na condição de solo saturado.

Intervalo de tempo	Produtividade de grāos	Espiguetas/panícula	Grāos inteiros	Grāos quebrados
dias	kg ha ⁻¹	Nº panícula ⁻¹	-----	% -----
1	10.493a	275a	61,1b	9,3a
5	10.441a	247b	64,4a	6,0ab
10	9.147b	269ab	63,5ab	5,6b

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($P<0,05$).

Na Tabela 9 verifica-se, para a condição de solo úmido, não ter havido benefício do aumento da dose de N de 40 a 120 kg ha⁻¹ sobre a quantidade de N acumulada nos grāos, demonstrando a suficiência da menor dose testada, desde que suplementada com uma segunda cobertura nitrogenada no início da fase reprodutiva. Por outro lado, a aplicação de doses maiores de N no início do perfilhamento promoveu aumento da acumulação do nutriente nos colmos e folhas e, consequentemente, na parte aérea do arroz, sendo um indicativo da ocorrência de consumo de luxo, uma vez que a quantidade adicional de N absorvida pela planta não se refletiu em maior produção de grāos ou concentração do nutriente nestes.

Tabela 9. Nitrogênio acumulado nos grãos, colmos e folhas e parte aérea do arroz, em função da dose do nutriente aplicada no perfilhamento, na condição de solo úmido.

Dose de N kg ha ⁻¹	Grãos	Colmos e folhas kg ha ⁻¹ de N	Parte aérea
40	94,3a	68,1b	162,4b
80	104,5a	109,3a	213,8a
120	99,7a	113,7a	213,4a

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($p<0,05$).

Em solo saturado, para as doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, determinou-se redução na acumulação de nitrogênio nos colmos e folhas do arroz à medida que aumentou o intervalo de tempo entre a aplicação do fertilizante e a entrada de água. Este efeito não se manifestou, porém, quando da utilização da menor dose de N (40 kg ha⁻¹ de N) (Tabela 10). O comportamento observado mostra que a aplicação de doses elevadas de N favorece as perdas de N do fertilizante, sendo esse efeito tanto mais intenso quanto mais desfavoráveis forem as condições edafoclimáticas vigentes no período antecedente à sua incorporação ao solo e quanto maior extenso for esse período. Independentemente do período de tempo entre a aplicação do fertilizante e o início da irrigação do arroz, não se determinou diferenças entre doses de N sobre a acumulação do nutriente nos colmos e folhas (Tabela 10).

Tanto a exportação de nitrogênio pelos grãos, como a acumulação do nutriente na parte aérea do arroz, foram maiores quando da utilização de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT (Tabela 11), confirmando o benefício deste para a utilização do nutriente pela cultura, contribuindo para a elevação da eficiência de utilização de N

do fertilizante pela cultura.

Tabela 10. Nitrogênio acumulado nos colmos e folhas do arroz, em função da dose de nitrogênio e do intervalo de tempo entre a adubação nitrogenada e a inundação do solo, na condição de solo saturado.

Dose de N kg ha ⁻¹	Intervalo de tempo, dias		
	1	5	10
40	67,0a A	59,3a A	71,7a A
80	79,4a A	71,0a AB	53,2a B
120	81,7a A	73,9a AB	61,2a B

Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($p<0,05$).

Fonte de N	Grãos	Parte aérea
	kg ha ⁻¹ de N	kg ha ⁻¹ de N
Ureia	76,0b	159,6a
Ureia+NBPT	87,7a	141,5b

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan ($p<0,05$).

Tabela 11. Nitrogênio acumulado nos grãos e na parte aérea do arroz, em função da fonte do nutriente, na condição de solo saturado.

Nas Tabelas 9 a 11 observa-se que as quantidades de nitrogênio absorvidas pelo arroz são bastante altas, sendo mais de 50% exportados pela colheita. Ademais, nota-se que cerca de metade da demanda da cultura é suprida pelo meio de cultivo, incluindo o solo, resíduos de cultivos anteriores e a água de irrigação. Tais constatações indicam a importância da suplementação com N para o bom desempenho da cultura, bem como para a manutenção da fertilidade dos solos cultivados com arroz.

A associação dos dados de produtividade de grãos aos de acumulação de nitrogênio pela planta de arroz indicam que a dose ótima do nutriente para a cultura na região de estudo situa-se entre 80 e 120 kg ha⁻¹, ratificando relato de Scivittaro e Machado (2004) e validando

as atuais indicações da pesquisa para o Sul do Brasil (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004; SOSBAI, 2012).

Conclusões

O uso do inibidor de urease NBPT possibilita que a aplicação de ureia anteceda em mais de cinco dias a entrada de água na lavoura de arroz sem prejuízo para a produtividade e a utilização de nitrogênio pela cultura de arroz irrigado, independentemente da condição de umidade do solo (úmido ou saturado).

O intervalo de tempo entre a aplicação do N-ureia e o início da irrigação para o arroz deve ser menor em solo saturado, relativamente à condição de solo úmido, visando otimizar a utilização de N para a cultura.

Referências

- BEYROUTY, C. A.; NORMAN, R. J.; WELLS, B. R.; HANSON, M. G.; GBUR, E. E. Yield response of rice to water and nitrogen management. **Arkansas Experiment Station Research**, Fayetteville, v. 431, p. 128-131, 1992.
- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 436-443, 2000.
- FREIRE, C. J. da S. **Manual de métodos de análise de tecido vegetal, solo e calcário**. 2. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 201 p.
- MACHADO, M. O.; DIAS, A. D. Resposta do arroz irrigado (cv. Bluebelle) ao nitrogênio, em cinco anos de cultivo. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 14., 1985, Pelotas. **Anais...** Pelotas: EMBRAPA-CPATB, 1985. p. 241-249.
- NORMAN, R. J.; HELMS, R. S.; WELLS, B. R. Influence of delaying flood and preflood nitrogen application on dry-seeded rice. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 32, p. 55-59, 1992.
- NORMAN, R. J.; WELLS, B. R.; GILMOUR, J. T.; HELMS, R. S. Management of agronomic factors in rice production. **Arkansas Experiment Station Research**, Fayetteville, v. 422, p. 73-78, 1991.

SANKHAYAN, S. D.; SHUKLA, V. C. Rates of urea hydrolysis in five soils of India. **Geoderma**, Amsterdam, v. 16, p. 171-178, 1976.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SCIVITTARO, W. B.; GOMES, A. da S. **Inovações tecnológicas no manejo do nitrogênio para o arroz irrigado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 27 p.

SCIVITTARO, W. B.; MACHADO, M. O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF; Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 259- 303.

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

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí: SOSBAI, 2012. 179 p.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Porto Alegre: SOSBAI, 2010. 188 p.

STEINMETZ, S.; MOTTA, F. S. Comportamento de seis cultivares de arroz submetidas a quatro níveis de adubação nitrogenada e sua relação com a radiação solar. In: REUNIÃO GERAL DA CULTURA DO ARROZ, 4., 1974, Pelotas. **Anais...** Pelotas: IRGA/IPEAS, 1974. p. 97-105.

