



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1678-2518

Novembro, 2005

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 22

Transformações do Nitrogênio (^{15}N) da Uréia na Cultura do Arroz Irrigado

**Walkyria Bueno Scivittaro
Cláudio Alberto Souza da Silva
Takashi Muraoka
Paulo César Ocheuze Trivelin**

Pelotas, RS
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

Endereço: BR 392 Km 78

Caixa Postal 403, CEP 96001-970 - Pelotas, RS

Fone: (53) 3275-8199

Fax: (53) 3275-8219 - 3275-8221

Home page: www.cpact.embrapa.br

E-mail: sac@cpact.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Walkyria Bueno Scivittaro

Secretária-Executiva: Joseane M. Lopes Garcia

Membros: Cláudio Alberto Souza da Silva, Lígia Margareth Cantarelli Pegoraro, Isabel Helena Vernetti Azambuja, Cláudio José da Silva Freire, Luís Antônio Suita de Castro

Suplentes: Daniela Lopes Leite e Luís Eduardo Corrêa Antunes

Revisores de texto: Sadi Macedo Sapper/Ana Luiza Barragana Viegas

Normalização bibliográfica: Regina das Graças Vasconcelos dos Santos

Editoração eletrônica: Oscar Castro

1a edição

1a impressão (2005): 50 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).

Transformações do nitrogênio (¹⁵N) da uréia na cultura do arroz irrigado / Walkyria Bueno Scivittaro [et al.] . -- Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2005.

21 p. -- (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 22).

ISSN 1678-2518

1. Adubação nitrogenada -Fertilizante mineral - Eficiência - Recuperação - Diluição isotópica - Uréia . I. Scivittaro, Walkyria Bueno. II. Série.

CDD 631.874

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	11
Resultados e Discussão	13
Conclusão	18
Referências Bibliográficas	19

Transformações do Nitrogênio (^{15}N) da Uréia na Cultura do Arroz Irrigado

Walkyria Bueno Scivittaro¹
Cláudio Alberto Souza da Silva²
José Carlos Leite Reis²
Takashi Muraoka³
Paulo César Ocheuze Trivelin

Resumo

A dinâmica do nitrogênio (N) em sistemas de produção de arroz irrigado é bastante complexa, o que se reflete na eficiência de recuperação do nutriente proveniente de fertilizantes, que é bastante variável, raramente ultrapassando 50% da quantidade aplicada. Essa situação, além de aumentar os custos de produção, pode causar problemas de poluição ambiental. Assume, portanto, grande importância o manejo adequado dos fertilizantes nitrogenados e das demais práticas agrícolas que influenciam o aproveitamento de nitrogênio pelo arroz, o que depende dos conhecimentos gerados pelo estudo das transformações do nitrogênio nesse sistema agrícola. Realizou-se um experimento para estudar aspectos relativos à dinâmica do nitrogênio proveniente da uréia em sistema de produção de arroz

¹ Eng. Agrôn., Dra., Pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, BR 392 km 78 Cx. Postal 403, 96001-970, Pelotas-RS. E-mail: wbscivit@cpact.embrapa.br

² Eng. Agrôn., MSc. Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, BR 392, km 78, Cx. Postal 403, 96001-970, Pelotas-RS. E-mail: claudio@cpact.embrapa.br

³ Eng. Agrôn., Dr., Pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP), Av. Centenário, 303 Cx. Postal 96 CEP 13400-970 Piracicaba, SP. E-mail: muraoka@cena.usp.br, trivelin@cena.usp.br

irrigado. O estudo foi desenvolvido em Planossolo Hidromórfico nas safras agrícolas 1999/00 e 2000/01. O arroz foi cultivado em sistema plantio direto, em sucessão ao azevém. A área experimental foi dividida em duas partes, realizando-se adubação nitrogenada em cobertura em apenas metade dela (85 kg ha^{-1} de N como uréia). As transformações do N da uréia no sistema solo-planta foram estudadas utilizando-se microparcels contendo uréia marcada com ^{15}N . A quantidade de nitrogênio absorvida pelo arroz é elevada ($> 110 \text{ kg ha}^{-1}$), mas apenas um terço desse total é exportado pelos grãos. A utilização de nitrogênio da uréia pelo arroz corresponde a cerca de 33% do total adicionado ao sistema solo-planta. O restante do nutriente utilizado pela cultura provém do meio de cultivo, incluindo o solo, restos culturais e a água de irrigação.

Termos para indexação: adubação nitrogenada, fertilizante mineral, eficiência, recuperação, diluição isotópica.

Urea Nitrogen (^{15}N) Transformation in a Flooded Rice Production System

Abstract

Dynamics of nitrogen (^{15}N) in flooded rice production systems is very complex. This reflects in the efficiency of the nitrogen recovery from the applied mineral fertilizers, that is variable, rarely exceeding 50%. It increases costs and can cause environmental pollution problems. Therefore, it is important to adjust the management practices of nitrogen fertilizers and other agricultural practices which influence nitrogen utilization by rice plants. This depends on the knowledge generated by the study of the transformations of nitrogen in flooded rice systems. A two-year experiment (1999/00 and 2000/01) was carried out in ALBAQUALF soil to study aspects associated to the dynamics of nitrogen derived from the urea in a flooded rice production system. Rice was grown in a no-tillage system in sequence to rye grass. The experimental area was divided in two parts. Only one part that received nitrogen fertilization at side-dressed (85 kg ha^{-1} of N as urea). Transformations of the N from the urea in the soil-plant system was studied using microplots containing ^{15}N -labeled urea. The amount of nitrogen is uptaken by the rice plants was high (110 kg ha^{-1}), but only one third of the total was exported by the grains. Only 33% of the nitrogen derived from urea applied to the soil-plant system was recovered by the rice plants. All the rest of the nitrogen uptaken by the rice plants derived from growth medium, including the soil, plant residues and irrigation water.

Index terms: nitrogen fertilization, mineral fertilizer, efficiency, recovery, isotopic dilution.

Introdução

A dinâmica do nitrogênio em sistemas agrícolas é bastante complexa devido à multiplicidade de formas químicas do elemento, de reações e de processos nos quais está envolvido. Isso reflete diretamente sobre a eficiência de recuperação do N proveniente de fertilizantes minerais pelas culturas, que é relativamente baixa na maioria dos sistemas agrícolas (Rao et al., 1992). Em consequência, são freqüentes as situações onde a utilização de fertilizantes nitrogenados é feita de forma indiscriminada, sem qualquer monitoramento do aproveitamento pelas culturas, das quantidades residuais no solo ou das perdas do sistema solo-planta.

Esse é um cenário preocupante, que pode ocasionar aumento no custo de produção e problemas de poluição ambiental. O cultivo de arroz irrigado na região Sul do Brasil retrata claramente o panorama descrito, não sendo possível prever com segurança a resposta da cultura à adubação nitrogenada ou explicar a grande variabilidade dos resultados de produção, observada na prática, ao longo dos anos.

Práticas de manejo do solo, da água de irrigação e da adubação influenciam substancialmente a fração do nitrogênio de fertilizantes que atinge a superfície das raízes e é aproveitada pelo arroz. Parte do nitrogênio não utilizado pela cultura é retida no solo e o restante é perdido dos sistemas agrícolas por vários processos, como lixiviação para fora da zona radicular, perdas gasosas por desnitrificação,

volatilização de amônia do solo e foliar, fixação de amônia e imobilização biológica (Villas Bôas, 1995). A interação entre esses processos define a recuperação do nitrogênio de fertilizantes pelo arroz irrigado, que raramente excede 50% do montante aplicado (Fillery et al., 1984).

O aproveitamento de nitrogênio pelo arroz é particularmente pequeno quando o fertilizante é aplicado em cobertura, nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura; porém, pode aumentar consideravelmente quando aplicado em profundidade, nesses mesmos estádios, ou em cobertura, em estádios mais adiantados (Vlek & Craswell, 1979; Fillery et al., 1984).

Alguns estudos indicam que a volatilização de amônia constitui-se em importante via de perda de nitrogênio de fertilizantes minerais para sistemas de produção de arroz irrigado (Vlek & Craswell, 1979; Fillery et al., 1984). Outros, porém, apresentam resultados distintos, indicando perdas por volatilização de amônia pouco representativas (Ventura & Yoshida, 1977; Freney et al. 1981). Pouco se sabe sobre o caminhamento desse nutriente no perfil do solo, fato que assume fundamental importância devido à possibilidade de contaminação de águas subterrâneas e superficiais e por contribuir para a diminuição da eficiência das adubações nitrogenadas.

Em uma agricultura racional e produtiva, grande é a importância dos problemas relativos ao aproveitamento do N de fertilizantes minerais em decorrência da preocupação com a qualidade do meio ambiente (Reichardt et al., 1979) e da necessidade premente de elevar a produtividade das culturas sem acarretar em aumentos nos custos de produção. Assume, portanto, posição de destaque o manejo adequado desses insumos e as demais práticas agrícolas que afetam seu aproveitamento pelas culturas, o que depende do conhecimento da dinâmica do N nos mais diversos sistemas agrícolas.

Com base no exposto, realizou-se um experimento sob condições de campo para estudar aspectos relativos à dinâmica do nitrogênio proveniente da uréia em sistema de produção de arroz irrigado da região sul do Rio Grande do Sul.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido por duas safras consecutivas (1999/00 e 2000/01) em um Planossolo Hidromórfico eutrófico solódico (Embrapa, 1999), na Estação Experimental Terras Baixas (ETB) da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS.

Em ambos os anos, o arroz foi cultivado em sucessão à cultura de azevém produzida no outono-inverno. Anteriormente ao primeiro cultivo de azevém, realizou-se a correção da acidez do solo da área experimental, de acordo com os resultados da análise de solo e visando atingir pH 6,0, aplicando-se 2,3 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT = 60%) (Comissão, 1995).

A área experimental, com 1250 m², foi dividida em duas partes, destinando-se metade ao cultivo de arroz irrigado com adubação nitrogenada em cobertura e a outra metade ao cultivo com a omissão desta adubação.

Anualmente, o azevém foi adubado com fontes de fósforo (superfosfato triplo) e de potássio (cloreto de potássio) segundo as recomendações da pesquisa (Comissão, 1995). Adicionalmente, foram realizadas duas coberturas com nitrogênio, na forma de uréia; a primeira, no início do perfilhamento da cultura, de 20 kg ha⁻¹ de N, e a segunda, de 30 kg ha⁻¹ de N, cerca de 40 dias após.

A semeadura anual do arroz foi realizada cerca de 15 dias após a dessecação do azevém, em sistema plantio direto. Na safra 1999/00, utilizou-se a cultivar BRS-7 'Taim', que foi semeada no dia 20 de novembro em uma densidade de 150 kg ha⁻¹ de sementes. Na safra seguinte, em razão do prolongado período de seca, ocorrido nos meses de outubro e novembro na região de Pelotas, RS, a semeadura do arroz foi postergada para o dia 1º de dezembro, requerendo a utilização de uma cultivar de ciclo mais curto, BRS-6 Chuí, a qual foi cultivada na densidade de 147 kg ha⁻¹ de sementes. Como adubação de semeadura, aplicaram-se, no primeiro e segundo anos agrícolas, respectivamente, 300 e 270 kg ha⁻¹ da formulação 5-20-20. Em ambas as safras, a adubação nitrogenada em cobertura consistiu na aplicação de 85 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia. Esta foi parcelada em duas aplicações,

um terço da dose foi fornecida no início do perfilhamento e o restante, na diferenciação da panícula, ambas sobre uma lâmina de água não circulante (Comissão, 1995).

No interior da área destinada ao cultivo de arroz com aplicação de fertilizante nitrogenado em cobertura, foram demarcadas 5 microparcelas, consideradas repetições, isoladas por cilindros metálicos com 50 cm de diâmetro e 70 cm de altura, enterrados até a profundidade de 50 cm. No seu interior, aplicou-se uréia marcada com ¹⁵N, para o acompanhamento das transformações do nitrogênio proveniente do fertilizante mineral no sistema solo-planta.

Os principais tratos culturais realizados durante o cultivo do arroz irrigado foram a aplicação dos herbicidas Metsulfuron e Quinclorac, em pós-emergência, para o controle de capim-arroz e de outras espécies de menor importância para cultura, bem como do inseticida Carbofuran, para o controle da bicheira-da-raiz. Estes e as demais práticas culturais seguiram as recomendações da pesquisa (Embrapa Clima Temperado, 1999).

Nos dois cultivos de arroz, por ocasião do início do florescimento, realizou-se uma amostragem de folhas para avaliação do estado nutricional da cultura. Para tanto, coletaram-se cinco amostras das áreas que receberam ou não adubação nitrogenada em cobertura. Cada amostra de 36 plantas foi constituída pela folha bandeira e a imediatamente anterior.

Na maturação fisiológica do arroz, delimitaram-se no interior das áreas que receberam ou não adubação nitrogenada em cobertura, cinco parcelas com dimensões de 3,2 m x 4,0 m, onde se determinou a estatura das plantas, medindo-se a altura de cinco plantas. Na ocasião, coletaram-se 20 panículas de cada parcela para a determinação da esterilidade de espiguetas e da massa de 1000 grãos. Adicionalmente, determinou-se o número de perfilhos por unidade de área, contando-se o número de panículas presentes em 4 m de linha.

As avaliações de produtividade de grãos foram realizadas coletando-se, de cada parcela, as panículas de 16 linhas de plantas com 4 m de comprimento, perfazendo uma área útil de 12,8 m². O material colhido

foi trilhado e secado. Após, realizou-se a pesagem do material e retirou-se uma amostra para determinação do teor de umidade. Com base nos resultados de umidade, corrigiram-se os valores de produtividade de grãos para uma umidade de 13%. Amostras de grãos foram utilizadas para a determinação do rendimento de engenho.

O arroz produzido no interior das microparcelas onde foi aplicado fertilizante nitrogenado marcado com ¹⁵N foi colhido separadamente, dividindo-se o material vegetal relativo à parte aérea em colmos e folhas e panículas e grãos. No primeiro ano agrícola, realizou-se, também, a coleta das raízes, nas profundidades de 0-5 cm; 5-10 cm e 10-20 cm. O material vegetal foi lavado, seco em estufa e pesado para a determinação da produção de matéria seca. Na seqüência, foi moído e analisado para determinação do conteúdo de nitrogênio (Freire, 1998) e da abundância isotópica em ¹⁵N (Trivelin et al., 1973).

Anualmente, em seguida à colheita do arroz, procedeu-se à coleta de amostras de solo. Estas foram retiradas do interior das microparcelas, destinando-se à determinação do conteúdo das formas minerais de nitrogênio (amônio e nitrato), bem como do percentual do N presente nessas frações proveniente da uréia aplicada ao arroz. As amostragens de solo para as determinações N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ foram feitas nas profundidades de 0-10 cm e de 10-30 cm.

Resultados e Discussão

Estado nutricional do arroz

A Tabela 1 apresenta os teores dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas plantas de arroz, avaliadas por ocasião do início do florescimento, nas safras agrícolas 1999/00 e 2000/01. Os resultados mostram que, indistintamente, os teores desses macronutrientes foram maiores no tratamento com aplicação de adubação nitrogenada em cobertura, indicando que o suprimento adequado de nitrogênio favorece a absorção dos demais nutrientes pela cultura. Nota-se, ainda, que para o nitrogênio houve um aumento no teor do nutriente na planta do primeiro para o segundo ano agrícola, sendo que na segunda safra, o teor determinado encontrava-se no

limite superior da faixa de suficiência recomendada por Malavolta & Malavolta (1989). Também para o fósforo, os teores determinados estão dentro da faixa de suficiência proposta por esses autores. Por outro lado, para os demais macronutrientes, os teores medidos foram inferiores aos considerados como adequados para a cultura.

Tabela 1. Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas plantas de arroz avaliadas por ocasião do início do florescimento, em função da aplicação ou não de adubação nitrogenada em cobertura. Anos agrícolas 1999/00 e 2000/01.

Tratamento	Ano	N	P	K	Ca	Mg
----- g kg ⁻¹ -----						
Testemunha sem N	1999/00	23,6	2,6	13,6	4,0	1,8
Adubação nitrogenada	1999/00	24,9	2,7	14,6	4,2	1,9
Testemunha sem N	2000/01	23,5	2,4	14,2	2,9	1,4
Adubação nitrogenada	2000/01	30,6	3,1	14,3	4,0	1,7

Desempenho agrônômico e produtivo do arroz irrigado

Com relação à avaliação do desempenho agrônômico da cultura do arroz, em ambos os anos agrícolas, nota-se, ao analisar os dados da Tabela 2, que a estatura das plantas referentes ao tratamento que recebeu adubação nitrogenada foi maior que no tratamento com omissão desta, demonstrando estreita relação entre o suprimento de nitrogênio e o desenvolvimento vegetativo da cultura. Por outro lado, o comportamento verificado para o perfilhamento das plantas foi distinto entre os anos agrícolas. Na safra 1999/00, observou-se maior número de panículas para o tratamento com adubação nitrogenada e, ao contrário, na safra 2000/01, maior perfilhamento ocorreu no tratamento que não recebeu adubação nitrogenada. Ressalta-se, porém, que o maior número de perfilhos por unidade de área verificado na safra 2000/01 não se refletiu em maior produtividade de grãos (Tabela 3), o que pode ser atribuído a diferenças varietais, bem como ao atraso na época de semeadura do arroz e à menor incidência de radiação solar durante a segunda safra, relativamente à anterior. Estes

resultados reforçam a influência das condições climáticas, em especial da temperatura e radiação solar durante o período reprodutivo, sobre a resposta do arroz à adubação nitrogenada (Machado, 1993; Steinmetz & Mota, 1974; Gomes et al., 1979).

Em ambas as safras, as produtividades de grãos atingidas pelo arroz irrigado ficaram aquém das pretendidas, independentemente da realização de adubação nitrogenada em cobertura. Atribui-se esse resultado ao atraso na época de semeadura da cultura, relativamente ao recomendado pela pesquisa (Steinmetz et al., 2001), bem como ao cultivo em sucessão ao azevém, cuja mineralização ao longo do ciclo do arroz deve ter limitado a disponibilidade de nitrogênio, afetando sua produtividade.

Tabela 2. Estatura de planta e número de perfilhos de arroz, em função da aplicação ou não de adubação nitrogenada em cobertura. Anos agrícolas 1999/00 e 2000/01.

Tratamento	Ano	Estatura de plantas cm	Perfilhos Nº m ⁻²
Testemunha sem N	1999/00	72	327
Adubação nitrogenada	1999/00	79	397
Testemunha sem N	2000/01	78	477
Adubação nitrogenada	2000/01	82	464

Tabela 3. Produtividade, esterilidade e massa de 1000 grãos e rendimento de engenho de arroz, em função da aplicação ou não de adubação nitrogenada em cobertura. Anos agrícolas 1999/00 e 2000/01.

Tratamento	Ano	Produtividade	Esterilidade	Massa 1000	Grãos	Grãos
		grãos kg ha ⁻¹	grãos %	grãos g	inteiros ----- %	quebrados ----- %
Testemunha sem N	1999/00	5900	15,6	24,20	56,1	13,9
Adubação nitrogenada	1999/00	6620	16,7	23,00	51,3	19,3
Testemunha sem N	2000/01	4540	9,0	23,32	58,7	14,6
Adubação nitrogenada	2000/01	5110	10,2	23,06	58,1	14,7

Quanto aos componentes de produtividade, massa de 1000 grãos e percentual de esterilidade de grãos, verifica-se que em ambas as safras o desempenho da testemunha sem aplicação de nitrogênio foi ligeiramente superior ao do tratamento com adubação nitrogenada em cobertura. Comportamento semelhante foi verificado para a variável percentual de grãos inteiros, o contrário ocorrendo para a variável percentual de grãos quebrados (Tabela 3).

Acumulação de nitrogênio e utilização de nitrogênio da uréia pelo arroz irrigado

Os resultados relativos à acumulação de nitrogênio pela cultura do arroz irrigado são apresentados nas Tabela 4. Estes referem-se exclusivamente à área que recebeu adubação nitrogenada em cobertura, visto que o objetivo principal deste trabalho refere-se ao estudo das transformações do nitrogênio proveniente da uréia no sistema solo-planta. Dos resultados, verifica-se que as quantidades de nitrogênio requeridas pelo arroz foram elevadas, a despeito de não se ter atingido o potencial de produtividade das cultivares utilizadas (cerca de 10 t ha⁻¹). Apenas um terço da quantidade total de nitrogênio absorvida pelas plantas foi exportada pelos grãos. Nota-se, ainda, que grande parte do nutriente absorvido pela cultura foi armazenada nas raízes, demonstrando a importância de se considerar esta parte da planta nos cálculos de balanço do nitrogênio no sistema solo-planta. A utilização de nitrogênio da uréia pelas plantas de arroz foi relativamente baixa, variando de 33%, no primeiro ano agrícola, a 30% do total adicionado ao sistema, no segundo ano agrícola (Tabela 5).

Contrariamente ao verificado para as variáveis associadas à acumulação de nitrogênio pelo arroz (Tabela 4), apenas uma pequena fração do nitrogênio derivado da uréia permaneceu nas raízes (< 2%), o restante foi armazenado na parte aérea das plantas (colmos, folhas e grãos) (Tabela 5).

Os resultados obtidos indicam que o meio de cultivo, incluindo o solo, os resíduos de cultivos anteriores e a água de irrigação, foram responsáveis pelo fornecimento de dois terços de todo o nitrogênio absorvido pelas plantas de arroz. Ademais, pesquisas recentes

relativas ao potencial de fixação biológica do nitrogênio associado a algumas espécies de gramíneas, entre as quais o arroz (Isherwood, 2003; UFRGS, 2005), permitem inferir ser esta uma fonte adicional do nutriente para a cultura.

Tabela 4. Quantidade de nitrogênio acumulada nas plantas de arroz. Anos agrícolas 1999/00 e 2000/01.

Tratamento	Ano	Colmo e folhas	Grãos	Raízes	Total
		----- kg ha ⁻¹ -----			
Adubação nitrogenada	1999/00	44,7	45,4	65,8	154,9
Adubação nitrogenada	2000/01	31,1	81,8	----	112,9

Tabela 5. Quantidade de nitrogênio no arroz proveniente da uréia (QNAPU) e aproveitamento do nitrogênio da uréia pelo arroz (ANU). Anos agrícolas 1999/00 e 2000/01.

Variável	Ano	Colmos e folhas	Grãos	Raízes	Total
QNAPU, kg ha ⁻¹	1999/00	13,4	12,0	1,1	26,5
ANU, %	1999/00	16,8	15,1	1,3	33,1
QNAPU, kg ha ⁻¹	2000/01	7,1	16,7	----	23,9
ANU, %	2000/01	8,9	20,9	----	29,7

Nitrogênio no solo e nitrogênio proveniente da uréia remanescente no solo

Os resultados relativos aos conteúdos de amônio e de nitrato no solo, ao longo dos cultivos de arroz, são apresentados na Tabela 6. Verifica-se que, para todas as épocas de amostragem, a forma mineral predominante é a amoniacal, o que reflete a condição de redução vigente durante a maior parte do ano nos solos de várzea da região onde foi realizada a experimentação. É evidente, ainda, a diminuição no conteúdo das formas minerais de nitrogênio do solo após os cultivos de arroz, o que provavelmente resulte do consumo dessas formas prontamente assimiláveis pela cultura, de sua conversão a formas de menor disponibilidade, ou ainda, de perdas do sistema solo-

planta. Não foram detectadas formas minerais de nitrogênio proveniente da uréia após os cultivos de arroz. Possivelmente isso se deva à pronta disponibilidade dessas formas de N, sendo absorvidas pelas plantas de arroz imediatamente após a degradação da uréia, ou ainda, incorporadas à biomassa microbiana associada às transformações físico-químicas do nitrogênio no sistema solo-planta.

Tabela 6. Teores de amônio e de nitrato no solo em diferentes profundidades de amostragem. Anos agrícolas 1999/00 e 2000/01.

Época de amostragem	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
	0-10 cm		10-30 cm	
	----- mg kg ⁻¹ -----			
Anterior ao 1º cultivo de arroz	35,7	10,1	40,4	2,4
Após o 1º cultivo de arroz	30,3	0,2	22,0	0,3
Após o 2º cultivo de arroz	7,7	0,0	7,0	0,0

Conclusões

A quantidade de nitrogênio absorvida pelo arroz irrigado é elevada (> 110 kg ha⁻¹), mas apenas um terço desse total é exportado pelos grãos.

A utilização de nitrogênio da uréia pelo arroz corresponde a cerca de 33% do total adicionado ao sistema solo-planta. O restante do nutriente utilizado pela cultura provém do meio de cultivo, incluindo o solo, restos culturais e a água de irrigação.

Referências Bibliográficas

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3.ed. Passo Fundo: SBCS, Núcleo Regional Sul, 1995. 224 p.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. **Arroz irrigado**: recomendação técnica da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: Embrapa Clima Temperado/IRGA/EPAGRI, 1999. 124 p. (Embrapa Clima Temperado. Documento, 57).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FILLERY, I.R.P.; SIMPSON, J.R.; DE DATTA, S.K. Influence of field environment and fertilizer management on ammonia loss from flooded rice. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 914-920, 1984.

FREIRE, C.J. da S. **Manual de métodos de análise de tecido vegetal, solo e calcário**. Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1998. 208 p.

FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; WATANABE, I.; CRASWELL, E.T. Ammonia and nitrous oxide losses following applications of ammonium sulphate to flooded rice. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 32, p. 37-45, 1981.

GOMES, A. da S.; VAHL, L.C.; PATELLA, J.F. **Respostas da cultura do arroz irrigado à adubação nitrogenada no RS**. Pelotas: UEPAE, 1979. 16 p. (Mimeografado).

ISHERWOOD, K.F. **Mineral fertilizer use and the environment**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2003. 63 p. Disponível em: < <http://www.anda.org.br/portug> > . Acesso em: 29 mai. 2005.

MACHADO, M.O. Adubação e calagem, para a cultura do arroz irrigado, no Rio Grande do Sul. Pelotas: EMBRAPA–CPATB, 1993. 63 p. (EMBRAPA–CPATB. Boletim de Pesquisa, 2).

MALAVOLTA, E.; MALAVOLTA, M.L. Diagnóstico foliar – princípios e aplicações. In: BÜLL, L.T.; ROSOLEM, C.A. (Ed.). **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: FEPAF, 1989. p. 227-308.

RAO, D.L.N.; SMITH, J.L.; PARR, J.F.; PAPENDICK, R.I. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 33, p. 209-217, 1992.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; VICTÓRIA, R.L.; VIEGAS, G.P. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, p. 17-20, 1979.

STEINMETZ, S.; INFELD, J.A.; MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; MARIOT, C.H.P.; AMARAL, A.G.; FERREIRA, J.S.A. **Zoneamento agroclimático do arroz irrigado por épocas de semeadura no Estado do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2001. 31 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 81).

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.

TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massas**. Piracicaba: CENA, 1973. 41 p. (CENA. Boletim Técnico, 2).

UFRGS. Laboratório de Fixação Biológica do Nitrogênio. **A fixação biológica do nitrogênio**. Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/depbiot/210/fbn.html> > . Acesso em: 29 mai. 2005.

VENTURA, W.; YOSHIDA, T. Ammonia volatilization from a flooded tropical soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 46, p. 521-531, 1977.

VILLAS BÔAS, R.L. **Recuperação do nitrogênio da uréia pelo milho: efeito da mistura com sulfato de amônio, da dose e do modo de aplicação**. 1995. 128 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

VLEK, P.L.G.; CRASWELL, E.T. Ammonia volatilization from flooded soils. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 1, p. 191-202, 1980.