



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento

**Adubação com uréia em pastagem
de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross
sob manejo rotacionado:
Eficiência e perdas**



Embrapa

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Fernando Henrique Cardoso - Presidente

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO

Marcus Vinícius Pratini de Moraes - Ministro

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO

Márcio Fortes de Almeida - Presidente

Alberto Duque Portugal - Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast - Membro

José Honório Accarini - Membro

Sérgio Fausto - Membro

Urbano Campos Ribeiral - Membro

DIRETORIA-EXECUTIVA DA EMBRAPA

Alberto Duque Portugal - Diretor-Presidente

Dante Daniel Giacomelli Scolari - Diretor

Elza Ângela Battaggia Brito da Cunha - Diretor

José Roberto Rodrigues Peres - Diretor

EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE

Aliomar Gabriel da Silva - Chefe Geral

Edison Beno Pott - Chefe Adjunto de Pesquisa & Desenvolvimento

Rodolfo Godoy - Chefe Adjunto de Administração

Rogério Taveira Barbosa - Chefe Adjunto de Comunicação, Negócios e Apoio

CIRCULAR TÉCNICA Nº 30

ISSN 1516-411X

Junho, 2001

**Adubação com uréia em pastagem
de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross
sob manejo rotacionado:
Eficiência e perdas**

Odo Primavesi
Luciano de Almeida Corrêa
Ana Cândida Primavesi
Heitor Cantarella
Maria José Aguirre Armelin
Aliomar Gabriel da Silva
Alfredo Ribeiro de Freitas

Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, Nº 30

Exemplares desta publicação podem ser solicitados a:

Embrapa Pecuária Sudeste
Rod. Washington Luiz, km 234
Caixa Postal 339
Telefone: (0XX16) 261 5611 - Fax:(0XX16) 261 5754
13560-970 - São Carlos SP
Endereço eletrônico: sac@cppse.embrapa.br

Tiragem desta edição: 1.000 exemplares

Comite de Publicações:

Presidente: Edison Beno Pott

Membros: Ana Cândida P.A. Primavesi
Armando de Andrade Rodrigues
Carlos Roberto de Souza Paino
Sônia Borges de Alencar

Editoração Eletrônica: Emilia Maria Pulcinelli Camarnado

Adubação com uréia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross sob manejo rotacionado: Eficiência e perdas / Odo Primavesi ... [et al.].-- São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001.
43p.; 21 cm.- (Embrapa Pecuária Sudeste. CircularTécnica, 30).

1. Pastagem - *Cynodon dactylon* - Coastcross - adubação - Uréia. 2. Pastagem - Manejo rotacionado - Adubação - Uréia - Eficiência - Perdas. I. Primavesi, Odo. II. Série.

CDD - 633.2

© EMBRAPA 2001

Sumário

	Pag.
Introdução.....	05
Perdas de amônia por volatilização.....	08
Produção e teor de matéria seca.....	15
Eficiência nutricional de fontes de N.....	17
Eficiência agronômica da uréia.....	20
Recuperação aparente do N fertilizante aplicado superficialmente.....	20
Teor de nitrato na forragem.....	24
Fontes e doses de N x Qualidade da forragem... ..	24
Extração de nutrientes em função de fontes e doses de N.....	26
Perdas de nitrato no solo.....	31
Qualidade dos adubos nitrogenados.....	37
Conclusões	37
Recomendações.....	38
Referências bibliográficas.....	39

**Adubação com uréia em pastagem
de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross
sob manejo rotacionado:
Eficiência e perdas**

Odo Primavesi^(1,4)
Luciano de Almeida Corrêa⁽¹⁾
Ana Cândida Primavesi⁽¹⁾
Heitor Cantarella^(2,4)
Maria José Aguirre Armelin⁽³⁾
Aliomar Gabriel da Silva⁽¹⁾
Alfredo Ribeiro de Freitas⁽¹⁾

Introdução

As pastagens constituem o principal e o mais barato componente da dieta de bovinos e, como tal, são a base de sustentação da pecuária de corte no Brasil. Todavia, a maioria das pastagens está na região dos Cerrados, em áreas de menor fertilidade, exploradas de maneira extrativista e, como consequência, em processo de degradação. Essa situação tem contribuído para que a pecuária de corte apresente, há décadas, índices zootécnicos muito baixos (Corsi, 1986), com lotação das pastagens em torno de 0,5 UA/ha (UA = 450 kg peso vivo) e produtividade na faixa de 100 kg/ha/ano de peso vivo.

-
- (1) Pesquisador, Dr., Embrapa Pecuária Sudeste, C.P. 339, CEP 13560-970, São Carlos, SP.
 - (2) Pesquisador, Dr., Secretaria da Agricultura - Instituto Agrônomo de Campinas, Seção de Fertilidade do Solo, C.P. 28, CEP 13001-970, Campinas, SP.
 - (3) Pesquisador, Dr., Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Divisão de Radioquímica, C.P. 11.049, CEP 05422-970, São Paulo, SP.
 - (4) Bolsista do CNPq.

Embora as gramíneas forrageiras tropicais não alcancem a qualidade daquelas de clima temperado – pois o ganho de peso vivo que proporcionam está na faixa de 0,6 a 0,8 kg/animal/dia (Quinn et al., 1962; Gomide et al., 1984; Corrêa, 1997) –, a produção animal por área pode ser muito elevada, com valores acima de 1.200 kg/ha/ano de peso vivo (Corsi, 1986), graças a seu grande potencial de produção de matéria seca. A exploração desse potencial é atualmente uma necessidade, principalmente em regiões de terras mais valorizadas, como a Sudeste, a fim de tornar a pecuária de corte mais rentável e mais competitiva diante de outras alternativas de uso do solo.

A adubação das pastagens, principalmente a nitrogenada, é um dos fatores mais importantes na determinação do nível de produção de forragem por área. A resposta de gramíneas forrageiras a altas doses de nitrogênio tem sido relatada por vários pesquisadores (Vicente-Chandler, 1959; Werner, 1967; Corsi, 1986). Resposta a até 1.800 kg/ha/ano de N foi relatada por Vicente-Chandler (1959) e os maiores incrementos de produção ocorreram, de modo geral, na faixa de 300 a 400 kg/ha/ano de N (Olsen, 1972; Rodrigues, 1959; Werner et al., 1967; Gomes et al., 1987).

A eficiência agronômica de fontes de adubos nitrogenados é semelhante quando estas são incorporadas ao solo, como mostram os resultados obtidos no Brasil, com diversas culturas, e compilados por Cantarella & Rajj (1986).

Segundo Mello (1987), a uréia, como fertilizante, tem apresentado eficiência menor do que outras fontes de nitrogênio, para grande número de culturas em diferentes solos e climas, em virtude de diversas causas, tais como lixiviação da uréia, volatilização de NH_3 e seu efeito tóxico sobre as plantas no início do período vegetativo. Porém, em muitos ensaios, a uréia tem sido igual ou até superior a outros fertilizantes tradicionais. Essas perdas podem ser mais expressivas quando o fertilizante é aplicado em solo coberto com resíduos vegetais (Urban et al.,

1987), comuns em várias situações, como, por exemplo, em pastagens.

A aplicação de uréia – o fertilizante nitrogenado mais comum no mercado brasileiro –, na superfície do solo, pode causar perdas de N por volatilização de NH_3 (Terman, 1979). Em muitos casos, estudos de campo também mostraram eficiência agrônômica semelhante entre a uréia e outras fontes de N não sujeitas a perdas de volatilização de amônia, conforme demonstram os dados de vários anos do convênio Embrapa-Petrofértil (Cantarella et al., 1986; Cantarella et al., 1988). A causa disso tem sido atribuída à ocorrência de chuvas logo após a aplicação do adubo e a outras condições climáticas que evitam a ocorrência de perdas.

Whitehead (1970), citado por Corsi (1987), verificou perdas de N da uréia de 2% a 36% em pastagens, com perdas mais representativas na faixa de 20%. Segundo Corsi (1994), até 80% do N pode ser recuperado quando aplicado adequadamente nas pastagens. Corrêa (1997), em avaliação da resposta de quatro gramíneas forrageiras tropicais, com doses de 200 e 300 kg/ha de N nas águas, na forma de uréia, sob pastejo rotacionado, constatou excelente resposta em termos de produção das forrageiras e lotação das pastagens, o que sugere que as perdas de N podem não ser tão elevadas.

Essa maior eficiência pode estar relacionada aos parcelamentos da adubação no pastejo rotacionado, ao período de intenso crescimento das plantas e à boa distribuição de chuvas, que são condições desfavoráveis à volatilização do N. Segundo Van Burg et al. (1982), citados por Whitehead (1995), a eficiência da uréia é aumentada se ocorrer chuva de 5 mm ou mais até dois dias após a aplicação da uréia.

Surgem também dúvidas sobre a possibilidade de impacto ambiental negativo com o uso de doses elevadas de N, por causa da perda potencial por lixiviação na forma de NO_3 e da contaminação do lençol freático, especialmente em regiões com clima úmido ou em período chuvoso (Mello et al., 1984), quando

ocorre a aplicação de fertilizantes nitrogenados em nosso meio. Esses autores ainda informam que isso pode ser agravado com o uso intenso de calcário, que acelera a degradação de material orgânico e a nitrificação.

Dessa forma, a alta concentração de N da uréia, sua facilidade de manipulação e seu efeito acidificante moderado tornam esse fertilizante potencialmente superior às demais fontes, sob o ponto de vista econômico, e justificam a avaliação de sua eficiência, principalmente em pastagens sob exploração intensiva, em que estudos específicos de perdas de N são escassos. Assim, o trabalho envolve estudos dos seguintes aspectos: 1) de sua eficiência, principalmente em pastagens sob exploração intensiva, bem como do perigo potencial de nitrato solúvel na biomassa vegetal para ruminantes; 2) de sua influência também sobre a qualidade da forragem tropical, principalmente em pastagens sob exploração intensiva; 3) do monitoramento do teor de nitrato no perfil do solo, especialmente em situações de manejo rotacionado de pastagens com elevado uso de insumos, a fim de possibilitar o gerenciamento de um sistema intensivo de produção de bovinos de forma sustentável do ponto de vista ambiental.

Perdas de amônia por volatilização

Os experimentos foram realizados em pastagem de capim-coastcross (*Cynodon dactylon* cv. Coastcross) em Latossolo Vermelho Distrófico típico, com 30% de argila, na fazenda Canchim, região de São Carlos, SP, Brasil (latitude 22°01´ S e longitude 47°54´ W, com altitude de 836 m), sob clima tropical de altitude. As características químicas do solo foram: pH em $\text{CaCl}_2 = 5,0$; matéria orgânica = 25 g/dm³; P-resina = 9 mg/dm³; K, Ca, Mg, Al e capacidade de troca catiônica (CTC) = 3, 19, 11, 1 e 67 mmol_c/dm³, respectivamente; saturação por bases = 45%; e saturação por Al = 4%. O calcário foi aplicado para elevar a saturação por bases para 70% da CTC. Os adubos

aplicados foram superfosfato simples (100 kg/ha de P_2O_5) e micronutrientes FTE BR-12 (30 kg/ha). Potássio foi aplicado na forma de KCl, junto com os tratamentos de N, a fim de repor o K removido pelos cortes e para manter os níveis de K na matéria seca (MS) em no mínimo 20 g/kg.

Os coletores utilizados para medir a volatilização de amônia consistiram de cilindros de PVC, com 20 cm de diâmetro e 40 cm de altura, contendo dois discos de espuma de poliuretano, com 20 cm de diâmetro e 2 cm de espessura, para absorver o gás amônia. Os discos foram umedecidos com solução contendo ácido fosfórico e glicerina e posicionados na parte superior interior do cilindro, a 20 e 30 cm da base, respectivamente. O cilindro de PVC foi encaixado sobre um anel de PVC com 10 cm de altura e 19 cm de diâmetro, enterrado nos 5 cm superficiais do solo. O topo do cilindro foi coberto com um prato plástico, de maneira a permitir troca de gases com o exterior da câmara. O disco inferior foi colocado para reter dentro do cilindro o gás volatilizado a partir do solo e o disco superior, para reter o gás vindo do exterior. Os discos de poliuretano foram substituídos a cada três dias e/ou após cada chuva mais intensa (superior a 10 mm) em 1998-1999, e a cada dia, durante 5 dias, em 1999-2000. A amônia retida nos discos foi extraída com solução de KCl 1 mol/L e determinada por destilação a vapor. Os períodos monitorados em 1998-1999 foram: 1) 6/11 a 10/12/98, 2) 11/12/98 a 5/1/99, 3) 6/1 a 3/2/99, 4) 4/2 a 2/3/99 e 5) 3/3 a 9/4/99; e em 1999-2000: 1) 10/11 a 14/12/99, 2) 16/12 a 10/1/00, 3) 11/1 a 14/2/00, 4) 15/2 a 13/3/00 e 5) 14/3 a 25/4/00.

Em 1998-1999, as doses de N e as fontes influenciaram ($P < 0,01$) as perdas de N. As perdas de amônia, por volatilização das parcelas tratadas com nitrato de amônio, alcançaram o máximo de 1,6% do N aplicado, enquanto as perdas das áreas que receberam uréia variaram de 1,1% a 52,9%. As médias das perdas de N-uréia, aplicada após cinco cortes sucessivos de forragem, foram de 15%, 24%, 30% e 40%, para as doses de

25, 50, 100 e 200 kg/ha/corte de N, respectivamente (Figura 1, Tabela 1).

No ano agrícola de 1999-2000, com condições atmosféricas menos favoráveis ao desenvolvimento vegetal, as perdas de amônia, por volatilização do nitrato de amônio, alcançaram o máximo de 0,9% do N aplicado, enquanto as da uréia variaram de 4,6% a 61,6%. As perdas aumentaram com as doses de N aplicadas, com médias nas perdas de 13,9% e 31,4% para 25 e 200 kg/ha/corte de N, respectivamente (Tabela 1). A intensidade das perdas de N foi reduzida por chuvas, especialmente nos primeiros três dias após a aplicação do fertilizante nitrogenado. Para chuvas em torno de 10 mm, as perdas de N-uréia ficaram abaixo de 17% nas áreas tratadas com 100 kg/ha/corte de N, chegando a ser superiores a 22%, na mesma dose de N-uréia, sem ocorrência de chuvas, e se concentrando, principalmente, nos primeiros três dias após a sua aplicação, confirmando assim os resultados de 1998-1999 (Tabela 1). Porém, a distribuição e a intensidade das perdas diárias de N-uréia foram variáveis nos períodos de coleta (Figura 2 e Tabela 1). Essas perdas são explicadas em parte pela variação nas condições climáticas desses períodos (Tabela 1).

Em 1999-2000, as perdas de N nos cinco primeiros dias após a aplicação da uréia dependeram da dose de N aplicada e das condições atmosféricas, especialmente do total de chuvas ocorrentes nos três dias anteriores à aplicação do adubo, que determinaram a umidade do solo, como detectaram análises de correlação simples e múltiplas (Tabela 2) das chuvas ocorrentes no início do período (Tabela 1). Verificou-se também tendência de efeitos da temperatura mínima, da temperatura máxima e da umidade relativa do ar. Como os coletores impedem a ação de brisas e ventos sobre o processo de volatilização, o efeito da evaporação não pôde ser correlacionado com as perdas de amônio.

Ficou confirmado que as maiores perdas de N ocorrem principalmente nos três primeiros dias após a aplicação de uréia, sugerindo que ocorre rápida hidrólise. Após o terceiro dia, as

Tabela 1. Médias de perdas de N-NH₃ da uréia e fatores edafoclimáticos dos três primeiros dias, antes e após a aplicação dos adubos nitrogenados, nos cinco períodos.

Doses de N kg/ha/corte	Perdas de N-NH ₃ da uréia por período					média
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	
%.....						
1998-1999						
Uréia						
25	20,2	1,1	19,4	8,9	23,4	14,6d
50	30,6	3,3	33,3	23,6	30,2	24,2c
100	37,7	6,8	40,7	29,4	37,2	30,4b
200	42,2	12,5	49,2	44,2	52,9	40,2a
Nitrato de amônio						
25	0,4	0,0	0,6	0,4	0,4	0,4
200	0,5	0,6	1,6	0,5	1,4	0,9
DMS para uréia: Doses						3,2**
Períodos						3,6**
Condições atmosféricas:						
Chuvas, 3 dias antes, mm	10	79	137,7	20	45,3	
Chuvas, 3 dias após, mm	0	10	0,6	0	0	
UR, %	76,3	87,7	86,1	67,3	71,6	
Temperatura máxima, °C	25,4	28,7	29,2	31,5	29,8	
Temperatura mínima, °C	16,7	18,8	19,0	19,1	18,2	
Evaporação, mm	12,4	7,1	10,2	13,3	11,5	
1999-2000						
Uréia						
25	11,2	14,8	4,6	31,4	7,4	13,9d
50	14,4	21,7	9,8	47,3	11,3	20,9c
100	16,1	25,8	15,4	53,5	25,6	27,3b
200	16,9	29,9	22,9	61,6	25,8	31,4a
Nitrato de amônio						
25	0,6	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3
200	0,2	0,3	0,4	0,9	0,1	0,4
DMS para uréia: doses						2,0**
períodos						2,3**
Condições atmosféricas:						
Chuvas, 3 dias antes, mm	28,8	62,0	36,4	113,4	41,3	
Chuvas, 3 dias após, mm	17,5	1,0	0,0	5,1	1,3	
Água inicial do solo, 0-5 cm, %	18,0	19,0	17,6	20,6	18,1	
UR no 1ª dia, %	82,3	74,2	74,5	89,3	72,0	
Temperatura máxima no 1ª dia, °C	22,1	30,3	29,9	27,6	29,0	
Temperatura mínima no 1ª dia, °C	13,2	15,8	17,9	19,0	19,5	
Evaporação, mm	16	27	12	11	14	

Médias acompanhadas das mesmas letras não diferem entre si ao nível de 1% (Tukey).

DMS = diferença mínima significativa (Tukey). Chuvas antes/após = aplicação dos adubos nitrogenados.

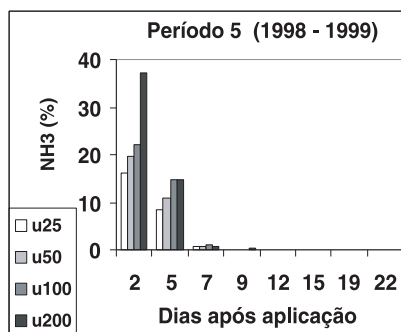
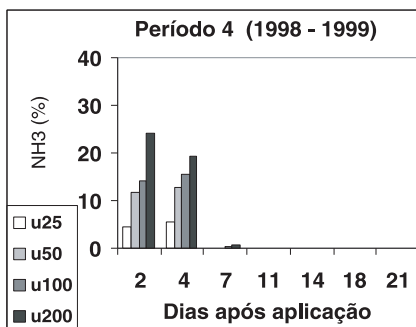
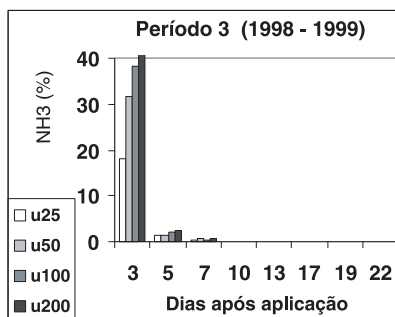
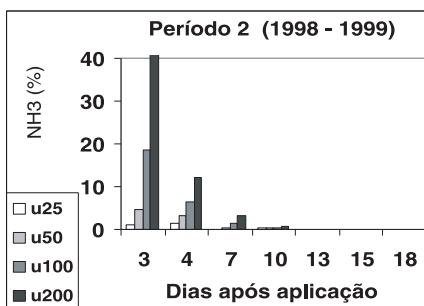
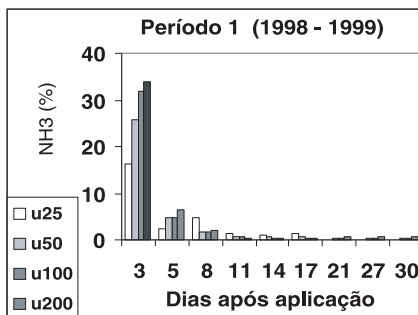


Figura 1. Distribuição das perdas de N-NH₃ das quatro doses de uréia aplicadas superficialmente, nos cinco períodos de corte durante 1998 a 1999.
Obs: u25-50-100-200 = kg/ha de N-uréia.

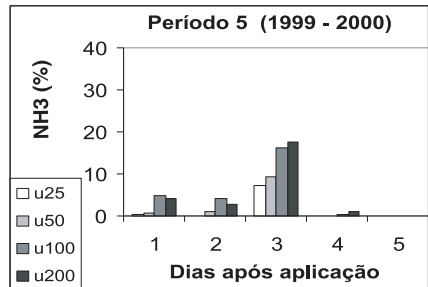
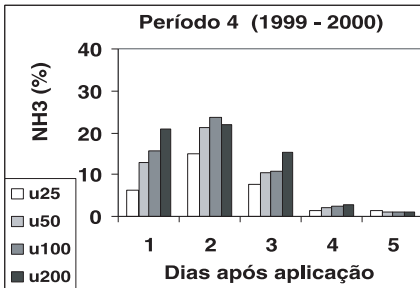
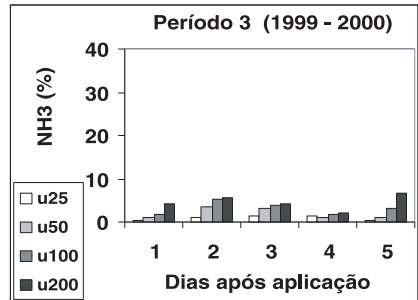
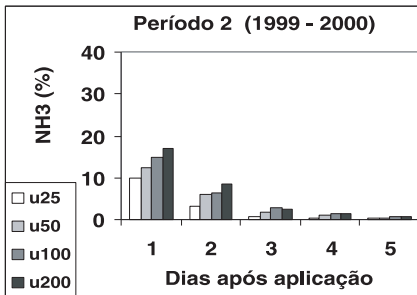
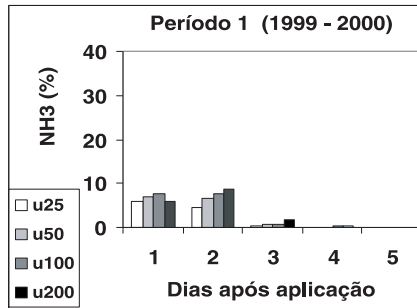


Figura 2. Distribuição das perdas de N-NH₃ das quatro doses de uréia aplicadas superficialmente, nos cinco períodos de corte durante 1999 a 2000.

Obs: u25-50-100-200 = kg/ha de N-uréia.

perdas diminuem, provavelmente, em consequência da queda do pH do solo associada ao consumo de OH^- durante a volatilização e à nitrificação do amônio (Whitehead, 1995). No solo em estudo, no dia da aplicação do adubo nitrogenado, o teor de água gravimétrica estava entre 19% e 21%, ou seja, acima da capacidade de campo (18,5%), e permitiu perdas, no primeiro dia, de 17% a 21% de NH_3 . Com 18% de água no solo, algo abaixo da capacidade de campo, ocorreram perdas entre 4% e 6% de NH_3 , considerando-se a dose de 200 kg/ha de N. A intensidade dessas perdas de N foi reduzida por chuvas, especialmente nos primeiros três dias após a aplicação do fertilizante nitrogenado.

No primeiro período de 1999-2000 – em que o solo estava mais seco e a temperatura mínima mais baixa nos dois primeiros dias da aplicação, mas com chuva de 13 mm após a aplicação da uréia –, as perdas de NH_3 foram médias e se concentraram apenas nos dois primeiros dias. Por outro lado, no segundo período e principalmente no quarto – quando não ocorreram chuvas de grande intensidade após a aplicação da uréia (Tabela 1) e o solo estava com umidade acima do nível de capacidade de campo (1/3 de atmosfera) e a temperatura mínima mais elevada –, as perdas foram maiores e melhor distribuídas nos três primeiros dias. Nos períodos 3 e 5, em que também não ocorreram chuvas intensas após a aplicação, mas o solo estava mais seco, ou seja, abaixo do nível da capacidade de campo, as perdas de N já foram menos intensas, em especial nos dois primeiros dias.

Pode ser concluído nas condições do estudo que: 1) as perdas de N-uréia são maiores nos três primeiros dias após a aplicação superficial; 2) as perdas diárias nos três primeiros dias são variáveis, dependendo das condições climáticas; 3) a intensidade da volatilização da amônia aumenta com a dose aplicada de N e o grau de umidade do solo superficial acima da capacidade de campo, sendo reduzida pela ocorrência de chuvas nos três primeiros dias após a aplicação.

Tabela 2. Equações que explicam as perdas de NH_3 nos cinco primeiros dias em consequência das chuvas dos três dias anteriores à adubação, em 1999-2000.

Dose aplicada de N	perdas % de NH_3	R	Significância
25	$= 8,0737 - 0,0864 \text{ chuva} + 0,0026 \text{ chuva}^2$	93	8%
50	$= 10,334 - 0,0665 \text{ chuva} + 0,00348 \text{ chuva}^2$	97	5%
100	$= 2,437 + 0,04406 \text{ chuva}$	95	1%
200	$= 2,782 + 0,50759 \text{ chuva}$	98	1%

Obs.: As perdas de NH_3 , em %, também se correlacionaram ($r = 0,33$, significância 11% a 16%) com água no solo. O solo estudado retém 22% de água a 10 kPa e 18,5% a 33 kPa (= 1/3 atmosfera ou capacidade de campo) de pressão negativa.

Produção e teor de matéria seca

Houve resposta acentuada do capim-coastcross às duas fontes e às doses de N, com produção reduzida para a testemunha, o que mostra a importância do N para a intensificação da produção de forragem (Tabelas 3 e 4).

No ano agrícola de 1998-1999, no primeiro período, por falta de chuvas na fase de crescimento das plantas, a resposta da forrageira foi bastante reduzida, principalmente no caso da uréia. Nesta condição de estresse hídrico, o nitrato de amônio foi bem mais eficiente, principalmente na dose de 200 kg/ha de N (Tabela 3, Figura 3).

No terceiro período de avaliação, ocorreu a incidência de fungo (*Helminthosporium*) no tratamento de 200 kg/ha de N. Aparentemente, o alto nível de N, aliado ao menor número de horas de sol e energia global (Q_g) incidente, aumentou a

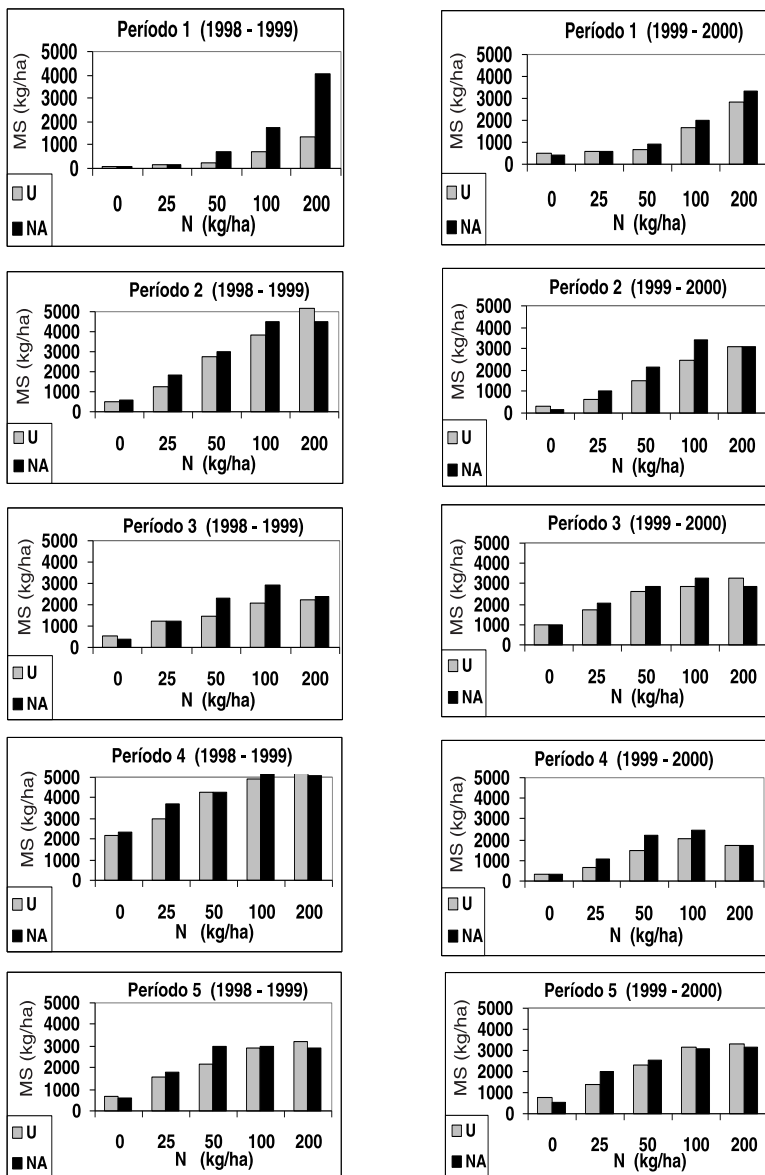


Figura 3. Produção de matéria seca de capim-coastcross, em função de fontes e doses de N, em diferentes períodos durante a estação das chuvas.
Obs: U = uréia, NA = nitrato de amônio.

suscetibilidade das plantas a essa doença, com redução da população de plantas e da produção subsequente.

A média de produção de forragem obtida com a uréia foi relativamente próxima da obtida com o nitrato de amônio (cerca de 82%), considerando-se a média das doses de 50 e 100 kg/ha por aplicação de N, que geralmente são mais utilizadas em sistemas intensivos de produção de bovinos (Tabelas 3 e 4). Dessa forma, embora a uréia tenha apresentado perdas de N relativamente elevadas (Tabela 1), esse fato nem sempre se refletiu negativamente na mesma proporção sobre a produção.

Com relação ao teor de matéria seca, por ocasião dos cortes, verificou-se sua redução com o aumento nas doses de N em consequência do aumento do conteúdo de água nas folhas (Tabelas 3 e 4), o que significa maior volume de água extraído do solo, em consequência também da maior produção de forragem.

Eficiência nutricional de fontes de N

A eficiência nutricional foi calculada a partir da produção de matéria seca por quilograma de N aplicado (kg MS/kg de N), descontando-se inicialmente, de todos os tratamentos com N, a produção de matéria seca da testemunha.

Nos dois anos agrícolas, houve diferença de resposta do capim-coastcross na produção de matéria seca por quilograma de N aplicado às fontes, às doses de N e aos períodos de corte. No primeiro corte, com o início da estação das chuvas apresentando condições anormais, ocorreu resposta até às doses máximas de N, porém, os maiores incrementos de produção (kg MS/kg de N) ocorreram com as doses de 25 e 50 kg/ha/aplicação de N para nitrato de amônio e uréia, respectivamente (Tabela 5).

No ano agrícola de 1998-1999, embora a uréia tenha apresentado eficiência nutricional inferior à apresentada pelo nitrato de amônio (cerca de 74%, na média das quatro doses de N, Tabela 5), provavelmente em consequência de perdas de N-

Tabela 3. Produção e teor de matéria seca de capim-coastcross, nos cinco períodos, em 1998-1999.

Doses de N kg/ha/corte	Produção de matéria seca por período										média	
	1 ^a		2 ^a		3 ^a		4 ^a		5 ^a		kg/ha	%
Uréia												
0	76	26	530	24	532	31	2.198	40	660	32	799	31
25	134	24	1.230	22	1.231	27	3.004	36	1.555	31	1.431	28
50	253	26	2.763	20	1.399	25	4.299	32	2.168	29	2.176	26
100	684	22	3.832	19	2.089	23	4.947	27	2.876	26	2.886	23
200	1.311	21	5.182	17	2.199	21	5.355	25	3.193	25	3.448	22
Nitrato de amônio												
0	81	25	607	24	422	31	2.362	41	633	32	821	31
25	197	24	1.808	22	1.225	27	3.705	35	1.827	29	1.753	27
50	725	22	3.026	19	2.344	25	4.294	30	2.998	28	2.677	25
100	1.606	21	4.507	18	2.913	22	5.485	25	2.992	24	3.501	22
200	4.064	18	4.482	16	2.387	20	5.059	25	2.893	24	3.777	21

DMS: Fontes de N 131** 1**
Dose e períodos 245** 1**

Dados climáticos para a produção vegetal

Período, datas	9/11-10/12	11/12-4/1	8/1-3/2	4/2-2/3	3/3-9/4
Duração, dias	32	24	26	26	37
Chuvas totais, mm	174,3	159,1	249,3	245,2	110,6
Qg, kcal/cm ²	17,2	10,2	12,5	12,3	19,4
Horas de sol, h	223	86	140	131	263
UR, %	74,5	88,7	80,7	77,5	73,0
Temp. máxima, °C	28,8	26,9	29,4	29,5	28,8
Temp. mínima, °C	16,8	22,8	25,0	26,3	23,8

Produção de matéria seca, em kg/ha; teor de matéria seca, em %;

Qg = energia global; UR = umidade relativa do ar;

DMS = diferença mínima significativa (Tukey).

NH₃ (Tabela 1), esse fato nem sempre se refletiu negativamente na mesma proporção sobre a produção vegetal. A explicação pode ser o N residual em doses menores, sendo remobilizado com o decorrer do tempo, compensando as perdas de N da uréia mas limitando o efeito do nitrato de amônio por excesso, com acúmulo de nitrato na forragem (Tabela 8). Outra explicação pode ser estímulo, pelo adubo nitrogenado, do desenvolvimento

radicular e da dinâmica do processo da mineralização-mobilização com maior contribuição do N nativo do solo.

No ano agrícola de 1999-2000, com menor produção de forragem, a média da eficiência da uréia também foi inferior à do nitrato de amônio, ficando em torno de 71%.

Tabela 4. Produção e teor de matéria seca de capim-coastcross nos cinco períodos, em 1999-2000.

Doses de N kg/ha/corte	Produção de matéria seca por período											
	1 ^a		2 ^a		3 ^a		4 ^a		5 ^a		média	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Uréia												
0	472	25	140	46	988	36	332	34	776	38	542	36
25	584	24	602	35	1.692	30	693	29	1.409	35	996	31
50	668	23	1.502	30	2.621	26	1.445	25	2.280	33	1.704	27
100	1.657	20	2.424	27	2.846	25	2.060	21	3.158	29	2.430	24
200	2.808	16	3.068	24	3.312	21	1.749	22	3.328	28	2.853	22
Nitrato de amônio												
0	383	27	187	41	1.008	36	364	33	558	38	500	35
25	621	24	1.104	33	1.966	28	1.050	27	2.003	33	1.329	29
50	926	21	2.167	28	2.898	25	2.244	22	2.570	32	2.161	26
100	1.973	18	3.382	24	3.275	22	2.456	21	3.075	29	2.832	23
200	3.299	15	3.122	23	2.860	22	1.723	20	3.174	27	2.836	22
DMS: Fontes de N											89**	1**
Dose e períodos											168**	1**

Dados climáticos para a produção vegetal

Período, datas	10/11-14/12	16/12-10/1	11/1-14/2	15/2-13/3	14/3-25/4
Duração, dias	34	26	35	27	43
Chuvas totais, mm	233,0	304,4	412,4	160,5	143,9
Qg, kcal/cm ²	20,2	13,3	17,6	15,3	20,9
Horas de sol, h	275	143	204	200	334
UR, %	74,3	88,7	80,3	82,8	70,4
Temp. máxima, °C	28,0	27,7	28,2	28,2	27,9
Temp. mínima, °C	24,2	22,7	18,6	18,7	16,9

Produção de matéria seca, em kg/ha; teor de matéria seca, em %;

Qg = energia global; UR = umidade relativa do ar;

DMS = diferença mínima significativa (Tukey).

Eficiência agronômica da uréia

A fórmula utilizada para calcular a eficiência agronômica (EA) foi: $EA (\%) = 100 \times (\text{produção de MS com uréia menos produção de MS testemunha}) / (\text{produção de MS com nitrato de amônio menos produção de MS testemunha})$, considerando-se o nitrato de amônio fonte-referência de N.

Com o aumento da dose de N, houve incremento significativo na média da eficiência agronômica da uréia (Tabela 6). Dessa forma, embora a uréia tenha apresentado perda de N relativamente elevada por volatilização de NH_3 (24% a 30% em 1998-1999, 21% a 27% em 1999-2000, para 50 e 100 kg N/ha por corte, respectivamente; Tabela 1), esse fato não se refletiu negativamente na mesma proporção sobre a produção (Tabelas 3 e 4), resultando em boa eficiência agronômica da uréia na produção de biomassa vegetal. O valor médio ficou em 83% (Tabela 6), em ambos os anos, considerando-se a dose máxima mais utilizada de N (100 kg/ha por aplicação).

Em 1999-2000, repetiu-se o comportamento das fontes e das doses de N (Tabela 6). Pode ser concluído que a uréia apresentou boa eficiência agronômica em relação ao nitrato de amônio, mesmo quando aplicada superficialmente como fonte de nitrogênio na produção de forragem de capim-coastcross em sistemas intensivos.

Recuperação aparente do N fertilizante aplicado superficialmente

A fórmula utilizada para calcular a extração (ext) de N foi: $N_{\text{ext}} (\text{kg/ha}) = 0,001 \times [\text{MS (kg/ha)} \times \text{concentração de N (g/kg)}]$. A recuperação aparente de N (N_{rec}) foi estimada pela fórmula: $N_{\text{rec}} (\%) = 100 \times (N_{\text{ext}} \text{ da parcela adubada} - \text{testemunha}) / \text{dose aplicada de N}$. A quantidade de N na forragem testemunha permite

Tabela 5. Eficiência nutricional dos adubos nitrogenados na produção de matéria seca de capim-coastcross em cinco períodos (cortes).

doses de N kg/ha/corte	Eficiência no uso de N						
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	média	
kg MS/kg de N							
1998-1999							
Uréia							
25	2,4	28,0	27,9	32,2	35,8	25,3	
50	3,5	44,7	17,3	42,0	30,2	27,5	
100	6,1	33,0	15,6	27,5	22,2	20,9	
200	6,2	23,3	8,3	15,8	12,7	13,2	
Nitrato de amônio							
25	12,9	48,1	38,0	53,7	47,8	38,4	
50	15,3	48,4	38,4	38,7	47,3	37,1	
100	19,9	39,0	24,9	31,2	23,6	26,8	
200	28,0	19,4	9,8	13,5	11,3	14,8	
DMS: Fontes de N							3,1**
Doses							4,9**
Períodos de corte							5,7**
1999-2000							
Uréia							
25	5,2	18,5	28,2	14,4	25,3	18,3	
50	5,1	27,2	32,7	22,3	30,7	23,5	
100	11,9	22,8	18,6	17,3	23,8	18,9	
200	11,7	14,6	11,6	7,1	12,8	11,6	
Nitrato de amônio							
25	5,9	36,7	38,3	27,4	57,8	33,2	
50	10,9	39,6	37,8	37,6	40,2	33,2	
100	15,9	32,0	22,7	20,9	25,2	23,3	
200	14,6	14,7	9,3	6,8	13,1	11,7	
DMS: Fontes de N							2,2**
Doses							3,6**
Períodos de corte							4,2**

DMS = diferença mínima significativa (Tukey).

Tabela 6. Eficiência agronômica (EA) da uréia na produção de matéria seca de capim-coastcross, em cinco períodos, nas diferentes doses de nitrogênio.

Doses de N kg/ha/corte	1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	Média
	----- % -----					
1998-1999						
25	53	62	108	60	74	66
50	35	94	51	111	64	71
100	73	85	62	90	97	82
200	30	120	83	126	117	95
DMS: Doses						23*
Períodos						27**
1999-2000						
25	112	56	83	51	43	69
50	40	71	87	61	78	67
100	76	73	88	83	95	83
200	80	112	127	107	100	103
DMS: Doses						24*
Períodos						ns

DMS = diferença mínima significativa (Tukey).

estimar o fornecimento de N pelo solo e pela atmosfera.

A recuperação aparente de N variou ($P < 0,01$) com as fontes de N, as doses de N e os períodos de amostragem. Com o aumento das doses de N, ocorreu decréscimo na recuperação aparente de N (Tabela 7) por causa da redução na eficiência de produção de matéria seca. Exceto no início do período das chuvas, com o solo mais seco, a recuperação de N foi relativamente elevada para ambas as doses mais utilizadas em sistemas intensivos de produção (50 e 100 kg/ha), em especial para o nitrato de amônio. Por isso, sob condições adequadas para o desenvolvimento vegetal, a média da recuperação de N-uréia foi de 68% daquela obtida com o nitrato

de amônio, que variou em média de 68% a 75% do N aplicado (Tabela 7). Os dados mostraram elevado potencial de extração de N pelas plantas – já que parte do nitrogênio, não determinado, pode ser imobilizado nas raízes e nos estolões – e pela biomassa microbiana do solo, em especial em sistemas intensivos rotacionados. Impithuksa e Blue (1985), citados por Monteiro (1998), determinaram como sendo de 20% a imobilização pelas raízes e pelos estolões, e de 30% pela biomassa microbiana, para cada 45% de N recuperado pela forragem. Essa elevada extração de N por gramíneas forrageiras tropicais pode contribuir para a redução nos riscos ambientais, tais como perdas de nitrato, em especial nos solos tropicais profundos.

Pode-se concluir que a recuperação aparente de N por capim-coastcross foi elevada, sendo influenciada por fontes, doses e condições ambientais.

Tabela 7. Extração e recuperação de N por capim-coastcross, em cinco períodos climáticos consecutivos, em 1998-1999.

Doses de N kg/ha/corte	-----Extração de N-----						----- Recuperação de N-----					
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	média	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	média
	kg/ha						%					
Uréia												
0	1	9	10	37	12	14						
25	2	22	24	54	26	26	3	50	55	57	60	45
50	4	54	29	76	40	41	6	88	36	74	56	52
100	13	86	48	105	67	64	11	74	36	59	52	46
200	31	146	65	141	93	95	15	65	25	41	37	37
Nitrato de amônio												
0	1	10	8	39	12	14						
25	3	32	25	64	33	32	7	87	65	92	87	67
50	13	63	48	85	60	54	24	100	79	77	96	75
100	26	108	82	136	84	89	34	94	70	77	66	68
200	118	142	78	147	89	115	58	61	32	39	35	45
DMS:	Fontes de N					4,8**						5,2**
	Doses e períodos					9,0**						9,7**

Médias acompanhadas das mesmas letras não diferem entre si ao nível de 1% (Tukey). DMS = diferença mínima significativa (Tukey).

Teor de nitrato na forragem

Verificou-se incremento no teor de NO_3 com o aumento das doses de N ($P < 0,05$) para as duas fontes. O incremento foi mais acentuado nas doses mais elevadas (a partir de 100 kg/ha/corte de N), quando a resposta em produção foi mais reduzida (Corrêa et al., 2000), o que permitiu o acúmulo de NO_3 na planta. De modo geral, o nitrato de amônio permitiu maior acúmulo de NO_3 do que a uréia ($P < 0,05$) na parte aérea das plantas. Não foi verificada diferença entre os períodos de corte (Tabela 8).

O nitrato é a única forma inorgânica de N que se acumula na planta quando o suprimento de N excede o requerimento para o crescimento. Mesmo nas doses mais elevadas de N, os teores de nitrato na planta, até 1.045 mg/kg ou 0,10% de NO_3 , ficaram bem abaixo dos níveis considerados tóxicos para os bovinos, que estão na faixa de 0,23% a 0,43% na matéria seca da forragem (Whitehead, 1995).

A análise de regressão, desconsiderando-se o primeiro período de amostragem, com valores anormais, mostrou a componente quadrática como a mais significativa para as duas fontes no caso do nitrato solúvel, sendo para:

$$1) \text{ uréia} = 23,97 - 1,425 \times \text{dose N} + 0,0215 \times \text{dose N}^2, \\ r^2 = 0,74^*;$$

$$2) \text{ NA} = -13,808 + 1,153 \times \text{dose N} + 0,0157 \times \text{dose N}^2, \\ r^2 = 0,96^{**}$$

Pode-se concluir que as doses de nitrogênio normalmente utilizadas no manejo intensivo de gramíneas tropicais não levaram a níveis de NO_3 considerados tóxicos para a alimentação de bovinos.

Fontes e doses de N x Qualidade da forragem

Ocorreu aumento nos teores da maioria das variáveis analisadas com doses crescentes de N, exceto quanto aos valores de fibra em detergente neutro (FDN) e teores de P. A redução

nos teores de FDN e P provavelmente foi resultado do estímulo do N ao crescimento de tecidos novos, bem como do efeito de diluição de nutrientes (Tabela 9).

Tabela 8. Acúmulo de NO_3 na forragem em cinco períodos, nas diferentes doses de nitrogênio, em 1998-1999.

Doses N kg/ha/corte	1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	Média
	mg/kg					
Uréia						
0	4	12	12	11	3	8b
25	7	0	43	10	14	15b
50	2	0	47	24	5	16b
100	44	10	56	204	54	74b
200	18	704	319	1.045	346	486a
Nitrato de amônio						
0	4	12	12	11	3	8c
25	21	19	58	1	2	20c
50	2	34	76	0	7	24c
100	22	144	363	310	385	245b
200	258	747	951	865	781	720a
DMS: Fontes de N						37**
Doses						71**
Períodos						70**

Médias acompanhadas das mesmas letras não diferem entre si ao nível de 1% (Tukey). DMS = diferença mínima significativa.

As duas fontes de nitrogênio mostraram efeitos diferenciados para algumas das variáveis analisadas, ocorrendo valores maiores de proteína bruta (PB), Mg e K com nitrato de amônio, e de FDN com uréia. Essa diferença entre fontes pode estar relacionada ao tipo de N (NO_3 e/ou NH_4) e muito provavelmente à quantidade disponibilizada de N. A uréia, quando aplicada superficialmente, sofre maiores perdas por volatilização de NH_3 . Para digestibilidade "in vitro" da matéria seca (DIVMS), P e Ca, o efeito de ambas as fontes foi semelhante (Tabela 9).

Ocorreram também diferenças nos teores das variáveis com os diferentes períodos de corte, provavelmente relacionadas com efeitos de diluição ou concentração de elementos, como, por exemplo, nos cortes três e cinco, em virtude da menor produção de matéria seca (Tabela 3), e no primeiro corte em consequência da acentuada falta de água no solo.

Constata-se na Tabela 8 que, com a dose de 100 kg/ha de N-nitrato de amônio e 200 kg/ha de N-uréia, inicia-se o acúmulo de NO_3 na matéria seca de capim-coastcross, o que indica limitação à produção eficiente de forragem. Assim, abaixo dessas doses de N, que ocasionam acúmulo de nitrato, o teor máximo de PB, que poderia ser considerado como real, situa-se em torno de $14 \pm 2\%$ (Tabela 9), provável limite superior para gramíneas tropicais. Considerando-se que, em pastejo, os bovinos podem selecionar forragem de boa qualidade em pastagens recebendo doses menores de N, pode-se concluir que as duas fontes de N, em praticamente todas as doses, foram eficientes em produzir forragem de capim-coastcross de boa qualidade, como atesta a presença de valores elevados de digestibilidade "in vitro" (acima de 63%) com baixas doses de N.

Extração de nutrientes em função de fontes e doses de N

A fórmula utilizada para calcular a extração dos elementos foi: E_{ext} (em kg/ha ou g/ha) = $0,001 \times [\text{MS (em kg/ha)} \times \text{concentração do elemento (em g/kg ou mg/kg)}]$.

A análise de variância mostrou diferenças ($P < 0,05$) entre fontes e doses de N e interação entre doses e fontes no caso de N, K, Mg, Cu, Zn e Mn. A regressão polinomial quadrática estimou adequadamente a extração de macro e micronutrientes dentro da interação fontes x doses, com coeficientes de determinação (r^2) maiores do que 90%, exceto para Fe ($r^2 = 56\%$).

Comparando-se as doses de N normalmente utilizadas, entre 250 e 500 kg/ha (acumulados de cinco aplicações), com a

testemunha, verificou-se aumento de extração de N e Cu de 3,5 a 5,5 vezes; de P e Mn, de 3,0 a 3,5 vezes; de S e Ca, de 3,0 a 4,0 vezes; de K, de 4,0 a 6,0 vezes; de Zn, de 3,0 a 4,5 vezes; e de Fe, de 2,0 vezes.

Maraschin (1988) relata que a retirada de nutrientes do solo por variedades de *Cynodon* tende a ser aumentada com colheitas elevadas de forragem e que a adição de N aumenta a produção de matéria seca, necessitando-se dessa forma de mais fertilizantes. O autor, citando Pratt e Darst (1987), menciona dados que indicam a necessidade de quantidade maior de nutrientes e a aplicação contínua para manter os níveis de produção. Esses dados indicam, para a grama-bermuda, remoção de nutrientes na faixa de produção de 6 a 12 t/ha de matéria seca, respectivamente, de N = 270 a 540, P = 30 a 60, K = 250 a 498, S = 30 a 60, e Mg = 48 a 96 kg/ha. Nos estudos realizados em São Carlos (Figura 4), também se verifica que a extração de nutrientes aumenta com as doses de N, sendo considerável essa remoção mineral. O teor mineral de N, K, Ca, Mg, Cu e Zn aumenta, porém o de P reduz com o incremento nas doses de N (Tabela 10).

Na Figura 3, verifica-se que a maior extração de potássio nos tratamentos com 500 e 1.000 kg/ha de N, nos quais as doses de K foram maiores por causa da maior produção de forragem, reflete a maior quantidade aplicada de K por ocasião das aplicações de N. Como houve redução no incremento de produção de forragem, especialmente na dose mais elevada de N na forma de nitrato de amônio, essa maior extração de K sinaliza um consumo de luxo.

Tabela 9. Qualidade da forragem de capim-coastcross influenciada por duas fontes e doses de N no ano agrícola de 1998-1999.

Dose kg/ha/ corte	Uréia							Nitrato de Amônio						
	PB	FDN	DIVMS	Ca	Mg	P	K	PB	FDN	DIVMS	Ca	Mg	P	K
	%		g/kg					%		g/kg				
1º corte														
0	7,7	84,3	60,3	3,0	1,5	2,8	18,0	7,7	84,3	60,3	3,0	1,5	2,8	18,0
25	8,2	87,8	62,9	2,9	1,6	2,8	19,1	10,2	84,0	64,4	3,1	1,7	2,9	21,6
50	10,7	83,2	63,6	3,2	1,7	2,8	20,9	11,6	82,0	65,0	3,2	1,8	3,0	24,1
100	12,3	89,2	67,4	3,3	1,9	3,1	23,5	15,3	80,5	70,4	3,3	2,0	3,1	27,7
200	15,8	83,6	69,5	3,5	2,0	3,1	24,0	19,8	75,9	72,2	3,7	2,5	3,3	33,9
2º corte														
0	10,9	83,2	56,8	3,6	1,7	2,8	12,8	10,9	83,2	56,8	3,6	1,7	2,8	12,8
25	11,5	83,1	60,7	3,9	2,1	2,7	14,6	11,9	84,0	60,5	3,9	2,1	3,1	11,4
50	13,0	80,9	63,7	3,8	2,4	3,2	18,4	13,9	82,4	62,8	4,4	2,6	3,5	16,8
100	14,9	81,7	63,6	4,1	2,6	3,3	20,3	15,8	81,1	65,5	3,9	2,5	3,3	28,1
200	18,8	79,1	67,8	4,0	2,8	3,1	26,4	21,1	77,8	65,5	4,2	3,1	3,1	30,9
3º corte														
0	13,2	81,6	67,5	4,2	2,2	3,5	22,2	13,2	81,6	67,5	4,2	2,2	3,5	22,2
25	13,1	81,2	66,5	4,2	2,3	3,6	22,5	13,7	79,8	68,3	4,1	2,3	3,5	24,6
50	14,2	80,0	72,0	4,2	2,3	3,7	24,9	13,6	79,9	68,4	4,0	2,4	3,4	25,8
100	15,3	81,2	72,5	4,2	2,6	3,5	28,9	18,6	76,9	72,8	4,4	3,0	3,1	29,6
200	19,7	80,4	72,7	4,5	3,0	3,3	30,3	21,5	77,8	74,0	4,3	3,1	2,7	34,4
4º corte														
0	11,1	82,2	63,9	3,8	2,1	3,6	15,7	11,1	82,2	63,9	3,8	2,1	3,6	15,7
25	11,9	82,5	63,4	3,8	2,2	3,6	19,7	11,6	82,7	64,1	3,8	2,1	3,5	22,4
50	11,8	81,7	63,4	3,6	2,1	3,3	19,2	13,4	83,0	63,4	4,2	2,5	3,2	22,1
100	14,4	82,1	66,7	4,0	2,5	3,0	24,3	16,9	82,6	66,4	4,1	2,9	2,6	25,3
200	17,9	80,6	68,6	4,2	3,0	2,6	23,7	19,8	79,7	69,4	4,4	3,1	2,7	29,7
5º corte														
0	12,0	80,6	65,8	4,1	2,3	3,2	21,0	12,0	80,6	65,8	4,1	2,3	3,2	21,0
25	11,2	81,2	65,3	4,2	2,3	3,0	22,1	12,0	82,2	66,0	4,3	2,5	3,3	25,2
50	12,6	82,7	65,7	3,9	2,3	2,9	25,1	13,4	83,7	65,8	4,0	2,6	2,6	28,3
100	15,5	83,1	65,9	4,2	2,7	2,7	32,6	18,5	81,4	67,7	4,2	3,0	2,6	33,7
200	19,4	80,7	66,8	4,3	3,0	2,8	34,1	20,5	79,3	67,5	4,2	2,9	2,6	35,6
Média														
0	11,0	82,4	62,9	3,7	2,0	3,2	17,9	11,0	82,4	62,9	3,7	2,0	3,2	17,9
25	11,2	83,2	63,8	3,8	2,1	3,2	19,6	11,9	82,5	64,7	3,8	2,1	3,3	21,0
50	12,5	81,7	65,7	3,7	2,2	3,2	21,7	13,2	82,2	65,1	4,0	2,4	3,2	23,4
100	14,5	83,5	67,2	4,0	2,5	3,1	25,9	17,0	80,5	68,6	4,0	2,7	2,9	28,9
200	18,3	80,9	69,1	4,1	2,8	3,0	27,7	20,5	78,1	69,7	4,2	2,9	2,9	32,9
DMS:	Doses e períodos							0,57	1,26	1,26	0,18	0,15	0,11	1,79
DMS:	Fontes de N							0,30	0,67	0,67	0,10	0,08	0,06	0,95

DMS = diferença mínima significativa (Tukey).

Tabela 10. Médias dos teores de nutrientes na forragem de capim-coastcross em 1998-1999.

Dose N kg/ha/Corte	N	P	S	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe
	g/kg						mg/kg			
Uréia										
0	16,5	3,0	3,1	16,8	3,5	1,8	6,3	18	85	275
25	16,8	3,0	3,2	18,4	3,6	2,0	6,3	18	87	198
50	18,7	3,0	3,1	20,3	3,5	2,0	7,2	19	77	224
100	21,7	2,9	3,4	24,2	3,7	2,3	8,5	20	77	126
200	27,3	2,8	3,1	25,8	3,8	2,6	9,0	20	71	132
Nitrato de amônio										
0	16,5	3,0	3,1	16,8	3,5	1,8	6,3	18	85	275
25	17,9	3,1	3,2	19,7	3,6	2,0	6,6	19	79	154
50	19,8	3,0	3,4	22,0	3,7	2,2	7,4	21	78	126
100	25,6	2,8	3,2	27,1	3,7	2,5	8,7	21	77	124
200	30,7	2,7	3,0	30,7	3,9	2,7	10,0	24	90	109

Obs.: Doses de N aplicadas cinco vezes.

Para elevadas colheitas de forragem (tratamento com 500 kg/ha de N, dose maior considerada viável técnica e economicamente; 14 a 17,5 t/ha de MS) e para ambos os fertilizantes, a extração de macronutrientes foi maior para K (341 e 367 kg/ha) e N (319 e 446 kg/ha), respectivamente para uréia e nitrato de amônio, seguidos por Ca, S, P e Mg. A extração de micronutrientes ocorreu na seguinte ordem decrescente: Fe, Mn, Zn e Cu. Esse fato reforça a afirmação (Silva, 1995) de que N é um dos elementos mais limitantes no solo, bem como possui papel fundamental na modulação da resposta à adubação mineral.

Pode-se concluir que elevadas colheitas de forragem de capim-coastcross necessitam de elevadas reposições de nutrientes, a fim de evitar declínio na produtividade da pastagem e garantir sua persistência, sendo a uréia adequada para suprir a forragem com N.

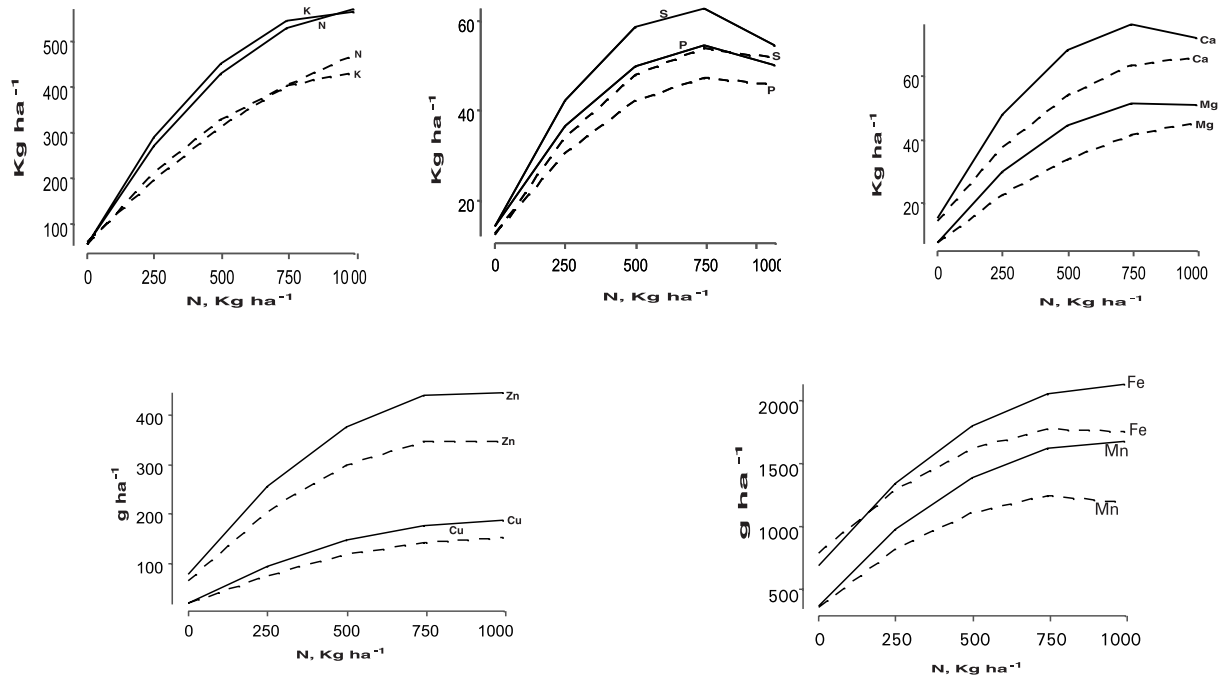


Figura 4. Regressão polinomial quadrática ajustada para a extração de macro (kg/ha) e micronutrientes (g/ha) extraídos por forragem de capim coastcross adubado com uréia (linhas tracejadas) e nitrato de amônio (linha cheia).

Perdas de nitrato no solo

No ano agrícola de 1998-1999, os teores de NH_4 não mostraram diferenças entre fontes, doses de N e profundidades de solo ($P > 0,05$). No caso do NO_3 , foi detectada diferença altamente significativa ($P < 0,01$) entre o nitrato de amônio e a uréia, em especial na dose de 200 kg/ha de N ($P < 0,01$). As maiores variações ocorreram nas primeiras camadas até 100 cm ($P < 0,01$), embora pudesse ser verificada tendência de lixiviação de NO_3 em profundidades maiores, nas doses acima de 100 kg/ha por corte (Tabela 11), em amostragem realizada no final do quinto período de corte, no final do período das chuvas, em abril.

Tabela 11. Teores de NO_3 e NH_4 no solo, em função das doses de N aplicadas (cinco aplicações), em 1998-1999.

Profundidade cm	Testemunha		N-Uréia				N-Nitrato de amônio			
	0		50		200		50		200	
	NO_3	NH_4	NO_3	NH_4	NO_3	NH_4	NO_3	NH_4	NO_3	NH_4
	kg/ha/corte de N									
	mg/kg									
0-10	2,0	11,8	2,3	9,5	5,5	9,0	0,3	10,5	14,0	6,8
10-20	1,0	9,3	2,8	10,0	6,3	9,5	0,8	9,0	22,0	7,5
20-40	1,5	6,8	1,0	7,3	3,0	7,3	0,3	7,8	12,0	7,5
40-60	1,0	7,5	1,3	4,8	2,5	6,5	0,8	5,5	16,8	5,0
60-80	1,0	6,3	2,0	4,5	2,0	5,5	0,8	5,5	17,3	4,8
80-100	1,3	5,5	1,0	5,8	0,8	5,5	1,0	5,3	10,5	5,3
100-120	1,0	5,8	0,5	5,5	1,0	6,3	0,5	5,8	7,8	6,0
120-140	1,5	5,0	1,0	6,3	1,3	6,0	1,0	5,8	4,8	5,3
140-160	0,5	6,5	1,3	4,0	0,8	5,3	1,0	5,0	2,3	4,5
160-180	0,5	5,3	1,5	6,0	0,8	6,0	0,8	5,3	2,5	4,0
180-200	1,3	4,3	0,8	5,8	0,5	5,8	0,0	4,3	2,8	4,3
Soma 100 cm	7,8	47,2	10,4	41,9	20,1	43,3	4,0	43,6	92,6	36,9
Soma 200 cm	12,6	74,1	16,5	69,5	24,5	72,7	7,3	69,8	112,8	61,0
DMS para NO_3 :	Fontes de N			0,79**						
	Doses			0,99**						
	Profundidades			2,41**						

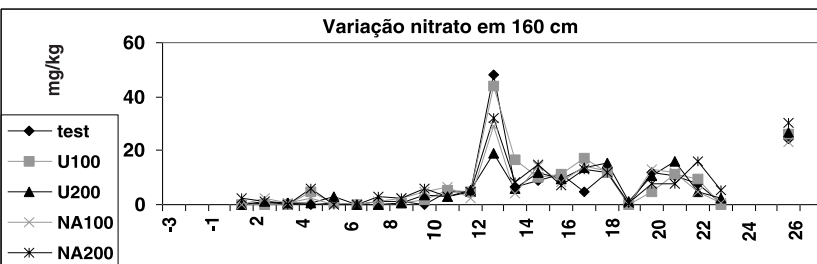
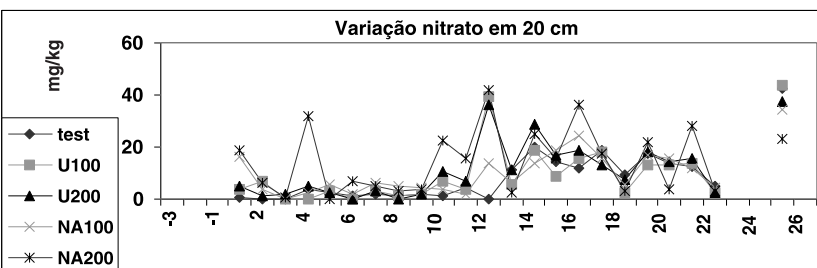
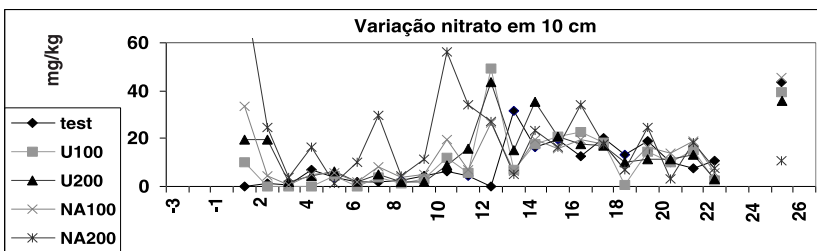
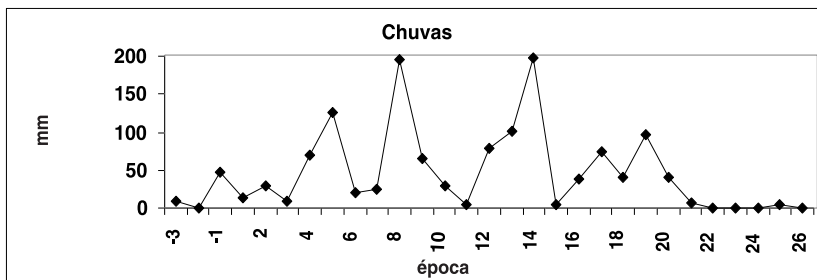
DMS = diferença mínima significativa (Tukey).

Estudos posteriores realizados em períodos consecutivos de sete dias (Figura 4), durante todo o período das chuvas, mostraram que os níveis de nitrato variaram ($P < 0,01$) com as fontes e as doses de N. O nitrato de amônio resultou em teores mais elevados, especialmente na dose de 200 kg/ha/corte de N. A maior variação no teor de nitrato ocorreu nas camadas superiores do solo ($P < 0,01$), até 20 cm de profundidade, com tendência de movimentação do nitrato para profundidades abaixo de 100 cm para as doses de N maiores do que 100 kg/ha por corte. Pode ser esperado baixo risco potencial de contaminação do lençol freático com NO_3 nesses solos profundos com as doses mais eficientes de N, iguais ou menores do que 100 kg/ha por corte. Problemas poderão surgir em pastagens com lençol freático superficial ou perto de áreas de nascentes.

Torna-se difícil identificar o fator que determina os pulsos de nitrato no solo, já que há envolvimento de fatores abióticos, tais como chuvas, períodos secos seguidos de chuva, temperatura máxima e mínima, aplicação de adubos nitrogenados, e de fatores bióticos, tais como decomposição de tecido vegetal ou fase fenológica, com desenvolvimento mais intenso da forrageira e biomassa microbiana do solo – constituindo sumidouros de nitrogênio –, e morte de biomassa microbiana e mineralização de material orgânico – constituindo fontes de N.

Comparando-se o perfil de distribuição semanal das chuvas e os picos de nitrato na camada de 0 a 10 cm (Figura 4), verifica-se que ocorre defasagem de uma semana entre os picos de chuva e o pico de nitrato originado do nitrato de amônio. Já o pico de nitrato originado da uréia parece ocorrer com defasagem de até três semanas com relação ao pico de chuvas, sugerindo envolvimento de atividade biológica intensa no processo de disponibilidade de nitrato.

Na Figura 5, podem ser verificados diferentes sinais de interferentes na dinâmica do nitrato no perfil do solo. Os picos nas camadas superficiais ocorrem preferencialmente em períodos secos, antes e após o período das chuvas e dentro do período



Aplicação de N (x) e datas de amostragem
00- 10/11/99 X
01- 17/11/99
02- 24/11/99
03- 01/12/99
04- 08/12/99
05- 16/12/99 X
06- 22/12/99
07- 29/12/99
08- 05/01/00
09- 11/01/00 X
10- 19/01/00
11- 26/01/00
12- 02/02/00
13- 09/02/00
14- 15/02/00 X
15- 23/02/00
16- 01/03/00
17- 08/03/00
18- 14/03/00 X
19- 22/03/00
20- 29/02/00
21- 05/04/00
25- 02/05/00

Figura 5. Chuvas, NO₃ no solo, épocas de aplicação de N e datas de amostragem.

chuvoso, independentemente da aplicação de adubos nitrogenados. Isso sugere que, nos períodos mais úmidos, ocorre grande dinâmica de absorção de nitrato pela gramínea forrageira, que pode desenvolver raízes em profundidade, e de imobilização pela população microbiana do solo. Essa última suspeita é reforçada pelo mesmo padrão instantâneo dos picos de nitrato em todo o perfil, em especial quando se verifica que mesmo na parcela testemunha ocorreu um pico intenso na décima segunda semana de amostragem na camada de 160 cm. Esse pico na parcela testemunha pode ser explicado pela liberação de N imobilizado de aplicações nos dois anos anteriores à instalação do experimento, na base de 200 kg/ha/ano de N. Além disso, as parcelas que receberam uréia não apresentaram redução no teor de nitrato, apesar de terem apresentado médias de perda de 28% de N por volatilização, reforçando a idéia de participação complementar do N microbiano.

Mello et al. (1984) mencionaram teores de NO_3 maiores do que 100 mg/kg nas camadas superficiais de solos agrícolas. Neste estudo, o maior teor foi de 81,2 mg/kg de NO_3 , no início das águas, na camada de 0 a 10 cm, na área tratada com 200 kg/ha de N-nitrato de amônio. O baixo teor de NO_3 pode ser explicado parcialmente pela elevada capacidade de extração de N pelas gramíneas tropicais, em virtude do seu elevado potencial de produção de matéria seca. Em pastagens manejadas intensivamente, também ocorre intensa renovação radicular, com maior consumo de N do solo. Pastagens bem manejadas, quando intensamente adubadas de forma rotacionada, parecem apresentar impacto ambiental positivo (Boddey et al., 1996).

Nas condições do estudo, os níveis de nitrato no solo variaram com as fontes e as doses de N, em especial de nitrato de amônio na dose de 200 kg/ha por corte. Mesmo com a aplicação de doses elevadas de nitrogênio em pastagens de capim-coastcross, não houve perda intensa de nitrato em profundidade, à semelhança, em geral, do ocorrido na área testemunha (Tabela

12 e Figura 5). A 160 cm de profundidade, a média da diferença entre a testemunha e as áreas adubadas não passou de 1 mg/kg, indicando não haver perigo iminente para a qualidade ambiental, desde que se trate de solos profundos, sem afloramento de lençol freático, especialmente quando se considera que as doses normalmente utilizadas ficam entre 50 e 100 kg/ha/corte de N. Monitoramento durante 36 meses do teor de nitrato na água, de diferentes corpos de água na microbacia hidrográfica do ribeirão Canchim (Primavesi et al., 2000), indicou haver variação entre 0,03 a 5,1 mg/L com valores médios entre 0,17 e 0,73 mg/L, sendo que a resolução do CONAMA número 20 tolera até 10 mg/L. Constatou-se que parte desse nitrato originou-se da decomposição de material orgânico, chegando a ser medido pico de 0,84 mg/L de nitrato em nascente dentro de mata mesófila semidecídua.

Tabela 12. Média do teor de nitrato (mg/kg - 22 semanas) nos diferentes tratamentos e camadas de solo.

Tratamento	Dose N (kg/ha/corte)	Camada, cm								
		10	20	40	60	80	100	120	140	160
NA	200	21 a	14 ab	10	8	8	6	6	6	7
Uréia	200	13 b	10 ab	8	6	6	6	8	7	6
NA	100	12 b	9 b	8	7	6	6	6	6	6
Uréia	100	10 b	8 b	7	8	8	7	6	7	7
Testemunha	0	9 b	7 b	7	5	5	6	6	5	6

NA = nitrato de amônio. Médias acompanhadas das mesmas letras não diferem entre si ao nível de 1% (Tukey).

Tabela 13. Composição química de diferentes insumos agrícolas utilizados nos experimentos com adubos nitrogenados.

el.	unid.	Calc.	FTE	SS1	SS2	KCl1	KCl2	NA	Uréia1	Uréia2
K	mg/g	2,3	23	-	-	423	463	-	-	0,16
Ca	mg/g	252	80	53	139	0,8	-	-	-	0,06
Mg	mg/g	49	-	1	1,8	-	-	1,6	-	-
Fe	mg/g	5	93	12	6,4	1,2	0,42	0,002	0,002	0,011
Ti	mg/g	-	-	2,8	1,7	-	-	-	-	-
Cl	mg/g	-	-	-	0,02	-	101	0,01	-	0,07
Na	mg/g	0,17	0,02	2	0,67	10	17	0,003	0,001	0,009
Zn	µg/g	17	87000	255	-	3,5	1,5	0,8	0,30	1,08
Mn	µg/g	239	6685	497	285	30	3,7	0,5	0,02	0,37
Mo	µg/g	0,9	1181	-	-	-	-	-	0,2	-
Co	µg/g	-	175	7	4,1	0,15	-	0,004	-	0,005
V	µg/g	2,8	-	33	22	-	-	-	-	0,02
Cr	µg/g	8,8	542	45	34	0,84	0,75	0,14	0,03	0,09
Br	µg/g	-	44	37	-	131	630	-	-	-
Rb	µg/g	8,5	-	-	-	121	-	-	-	-
Th	µg/g	1,16	1,15	145	52	-	0,26	-	-	-
Sm	µg/g	-	1,0	146	-	0,2	-	-	-	-
Sc	µg/g	0,89	1,23	17	10	0,12	0,05	-	-	-
Ta	µg/g	-	-	-	6,5	0,03	-	-	-	-
U	µg/g	-	-	30	26	-	-	-	-	-
W	µg/g	0,6	22	-	-	-	-	-	-	-
Sb	µg/g	0,38	53	-	1,76	-	0,01	-	0,01	-
La	µg/g	-	4,8	1036	912	1,3	1,3	-	0,004	-
Eu	µg/g	0,12	-	38	30	0,4	0,07	-	-	-
As	µg/g	2,1	42	6,5	-	-	-	0,001	-	0,007
Se	ng/g	-	-	-	-	-	-	0,5	-	3,6

Obs.: "-" = não detectado; el. = elemento; unid. = unidade; Calc. = calcário dolomítico PRNT 90%; FTE = FTE BR-12; SS1/2 = superfosfato simples lotes 1 e 2; KCl1/2 = cloreto de potássio lotes 1 e 2; NA = nitrato de amônio; Uréia1/2 = uréia lotes 1 e 2. K, Ca, Mg, Fe, Ti, Cl e Na: em mg/g = %, quando divididos por 10; Zn, Mn, Mo, Co, V, Cr, Br, Rb, Th, Sm, Sc, Ta, U, W, Sb, La, Eu, As: em mg/g = ppm, quando divididos por 10.000 = %; Se: em ng/g = ppb. (Laboratório de Radioquímica da Comissão Nacional de Energia Nuclear - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).

Qualidade dos adubos nitrogenados

Considerando-se a necessidade de maior controle de qualidade dos insumos utilizados em sistemas intensivos de produção – a fim de evitar o acúmulo de elementos não-desejáveis, com conseqüentes resultados nocivos ao ambiente e ao produto final –, foram realizadas análises especiais dos insumos utilizados (Tabela 13). Pode ser verificado que os adubos nitrogenados – uréia e nitrato de amônio –, são os que menos problemas potenciais apresentam, podendo as impurezas neles existentes ser oriundas de manipulação extrafábrica, quando obtidas de companhias misturadoras que adquirem o fertilizante a granel.

O maior perigo e a maior necessidade de controle, considerando-se os elementos potencialmente nocivos Cr e As, ocorre com o uso de calcário, em razão das quantidades utilizadas, de FTE e de adubos fosfatados.

Conclusões

Embora os adubos tenham sido diferentes quanto à eficiência nutricional, e havendo queda na eficiência com o aumento das doses de N nos dois adubos, pode-se concluir que:

1) Em sistemas intensivos de produção de bovinos, a aplicação de N na forma de uréia, em pastagens de gramíneas tropicais, pode ser competitiva com outras fontes, em razão de seu menor custo por quilograma de N, bem como do menor custo no transporte e na aplicação.

2) O perigo de perdas de nitrato para o lençol freático é desprezível, nas doses até 100 kg/ha por aplicação de N.

3) Nas doses entre 50 e 100 kg/ha/corte de N, o perigo de acúmulo de nitrato na forragem é desprezível com o uso da uréia.

4) As perdas de N-uréia, na forma de amônia, são reduzidas quando aplicada em solo seco, aumentando quando o teor de água no solo, na camada superficial, ultrapassar a capacidade de campo.

5) As perdas de uréia podem ser reduzidas por chuva em torno de 10 mm nos primeiros três dias após a aplicação.

Recomendações

Considerando-se as condições experimentais ocorrentes, na pastagem de capim-coastcross em Latossolo Vermelho Distrófico típico, com 30% de argila, podem ser feitas as seguintes recomendações de uso de fontes nitrogenadas aplicadas superficialmente:

1) No período das chuvas, em sistemas intensivos de produção com manejo rotacionado de pastagens, pode-se recomendar a uréia, que é uma fonte de N eficiente e economicamente viável.

2) As doses mais adequadas de uréia situam-se entre 50 e 100 kg/ha por aplicação no período das chuvas.

Referências bibliográficas

- BODDEY, R. M.; RAO, I. M.; THOMAS, R. J. Nutrient cycling and environmental impact of *Brachiaria* pastures. In: Wiles, J. W.; Maass, B. L.; Valle, C. B. do, ed., ***Brachiaria: biology, agronomy and improvement***. Cali: CIAT, 1996. p.72-86. (CIAT Publications, 259).
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In: SANTANA, M.B.M. (ed.) SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO NITROGENADA NO BRASIL. 1986, Ilhéus, BA. **Anais...** Ilhéus: Centro de Pesquisa de Cacau e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1986. p.47-79.
- CANTARELLA, H.; SILVA, N. M., ESPIRONELO, A.; TOLEDO, S. V.; RAIJ, B. van; FURLANI, P. R.; QUAGGIO J. A.; CARVALHO, L. I. I.; WUTKE, A. C. P; CERVELLINI, G.; GALLO, P. B.; VILLELA, O. C.; CAMARGO, A. P. Avaliação Agronômica de Fertilizantes Nitrogenados. In: PETROFÉRTIL (Brasília, DF) **Relatório Bial (1984/1985)**. Brasília: EMBRAPA/PETROFÉRTIL, 1986. p.45-58.
- CANTARELLA, H.; SILVA, N. M.; ESPIRONELO, A.; FURLANI, P. R.; WUTKE, A. C. P.; TOLEDO, S. V.; GALLO, P. B.; VILLELA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; BERTON, R. S. Avaliação Agronômica de Fertilizantes Nitrogenados. In: PETROFÉRTIL (Brasília, DF) **Relatório Bial (1986/1987)**. Brasília: EMBRAPA/PETROFÉRTIL, 1988. p.33-48.
- CORRÊA, L. de A. Potencial de produção das gramíneas forrageiras. In: SEMANA DO ESTUDANTE, 11., 1997, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EMBRAPA-CPPSE, 1997. p.60-70.

- CORRÊA, L. A.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; SILVA, A. G.; CANTARELLA, H. Eficiência agrônômica da uréia aplicada superficialmente na produção de matéria seca de coastcross e no teor de nitrato. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000. CD_ROM, Seção Pôster (Forragicultura). 3p.
- CORSI, M. Pastagem de alta produtividade. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 8., 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1986, p.499-512.
- CORSI, M. Uréia como fertilizante na produção de forragem. In: CORSI, M. **Atualização em manejo de pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 1987. p.81-112.
- CORSI, M. Adubação nitrogenada em pastagens. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C. de; FARIA, V. P. **Pastagens: Fundamentos da exploração racional**. Piracicaba: FEALQ, 1994. p.121-155.
- GOMES, J. F.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JR., P. Avaliação da produtividade e economicidade do feno de capim-pangola (*Digitaria decumbens* Stent) fertilizado com nitrogênio. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.16, n.6, p.491-499, 1987.
- GOMIDE, J. A.; LEÃO, M. I.; UBEID, J. A.; ZAGO, C. P. Avaliação de pastagens de capim-colonião e capim-jaraguá. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.13, n.11, p.1-9, 1984.
- MARASCHIN, G. R. Manejo de plantas forrageiras dos gêneros *Digitaria*, *Cynodon* e *Chloris*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 9., 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1988. p.109-139.

- MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I. COBRA NETTO, A.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1984. 400p.
- MELLO, F. de A. F. de. **Uréia fertilizante**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 192 p.
- MONTEIRO, F. A. Adubação em áreas de *Cynodon* para pastejo e conservação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p.173-202.
- OLSEN, F. J. Effect of large application of nitrogen fertilizer on the productivity and protein content of four tropical grasses in Uganda. **Tropical Agriculture**, v.49, n.3, p.251-260, 1972.
- PRIMAVESI, O.; FREITAS, A. R. de; OLIVEIRA, H. T. de; PRIMAVESI, A. C. P. A. A qualidade da água na microbacia hidrográfica do ribeirão Canchim, São Carlos, SP, ocupada por atividade pecuária. **Acta Limnologica Brasiliensia**, São Paulo, v.12, n.1, p.95-111, 2000.
- QUINN, L. R.; MOTT, G. O.; BISSCHOFF, W. V. A.; ROCHA, G. L. Produção de carne em bovinos submetidos a pastoreio em seis gramíneas tropicais. **Boletim de Indústria Animal**, v.20, p.250-279, 1962.
- RODRIGUES, J. P. Effect of nitrogen application on the yield and composition of forage crops. **J. Agric. Univ.**, v.33, p.98-117, 1959.
- SILVA, S.C. Condições edafoclimáticas para a produção de *Panicum* sp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 12., Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p.129-146.

- TERMAN, G. L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Advances in Agronomy** v.31, p.189-223, 1979.
- URBAN, W. J.; HARGROVE, W. L.; BOCK, B. R.; RAUNIKAR, R. A. Evaluation of urea-urea phosphate as nitrogen sources for no-tillage production. **Soil Science Society American Journal.**, v.51, p.242-246, 1987.
- VICENTE-CHANDLER, J.; SILVA, S.; FIGARELLA, J. The effect of nitrogen fertilization and frequency of cutting on the yield and composition of three tropical grasses. **Agronomy Journal**, v.51, n.4, p.202-206, 1959.
- WERNER, J. C.; PEDREIRA, J. V. S.; CAIELE, E. L. Estudo de parcelamento e níveis de adubação nitrogenada com capim pangola (*Digitaria decumbens* Stent). **Boletim de Indústria Animal**, v.24, p.147-151, 1967.
- WHITEHEAD, D. C. Volatilization of ammonia. In: WHITEHEAD, D. C. **Grassland nitrogen**. Wallingford: CAB International, 1995. p.152-179.



Apoio:



PETROBRAS



**Soluções inovadoras
para a pecuária**

sansuy



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa de Pecuária Sudeste - CPPSE
Ministério da Agricultura e Abastecimento
Rod. Washington Luiz, Km 234, C.P. 339, 13560-970 São Carlos,
Telefone: (0xx16) 261-5611 Fax: (0xx16) 261-5754
Endereço eletrônico: sac@cppse.embrapa.br
Visite a nossa "Home page": www.cppse.embrapa.br*