

## Perda de nitrogênio pela *Brachiaria decumbens* após a antese: relação com a umidade do solo

Nitrogen loss through *Brachiaria decumbens* after anthesis stage: relation with soil moisture

Henrique Coutinho Junqueira Franco<sup>1,IV</sup> Virgínia Damini<sup>I</sup> Ademir Franco<sup>II</sup>  
Milton Ferreira Moraes<sup>II</sup> Paulo Cesar Ocheuze Trivelin<sup>III</sup>

### RESUMO

Com o objetivo de avaliar a perda de N por plantas de *Brachiaria decumbens* no estágio da pós-antese relacionada com a umidade do solo, realizou-se um experimento em casa-de-vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e seis repetições. Os tratamentos do estudo constaram da colheita de plantas nos seguintes estádios e condições de umidade do solo: (a) A60: estágio de antese e com umidade do solo mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água; (b) PA60: estágio de pós-antese ou maturidade com umidade do solo mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água; e (c) PA20: pós-antese com umidade estabelecida após a antese de 20% da capacidade máxima de retenção de água do solo. As plantas de *Brachiaria decumbens*, cultivadas em vasos preenchidos com solo arenoso, foram fertilizadas com sulfato de amônio-<sup>15</sup>N (800mg vaso<sup>-1</sup> de N). As plantas dos tratamentos pós-antese (PA60 e PA20) foram colhidas após 17 dias do início do florescimento. O balanço de N do sulfato de amônio (<sup>15</sup>N) no sistema solo-planta indicou perdas de N, presumivelmente pela parte aérea das plantas de *Brachiaria decumbens*, no estágio de pós-antese (tratamento PA60), da ordem de 25% em relação ao de antese (A60). A perda de N na pós-antese avaliada no tratamento com déficit hídrico (PA20) foi reduzida comparativamente ao PA60, sendo da ordem de 11% em relação ao tratamento A60.

**Palavras-chave:** balanço de <sup>15</sup>N; amônio; perdas de N foliar.

### ABSTRACT

The objective of this research work was to evaluate the N loss through *Brachiaria decumbens* in the stage of post-anthesis related to the soil moisture. The experiment was carried

out in green-house condition and the experimental design was a completely randomized, with three treatments and six replications. Plants of grass-*Brachiaria* were cultivated in pots filled out with sandy soil. The soil of each pot was fertilized with ammonium sulfate-<sup>15</sup>N (800mg vaso<sup>-1</sup> of N). The treatments consisted of harvest of plants in the stages and soil moisture conditions, as following: (a) A60: stage of anthesis and with soil moisture maintained to 60% of the maximum water retention capacity; (b) PA60: post-anthesis stage or maturity with soil moisture maintained to 60% of the maximum retention capacity, and (c) PA20: post-anthesis stage with soil moisture of 20% of the maximum water retention capacity established after the anthesis stage. The plants of the treatments post-anthesis (PA60 and PA20) were harvested after 17 days beginning of the flowering stage. The balance of N from ammonium sulfate (<sup>15</sup>N) in the soil-plant system indicated losses of N, presumably from the aerial part of grass-*Brachiaria* plants in the post-anthesis stage (treatment PA60). These values were of the order of 25% in relation to the anthesis treatment (A60). The N loss in the post-anthesis stage as evaluated in the treatment with water deficits (PA20), it was minimized comparatively to the PA60 and it was of the order of 11% in relation to the treatment A60.

**Key words:** <sup>15</sup>N balance; ammonium; foliar N losses.

### INTRODUÇÃO

O nitrogênio é um elemento muito reativo no solo e dentre os nutrientes essenciais de plantas é o que sofre o maior número de transformações bioquímicas e, conseqüentemente, pode ser perdido

<sup>I</sup>Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP). Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba, SP, Brasil.

<sup>II</sup>Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Piracicaba, SP, Brasil.

<sup>III</sup>CENA/USP, Laboratório de Isótopos Estáveis, Piracicaba, SP.

<sup>IV</sup>Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP). Av. Centenário, 303, CP 96, 13400-970, Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: hjfranco@cena.usp.br. Autor para correspondência.

do sistema solo-planta por vários processos. Dentre as principais formas de perdas ou saídas de N nos agrossistemas, estão a remoção pela cultura; a volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) no solo causada pela mineralização da matéria orgânica ou devido às fertilizações com adubos amídicos-amoniacais; as perdas gasosas de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ) e nitrogênio elementar ( $\text{N}_2$ ), tanto do solo, relacionado aos processos de desnitrificação-nitrificação, como da parte aérea dos vegetais na redutase do nitrato nos cloroplastos; a lixiviação de nitrato no solo para fora do alcance do sistema radicular dos vegetais e, também, as perdas de N pela parte aérea das plantas na forma de  $\text{NH}_3$  (FARQUHAR et al., 1980; HOLTAN-HARTWING & BOCKMAN, 1994; TRIVELIN, 2000).

A perda de N pela parte aérea dos vegetais tem sido considerada como contribuinte para o aumento da concentração de  $\text{NH}_3$  na atmosfera (SUTTON et al., 1993), sendo responsável por 15-20% do total das emissões gasosas de  $\text{NH}_3$  (ASMAN et al., 1998).

A magnitude das perdas de N pela parte aérea das culturas pode variar com a espécie cultivada. Resumindo dados de literatura, WETSELAAR & FARQUHAR (1980) constataram perdas da ordem de 16 a 40, 48, 48, 21 e 42  $\text{kg ha}^{-1}$  de N para as culturas de trigo, arroz, sorgo granífero, algodão e centeio, respectivamente. Para o milho, FRANCIS et al. (1993) encontraram perdas de 45 a 81  $\text{kg ha}^{-1}$  de N, com aplicações de N variando entre 50 e 300  $\text{kg ha}^{-1}$ . Para as culturas de nabo, trigo, cevada e ervilha, SCHJOERRING & MATTSSON (2001) encontraram perdas de 1-5  $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de N- $\text{NH}_3$  em dois anos de cultivo. As perdas de N pela parte aérea de cana-de-açúcar foram estimadas, indiretamente, por NG KEE KWONG & DEVILLE (1994) e TRIVELIN (2000), respectivamente, nas Ilhas Maurício e no Brasil, como sendo da ordem de 100  $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , valor idêntico ao das doses de N aplicadas nas fertilizações de canaviais.

As perdas de N pela parte aérea dos vegetais podem estar relacionadas ao estágio de desenvolvimento da cultura, à disponibilidade de N no solo, à condutância dos estômatos, à temperatura da folha e ao nível de  $\text{NH}_3$  na planta e na atmosfera (PARTON et al., 1988; FRANCIS et al., 1993; SCHJOERRING et al., 1998).

Com relação ao estágio de desenvolvimento dos vegetais, as perdas de N pela parte aérea parecem ser maiores após o florescimento, quando inicia o processo fisiológico de senescência. SCHJOERRING et al. (1989) observaram perdas superiores a 10  $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de N- $\text{NH}_3$  no período entre a antese e a colheita

da cultura de cevada. No entanto, DAIGGER et al. (1976), cultivando trigo de inverno, encontraram perdas que variaram de 25 a 80  $\text{kg ha}^{-1}$  entre a antese e a colheita. Na pós-antese na cultura de soja, foram encontradas perdas de 5,9 a 76,9  $\text{kg ha}^{-1}$  de N (HARPER et al., 1987; PAPAKOSTA & GAGIANAS, 1991). Durante a senescência foliar, que tem início após o florescimento, o aumento da hidrólise de proteínas é acompanhado pela redução nas atividades das enzimas glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT), com o aumento de atividade da glutamato desidrogenase (GDH), principais responsáveis pela assimilação de  $\text{NH}_3$  no metabolismo do nitrogênio nas plantas superiores. A redução na atividade dessas enzimas resulta no aumento da concentração de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) na planta (MATTSSON et al., 1998). Como o  $\text{NH}_4^+$ , em altas concentrações, é tóxico para os vegetais (LEA, 1991; HOLTAN-HARTWING & BOCKMAN, 1994; MATTSSON et al., 1998), essa redução pode resultar em perdas naturais de  $\text{NH}_3$  junto à corrente transpiratória.

Por outro lado, a  $\text{NH}_3$  da atmosfera pode ser absorvida pelos vegetais, após sua dissolução no filme de água que recobre a epiderme foliar e as cavidades estomáticas, principalmente, com a formação do orvalho. A intensidade e o sentido com que ocorrem as trocas de  $\text{NH}_3$  entre as folhas e a atmosfera dependem do ponto de compensação de  $\text{NH}_3$  (FARQUHAR et al., 1980), que pode variar com a temperatura, a intensidade luminosa, o fotoperíodo, com a nutrição nitrogenada da planta, a espécie e a cultivar e o estágio vegetativo da planta (HOLTAN-HARTWING & BOCKMAN, 1994; HUSTED et al., 1996; MATTSSON & SCHJOERRING, 1996; MATTSSON et al., 1997; SCHJOERRING et al., 1998). Para concentrações de  $\text{NH}_3$  na atmosfera abaixo do ponto de compensação de  $\text{NH}_3$  da planta, ocorre sua emissão pelas folhas, para concentrações acima, predomina a absorção foliar de  $\text{NH}_3$  (FARQUHAR et al., 1980; HOLTAN-HARTWING & BOCKMAN, 1994). HUSTED & SCHJOERRING (1996) estabeleceram, em plantas de nabo forrageiro, uma equação termodinâmica de equilíbrio entre concentração de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{H}^+$  no apoplasto das folhas e a concentração de  $\text{NH}_3$  na atmosfera (ponto de compensação de  $\text{NH}_3$ ).

Outro fator que interfere nas perdas de N pela parte aérea dos vegetais é a disponibilidade de água, visto que esta influencia a condutância dos estômatos (WETSELAAR & FARQUHAR, 1980). Provavelmente, o suprimento adequado de água para as plantas também interfere nas perdas de nitrogênio pela parte aérea dos vegetais, porém não foram encontrados na literatura estudos sobre o efeito isolado do déficit hídrico.

Portanto, avaliar a influência do estágio de desenvolvimento de plantas e da intensidade de déficit hídrico na perda de N pela parte aérea das plantas é de relevância na definição de alternativas de manejo que proporcionem maior eficiência da adubação nitrogenada. Assim posto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da umidade do solo no estágio de pós-antese na possível perda de nitrogênio pela parte aérea das plantas de *Brachiaria decumbens*.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa-de-vegetação, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), em Piracicaba, SP, no período de julho a novembro de 2005. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três tratamentos e seis repetições, que corresponderam a: (a) A60 - colheita de plantas na antese com umidade do solo mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água, considerada como referência; (b) PA60 - colheita na fase de pós-antese com umidade do solo mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água; e (c) PA20 - colheita na fase de pós-antese, com umidade do solo estabelecida após a antese em 20% da capacidade máxima de retenção de água.

As parcelas constituíram-se de vasos preenchidos com 4kg de solo secado ao ar, colhido na camada de 0-20cm de um Neossolo Quartzarênico, apresentando: pH (CaCl<sub>2</sub>) 4,1; 4g kg<sup>-1</sup> de M.O.; 1mg dm<sup>-3</sup> de P (resina), 7mg kg<sup>-1</sup> de S-SO<sub>4</sub>, K, Ca, Mg, H+Al, Al, Soma de bases e CTC, respectivamente, de: 0,3; 5; 2; 25; 8; 7; 32mmol dm<sup>-3</sup>.

A acidez e a fertilidade do solo foram corrigidas antes do plantio da *Brachiaria decumbens*. A quantidade de calcário necessário para correção da acidez foi determinada segundo PENATTI & FORTI (1994). Utilizou-se calcário dolomítico (PRNT = 91%), na dose de 1,5g kg<sup>-1</sup> de solo. O corretivo foi aplicado juntamente com 200mg kg<sup>-1</sup> de P na forma de superfosfato triplo, procedendo-se à mistura dos insumos na massa de solo de cada vaso. Posteriormente, foram aplicados ao solo de cada vaso 100mL de solução contendo 150mg kg<sup>-1</sup> de K (cloreto de potássio p.a.), 4mg kg<sup>-1</sup> de Zn (sulfato de zinco p.a.), 4mg kg<sup>-1</sup> de B (ácido bórico p.a.) e 12mg kg<sup>-1</sup> de Cu (sulfato de cobre p.a.). Após as correções de acidez e fertilidade do solo, os vasos foram umedecidos com 500mL de água destilada (80% da capacidade máxima de retenção de água) e incubados nessa umidade por um período de 15 dias. A capacidade máxima de retenção de água do solo foi determinada pelo método do torrão separado pela frente de molhamento descrito por COSTA (1983).

Ao final do período de incubação, em 29/07/2005, foram semeadas, manualmente, 100 sementes de *Brachiaria decumbens* por parcela. As sementes foram plantadas a 1,0cm de profundidade. Em 02/09/2005 realizou-se um corte de uniformização da parte aérea da forrageira a uma altura aproximada de 10cm da superfície do solo. Na mesma data, foi aplicado o fertilizante nitrogenado sulfato de amônio, na dose de 200mg kg<sup>-1</sup> de N, marcado com 3,03% em átomos de <sup>15</sup>N. O N foi aplicado na forma de solução (50mL vaso<sup>-1</sup>), adicionando-se, em seguida, 50mL de água destilada em cada vaso. Durante todo o período experimental, o solo dos vasos foi regado diariamente, mantendo-se a umidade próxima de 60% da capacidade de retenção de água. A umidade dos vasos foi controlada mediante a pesagem diária em balança eletrônica. Os vasos tinham o fundo fechado, não havendo perdas de água ou nutrientes das parcelas por lixiviação.

A colheita das plantas do tratamento A60 (referência) foi realizada em 24/10/2005 (87 dias após o plantio), quando as plantas da forrageira estavam no estágio de início do florescimento (antese). Após 17 dias (10/11/2005) da colheita das plantas do tratamento referência (A60), realizou-se a colheita dos outros tratamentos (PA60 e PA20) no estágio de pós-antese. Na colheita, as plantas de cada parcela foram separadas em parte aérea e raiz. A parte aérea foi cortada rente à superfície do solo. As raízes foram separadas do solo usando-se peneira de malha de 2mm. Posteriormente, após efetuar a retirada do máximo possível de terra aderida às raízes, efetuou-se a lavagem das mesmas para retirada da terra que ainda permanecia aderida. A parte aérea e as raízes das plantas de *Brachiaria decumbens* foram secadas em estufa de circulação forçada à temperatura de 65°C e obtidas as massas totais. Determinou-se a massa total de solo secado ao ar de cada vaso. Subamostras de solo foram retiradas para determinação da umidade em estufa a 105°C (48h).

Na determinação do N total e de abundância de <sup>15</sup>N, as amostras de parte aérea e raiz foram trituradas em moinho tipo Wiley, e subamostras do solo secado ao ar foram passadas em moinho de Bola. Após o preparo das amostras, realizaram-se as determinações de N-total (mg kg<sup>-1</sup> de N) e de abundância de <sup>15</sup>N (% em átomos) em espectrômetro de massas, contendo analisador automático de N, modelo ANCA-SL, 20-20 da PDZ Europa (Krewe, UK).

A recuperação do nitrogênio proveniente do sulfato de amônio (mg vaso<sup>-1</sup>) foi calculada pela expressão:

$$NPPF = [(a - c)/(b - c)] \cdot N \text{ total}$$

em que:

NPPF - Nitrogênio na planta ou no solo proveniente

do N-sulfato de amônio ( $^{15}\text{N}$ ), ( $\text{mg vaso}^{-1}$ );

a - Abundância de  $^{15}\text{N}$  (% em átomos) na planta ou solo;

b - Abundância de  $^{15}\text{N}$ -sulfato de amônio (3,03 % em átomos de  $^{15}\text{N}$ );

c - Abundância natural de  $^{15}\text{N}$  (0,367 % em átomos de  $^{15}\text{N}$ );

N total - Conteúdo de nitrogênio na planta ou no solo ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ).

A recuperação percentual do N do sulfato de amônio na planta e no solo foi calculado como:

$$\%R = (\text{NPPF} / \text{D}) * 100,$$

sendo:

D - dose de N aplicada ( $800\text{mg vaso}^{-1}$ ).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias dos tratamentos foi realizada pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,1$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerada a mesma umidade do solo (60% da capacidade máxima de retenção de água), o desenvolvimento da *Brachiaria decumbens*, avaliado pela produção de massa de matéria vegetal seca da parte aérea e da planta toda foi maior em PA60 que na referência (A60) (Tabela 1). Resultados semelhantes foram obtidos por BOLOGNA et al. (2006), avaliando perdas de N pela parte aérea de plantas de trigo, que verificaram maior acúmulo de fitomassa nos estádios mais avançados de desenvolvimento da cultura (pós-antese e maturidade fisiológica), mantida a mesma umidade do solo. Entretanto, neste estudo, o déficit

hídrico induziu a um menor desenvolvimento da parte aérea da forrageira no período de pós-antese, causando diferença significativa entre os tratamentos PA60 e PA20 (Tabela 1). Porém, na produção de massa de matéria seca de raízes, não se constatou diferença entre os tratamentos, mas com tendência a apresentar também os menores valores.

Para o acúmulo de N na planta toda (Tabela 1), verifica-se que o N-total de plantas na fase de antese (A60) foi maior que o do tratamento PA60, evidenciando a possível ocorrência de perdas de N durante o período de pós-antese, sendo estas da ordem de 28% do N total em A60. Para o tratamento com déficit hídrico (PA20), observou-se menor redução de N nas plantas da forrageira (16% do N total acumulado) em relação a A60; porém, não houve diferença entre as médias de acúmulo de N desses tratamentos pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade (Tabela 1).

Em experimento realizado em condições semelhantes às do presente trabalho, BOLOGNA et al. (2006) obtiveram para a cultura do trigo perdas de N, entre as fases de pós-antese e maturidade fisiológica, da ordem de 8,4 e 6,8% do nitrogênio total aplicado para a menor e maior dose ( $180$  e  $300\text{mg vaso}^{-1}$  de N), respectivamente. DAIGGER et al. (1976) verificaram redução significativa no acúmulo de N por plantas de trigo no período de pós-antese, sendo que, nove dias após a antese, as plantas passaram de  $135\text{kg ha}^{-1}$  de N para  $100\text{kg ha}^{-1}$  de N, mantendo-se este valor constante até a maturidade fisiológica da cultura. Essa redução no acúmulo de N representou queda de 26% do N em relação ao obtido na fase de antese. Os autores

Tabela 1 - Massa de matéria seca ( $\text{g vaso}^{-1}$ ) e nitrogênio total ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) da raiz, parte aérea e planta toda de capim-*Brachiaria*.

Tratamentos	Matéria seca		
	Raiz	Parte aérea	Planta toda
		$\text{g vaso}^{-1}$	
A60	15,0 a	26,4 b	41,4 b
PA60	16,6 a	40,9 a	57,5 a
PA20	13,5 a	28,9 b	42,3 b
CV (%)	23	11	12
		Nitrogênio total	
		$\text{mg vaso}^{-1}$	
A60	186,8 a	336,8 a	523,6 a
PA60	167,6 a	209,7 b	377,3 b
PA20	184,8 a	252,8 ab	437,6 ab
CV (%)	26	25	23

A60 = colheita na antese com umidade do solo mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água; PA60 = colheita na fase de pós-antese com umidade do solo mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água e PA20 = colheita na fase de pós-antese com umidade do solo estabelecida a 20% da capacidade máxima de retenção de água após a antese. Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 10 % de probabilidade.

constatarem ainda que as perdas de N aumentaram com a dose de N empregada. HOOKER et al. (1980), em experimento de condições controladas (atmosfera), constataram no período de pós-antese que o acúmulo de N diminuiu sensivelmente em plantas de trigo, passando de 14g m<sup>-2</sup> para 10g m<sup>-2</sup>, dez dias após o florescimento. Os autores constataram também aumento na concentração de NH<sub>3</sub> na armadilha montada para capturar gases emitidos pelo sistema solo-planta, em que a concentração de amônia passou de 2mg m<sup>-2</sup>, no momento do florescimento, para próxima de 6mg m<sup>-2</sup> 30 dias após. Com isso, conclui-se que o aumento dos níveis de N-NH<sub>3</sub> na atmosfera controlada foi devido ao decréscimo do N total das plantas de trigo, caracterizando perdas de N pela parte aérea na fase de pós-antese.

Por outro lado, o trigo cultivado em solução nutritiva não apresentou decréscimo no acúmulo de N durante a fase de pós-antese, ocorrendo, inclusive, acúmulo linear de N pelas plantas durante o período experimental (SMITH et al., 1983). Segundo esses autores, a excelente relação entre o fornecimento de água e a ótima nutrição de N, permitiu que as plantas continuassem a fotossíntese e absorvessem mais N, o que compensou possíveis perdas de N pela parte aérea.

A recuperação do <sup>15</sup>N-fertilizante no solo foi de 7 a 9,5%, considerada baixa (Tabela 2) se comparada com outros resultados de pesquisa, em que a recuperação do <sup>15</sup>N-fertilizante no solo, geralmente, é mais elevada. OLIVEIRA (2001) verificou recuperação da ordem de 20% do <sup>15</sup>N-fertilizante no solo após a colheita da parte aérea da *Brachiaria brizantha*.

Com relação à recuperação do <sup>15</sup>N-fertilizante da planta inteira, verifica-se um comportamento semelhante nas perdas de N do isótopo (Tabela 2) em relação às perdas ocorridas com o N total (Tabela 1), tendo-se em vista que as plantas colhidas na fase de pós-antese recuperaram menos <sup>15</sup>N-fertilizante, cerca de 17 (PA20) e 29% (PA60), em relação à testemunha, praticamente os mesmos valores observados para o N total (Tabela 1).

A recuperação do <sup>15</sup>N-sulfato de amônio no sistema solo-planta foi de 66,5% no A60 (Tabela 2), sendo esta a maior observada entre os tratamentos. Este resultado está próximo do obtido por OLIVEIRA (2001) com forrageira do gênero *Brachiaria* (59,6 a 65,3%). É provável que, antes da colheita das plantas do tratamento antese (início do florescimento), possam ter ocorrido perdas de N via parte aérea. Isto porque, nos estádios reprodutivos (pós-antese - início da senescência), há aumento do potencial de emissão de NH<sub>3</sub> devido às mudanças no metabolismo do N no vegetal, uma vez que ocorre maior clivagem de proteínas e aminoácidos nesses estádios (MORGAN & PARTON, 1989). HARPER et al. (1987) evidenciaram, por meio do uso de <sup>15</sup>N, que, após a antese do trigo, metade do nitrogênio do grão proveio da remobilização do N armazenado nos caules e folhas durante o processo de proteólise de proteínas e aminoácidos, no período de maturação das folhas e caules, sendo a outra metade oriunda do solo. Segundo SILVA & STUTTE (1981), a toxicidade de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ocorre em tecidos de plantas quando este íon é acumulado mais rapidamente do que é metabolizado. A conversão em amidas e aminoácidos e a reoxidação de formas de N são consideradas mecanismos para desintoxicar o NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Tabela 2 - Recuperação (mg vaso<sup>-1</sup> e %) do sulfato de amônio aplicado no sistema solo-planta.

Tratamentos	Raiz	Parte aérea	Planta toda	Solo	Solo-Planta
	mg vaso <sup>-1</sup>				
A60	163,7 a	312,0 a	475,7 a	56,2 a	531,9 a
PA60	144,1 a	192,1 b	336,2 b	61,7 a	397,8 b
PA20	163,9 a	230,9 b	394,8 ab	76,1 a	470,9 ab
CV (%)	27	25	23	24	20
	-----%-----				
A60	20,5 a	39,0 a	59,5 a	7,0 a	66,5 a
PA60	19,6 a	25,8 b	45,5 b	7,7 a	54,0 b
PA20	20,5 a	28,9 b	49,3 ab	9,5 a	58,9 ab
CV (%)	25	23	20	24	17

A60 = colheita na antese com umidade do solo mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água; PA60 = colheita na fase de pós-antese com umidade do solo mantida a 60% da capacidade máxima de retenção de água e PA20 = colheita na fase de pós-antese com umidade do solo estabelecida a 20% da capacidade máxima de retenção de água após a antese. Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 10 % de probabilidade.

No estudo da atividade das enzimas glutamato desidrogenase (GDH) e glutamato sintetase (GS) em plantas de nabo forrageiro (*Brassica napus*) na fase de senescência, em condições naturais, WATANABE et al. (1997) verificaram aumento na atividade da enzima glutamato desidrogenase e redução da atividade da enzima glutamato sintetase. Estas enzimas são responsáveis pela formação de  $\alpha$ -cetoglutarato e  $\text{NH}_4^+$  (glutamato desidrogenase) e síntese de glutamina a partir de glutamato e  $\text{NH}_4^+$  (glutamato sintetase). Como consequência, ocorre acúmulo de  $\text{NH}_4^+$  na planta, que, em altas concentrações nos tecidos, é tóxico às plantas, resultando em eliminação de  $\text{NH}_3$  via parte aérea (LEA, 1991; HOLTAN-HARTWING & BOCKMAN, 1994; MATTSON et al., 1998). Resultados semelhantes foram encontrados por MAHESWARI et al. (1992) e SIMPSON & DALLING (1981), que observaram acúmulo de  $\text{NH}_3$  e diminuição no conteúdo de proteína em plantas durante a senescência das plantas.

Durante a senescência das plantas, o  $\text{NO}_2^-$  pode ser acumulado no tecido dos vegetais devido à redução da clorofila (HOOKER et al., 1980). Dessa maneira, o  $\text{NO}_2^-$  seria a fonte para a volatilização de  $\text{NO}_2$  e  $\text{NO}_x$  via corrente transpiratória, resultando em perdas de N via parte aérea das plantas.

As perdas de nitrogênio do sistema foram 11 e 25% maiores nos tratamentos PA20 e PA60, respectivamente, do que no tratamento A60 (Tabela 2). Este resultado evidencia que as perdas de nitrogênio pela parte aérea da cultura ocorreram durante a fase de pós-antese da forrageira, sendo que o déficit hídrico restringiu essas perdas, possivelmente por diminuir a taxa fotossintética, resultando em menor produção de massa seca de forragem (Tabela 1), gerando menor atividade metabólica dentro do vegetal. Com isso, as plantas desdobraram menos proteínas e aminoácidos, proporcionando, então, menores teores de  $\text{NH}_4^+$ . Este fato, aliado a provável redução da evapotranspiração das plantas devido ao estresse hídrico, resultou, portanto, em menores emissões de  $\text{NH}_3$  para a atmosfera via estômato. Resultados semelhantes foram observados por SCHJOERRING & MATTSSON (2001), avaliando emissões de  $\text{NH}_3$  pela parte aérea de plantas de cevada cultivadas sob diferentes níveis de adubação nitrogenada por dois anos consecutivos, sendo que esses autores observaram no ano mais chuvoso o dobro de emissão de  $\text{NH}_3$  encontrada no ano mais seco. HUSTED et al. (1996) avaliaram o efeito da umidade do ar sobre as perdas de N- $\text{NH}_3$  e observaram que estas foram maiores quando as plantas haviam sido submetidas a umidades de 60 e 80%, em relação a 20% de umidade relativa do ar.

Com base nos resultados obtidos, é possível afirmar que as perdas de N pela parte aérea no período de pós-antese da *Brachiaria decumbens* são reais e significativas, e a magnitude destas perdas foi dependente, para as condições do trabalho, da umidade do solo. Maiores informações devem ser geradas em estudos futuros envolvendo a dinâmica do nitrogênio dentro da planta e as interações desta com o ambiente. Isso porque, nas condições brasileiras de solo e clima, são raros os trabalhos que consideram a perda de N pela parte aérea das plantas como uma forma de saída do nutriente do sistema solo-planta.

## CONCLUSÕES

Ocorreram perdas de nitrogênio pela parte aérea das plantas de *Brachiaria decumbens* na fase de pós-antese (PA60) da ordem de 25% em relação à fase de antese (A60).

O déficit hídrico (PA20) minimizou as perdas de N pela parte aérea da forrageira durante a fase de pós-antese, sendo estas de apenas 11% em relação à referência (A60).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas concedidas.

## REFERÊNCIAS

- ASMAN, W.A.H. et al. Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. *New Phytologist*, New York, n.139, p.27-48, 1998.
- BOLOGNA, I.R. et al. Perdas de nitrogênio pela parte aérea de plantas de trigo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.36, p.1106-1111, 2006.
- COSTA, M.A. **Efeito da matéria orgânica em alguns atributos do solo**. 1983. 137f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- DAIGGER, L.A. et al. Nitrogen content of winter wheat during growth and maturation. *Agronomy Journal*, Madison, v.68, p.815-818, 1976.
- FARQUHAR, G.D. et al. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environment: Determination of the ammonia compensation point. *Plant Physiology*, Rockville, v.66, p.710-714, 1980.
- FRANCIS, D.D. et al. Post-anthesis nitrogen loss from corn. *Agronomy Journal*, Madison, v.85, p.659-663, 1993.

- HARPER, L.A. et al. Nitrogen cycling in a wheat crop: Soil, plant and aerial nitrogen transport. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.965-973, 1987.
- HOLTAN-HARTWIG, L.; BOCKMAN, O.C. Ammonia exchange between crops and air. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, Norwegian, Supplement 14, 41p, 1994.
- HOOKER, M.L. et al. Gaseous-N losses from winter-wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.789-792, 1980.
- HUSTED, S.; SCHJOERRING, J.K. Ammonia flux between oilseed rape plants and the atmosphere in response to changes in leaf temperature, light intensity, and humidity – interactions with leaf conductance and apoplastic  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{H}^+$  concentrations. **Plant Physiology**, Rockville, v.112, p.67-74, 1996.
- HUSTED, S. et al. Ammonia compensation points in two cultivars of *Hordeum vulgare* L. during vegetative and generative growth. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v.19, p.1299-1306, 1996.
- LEA, P.J. The inhibition of ammonia assimilation: a mechanism of herbicide action. In: BAKER, N.R.; PERCIVAL, M.P. **Herbicides**. Amsterdam: Elsevier Science, 1991. V.10, cap.8, p.267-298.
- MAHERSWARI, M. et al. Ammonia metabolism in the leaves and ears of wheat (*Triticum aestivum* L.) during growth and development. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v.168, p.310-317, 1992.
- MATTSSON, M.; SCHJOERRING, J.K. Ammonia emission from young barley plants: influence of N source, light/dark cycles and inhibition of glutamine synthetase. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.47, p.477-484, 1996.
- MATTSSON, M. et al. Leaf-atmosphere  $\text{NH}_3$  exchange in barley mutants with reduced activities of glutamine synthetase. **Plant Physiology**, Rockville, v.114, p.1307-1312, 1997.
- MATTSSON, M. et al. Influence of nutrition and metabolism on ammonia volatilization in plants. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.51, p.35-40, 1998.
- MORGAN, J.A.; PARTON, W.J. Characteristics of ammonia from spring wheat. **Crop Science**, Madison, v.29, p.726-731, 1989.
- NG KEE KWONG, K.F.N.K.; DEVILLE, J. Application of  $^{15}\text{N}$ -labelled urea to sugar cane through a drip-irrigation system in Mauritius. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.39, p.223-228, 1994.
- OLIVEIRA, P.P.A. **Manejo da calagem e da fertilização nitrogenada na recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria* sp. em solos arenosos**. 2001. 110f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Curso de Pós-graduação em Ciências, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- PAPAKOSTA, D.K.; GAGIANAS, A.A. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, p.864-870, 1991.
- PARTON, W.J. et al. Ammonia volatilization from spring wheat plants. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p.419-425, 1988.
- PENATTI, C.P.; FORTI, J.A. Calcário e gesso em cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 6., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1994. p.83-98.
- SCHJOERRING, J.K. et al. Nitrogen losses from field-grown spring barley plants as affected by rate of nitrogen application. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.116, p.167-175, 1989.
- SCHJOERRING, J.K. et al. Physiological parameters controlling plant-atmospheric ammonia exchange. **Atmospheric Environmental**, Oxford, v.32, p.491-498, 1998.
- SCHJOERRING, J.K.; MATTSSON, M. Quantification of ammonia exchange between agricultural and the atmosphere: Measurements over two complete growth cycles of oilseed rape, wheat, barley and pea. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.228, p.105-115, 2001.
- SILVA, P.R.F.; STUTTE, C.A. Nitrogen volatilization from rice leaves. II. Effects of source of applied nitrogen in nutrient culture solution. **Crop Science**, Madison, v.21, p.913-916, 1981.
- SIMPSON, R.J.; DALLING, M.J. Nitrogen redistribution during grain growth in wheat (*Triticum aestivum* L.). III. Enzymology and transport of amino acids from senescing flag leaves. **Planta**, New York, v.151, p.447-456, 1981.
- SMITH, T.L. et al. Nitrogen distribution in roots and tops of winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, p.1031-1036, 1983.
- SUTTON, M.A. et al. The exchange of ammonia between the atmosphere and plant communities. **Advances in Ecology Research**, London, n.24, p.301-393, 1993.
- TRIVELIN, P.C.O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: três casos estudados com uso do traçador  $^{15}\text{N}$** . 2000. 143f. Tese (Livre-Docência) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- WATANABE, M. et al. **Changes in the activities of ammonia assimilation enzymes during senescence of *Brassica napus* leaf protoplasts**. In: ANDO, T. et al. (Eds.). INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM, 13., 1997, Tokyo. **Proceedings...** Dordrecht: Kluwer Academic, 1997. p.197-198.
- WETSELAAR, R.; FARQUHAR, G.D. Nitrogen losses from tops of plants. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.33, p.263-302, 1980.