

USO DE NITROGÊNIO EM PASTAGENS: ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO

PATRICIA MENEZES SANTOS*
ALBERTO CARLOS DE CAMPOS BERNARDI*
ANA RITA ARAÚJO NOGUEIRA*
FERNANDO CAMPOS MENDONÇA*
SHERLAN GUIMARÃES LEMOS**
EVELINE DE ABREU MENEZES**
ANDRÉ TORRE-NETO***

1. Introdução

O nitrogênio é, dentre os nutrientes minerais das plantas, aquele que promove os maiores aumentos de produtividade dos sistemas de produção animal em pastagens. A sua introdução no sistema solo-planta-animal pode ser de forma direta, por meio de adubações orgânicas e inorgânicas, ou indireta, a partir da mineralização da matéria orgânica ou da fixação biológica. O nitrogênio pode ainda ser incorporado pela chuva, a partir de compostos nitrogenados presentes na atmosfera.

* Embrapa Pecuária Sudeste.

** Embrapa Pecuária Sudeste/Universidade Federal de São Carlos.

*** Embrapa Instrumentação Agropecuária.

A necessidade de nitrogênio, tanto em termos de quantidade quanto de época, depende do sistema de produção. Desta forma, as estratégias de introdução do nitrogênio no sistema solo-planta-animal não são universais e devem ser analisadas à luz das características de cada sistema em particular.

O objetivo deste trabalho é apresentar algumas estratégias de aplicação de nitrogênio em sistemas de produção animal em pastagens e discutir suas limitações, apontando novos caminhos para o desenvolvimento dessa tecnologia.

2. Sistemas de produção extensivos

Os sistemas extensivos de produção animal em pastagens são caracterizados pelo baixo uso de insumos externos e pela baixa eficiência de uso da terra (produtividade animal por área baixa). Nesses sistemas, as plantas utilizam nitrogênio proveniente da mineralização da matéria orgânica, da reciclagem de nutrientes e da adição, pela chuva, de compostos nitrogenados presentes na atmosfera. Em algumas áreas, principalmente onde se verifica a presença de leguminosas, a fixação biológica também representa importante fonte de nitrogênio.

A matéria orgânica constitui uma fonte natural de N, porém a dinâmica deste nutriente no solo é complexa. Brady (1989) lembra que os microrganismos necessitam de N para a formação de seus tecidos e, por isso, competem com as plantas superiores quando é adicionada ao solo grande quantidade de matéria orgânica com uma relação C/N alta. Nesses casos, a flora heterotrófica se multiplica rapidamente e passa a oxidar o material, liberando dióxido de carbono até que o carbono facilmente oxidável se torne escasso e a população diminua, ocorrendo a nitrificação.

A produtividade dos sistemas extensivos depende, em grande parte, da quantidade de matéria orgânica presente no solo. Esse componente, além de fornecer nutrientes às plantas, interfere em outras características químicas, físicas e biológicas do solo, como, por exemplo, capacidade de troca de cátions, poder tampão, estrutura e capacidade de armazenamento de água e atividade da biomassa microbiana.

O teor de C orgânico de um solo em equilíbrio com a vegetação é uma função das adições e decomposições, ou seja, $C = B \cdot M/K$, onde C é o teor de carbono orgânico em equilíbrio, B é a quantidade de matéria fresca adicionada, M é a taxa de conversão de matéria fresca em carbono orgânico e K é a taxa anual de decomposição de carbono orgânico (Sanchez, 1981).

A taxa de conversão de matéria orgânica fresca em húmus gira em torno de 30 a 50% por ano e é relativamente constante nos diferentes ambientes. Já as taxas de decomposição do húmus (K) dependem de uma série de fatores ligados à atividade dos microrganismos, qualidade do material adicionado e características do solo que podem até certo ponto ser manipulados (Sanchez, 1981).

Dos fatores citados por Sanchez (1981) como determinantes do nível de C orgânico no solo, a quantidade de matéria orgânica fresca adicionada é o mais fácil de ser manipulado. Em áreas superpastejadas, a quantidade de material orgânico fresco adicionada ao solo é reduzida em virtude tanto da menor taxa de crescimento e, conseqüentemente, do menor acúmulo de biomassa da planta como um todo, quanto do menor retorno de material da parte aérea dela. Experimento conduzido por Pagotto (2001) mostra que, em área de capim Tanzânia adubado e irrigado, o desenvolvimento das raízes após o pastejo foi afetado pela intensidade de pastejo. O autor observou que o desenvolvimento de novas raízes foi menor nas áreas com resíduo pós-pastejo de 1.000 kg/ha de matéria seca verde, quando comparado àquele das áreas com resíduos de 2.500 e 4.000 kg/ha de matéria seca verde (Tabela 1). Em pastagens extensivas, o efeito do superpastejo sobre o desenvolvimento do sistema radicular deve ser ainda mais intenso.

Tabela 1. Desenvolvimento do sistema radicular de capim Tanzânia adubado e irrigado em função do resíduo pós-pastejo e da época do ano na profundidade de 0 a 20 cm.

Época do ano	Resíduo pós-pastejo (kg/ha de matéria seca verde)		
	1.000	2.500	4.000
	Massa de raízes (mg/amostra ¹)		
Primavera	22,13B	46,70A	50,36A
Verão	27,42B	45,98A	49,42A

¹ Volume da amostra = 754 cm³.

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si a 7% de significância.

Fonte: Pagotto (2001).

Aumentos na produtividade por meio de bom manejo e adubações adequadas são, portanto, importantes quando se deseja aumentar o teor de matéria orgânica do solo (Havlin e Schlegel, 1989). Em se tratando de sistemas extensivos de produção, o primeiro passo deve ser o planejamento da produção de alimentos volumosos da propriedade, evitando-se a escassez de forragem em períodos críticos, o que leva o produtor a praticar o superpastejo. Revisões sobre o planejamento e a gestão do uso de recursos forrageiros foram apresentadas por Barioni et al. (2003, 2005).

O passo seguinte é a prática de adubações estratégicas, para garantir um aporte mínimo de nitrogênio que confira perenidade ao pasto. A quantidade mínima de nitrogênio necessária para garantir a manutenção do pasto ao longo dos anos e sua frequência de aplicação precisam ser melhor definidas. Inicialmente, uma boa alternativa é substituir a prática de reformas periódicas por adubações com cerca de 50 kg/ha de nitrogênio a cada quatro ou cinco anos. Essa adubação pode ser feita em forma de rodízio, suprimindo uma porcentagem dos pastos a cada ano.

3. Sistemas com diferimento do uso de pastagens

O diferimento de pastagens é uma alternativa para reduzir o efeito da estacionalidade de produção de forragem sobre a produtividade animal. Essa técnica consiste em vedar determinada área de pastagem no final da estação de crescimento, possibilitando, dessa maneira, que a forragem acumulada seja utilizada durante a entressafra.

A aplicação de nitrogênio no solo, no momento da vedação do pasto, pode ser feita de forma estratégica para acelerar o ritmo de crescimento da planta e, conseqüentemente, aumentar a taxa de acúmulo de forragem. Nesse período, no entanto, a ocorrência de chuvas é mais irregular e o risco de veranicos, mais elevado. A Figura 1 mostra que, na maior parte do Estado de São Paulo, a frequência de ocorrência de veranicos com seis ou mais dias é superior a 50% no mês de fevereiro, época recomendada para a vedação de pastos nesse Estado.

A irregularidade das chuvas favorece as perdas de nitrogênio por volatilização da uréia. Primavesi et al. (2001) verificaram que as

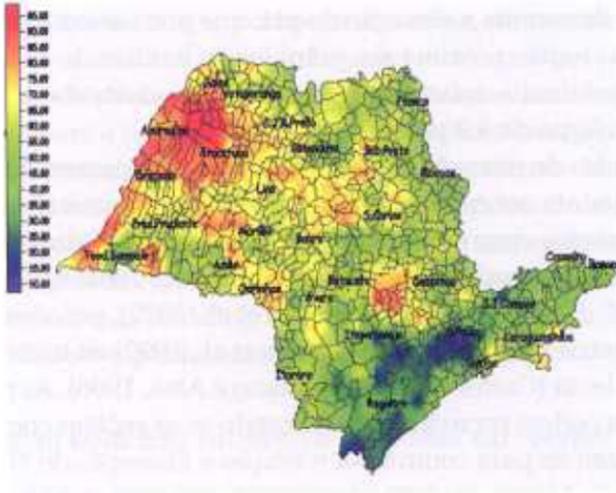


Figura 1. Frequência de ocorrência de veranicos com seis dias ou mais em São Paulo no mês de março.
Fonte: Agritempo (2006).

perdas de nitrogênio por volatilização são maiores quando o grau de umidade do solo no momento da aplicação é elevado, ou seja, quando há ocorrência de chuvas antes da aplicação, e são reduzidas quando ocorrem chuvas nos três primeiros dias após a aplicação.

A quantidade de N perdido por volatilização, após a aplicação de uréia sobre a superfície do solo, pode atingir valores extremos próximos a 80% do N aplicado (Lara Cabezas et al., 1997). Para definir estratégias de adubação para áreas de pastagem com uso diferido é preciso, portanto, conhecer os mecanismos de perda de nitrogênio por volatilização e adotar práticas que reduzam este processo.

O processo de volatilização envolve, de acordo com Rodrigues e Kiehl (1992), inicialmente, a hidrólise da fonte nitrogenada por meio da urease, uma enzima produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, originada de restos vegetais. Como resultado da hidrólise, tem-se a formação de carbonato de amônio. O carbonato de amônio resultante da hidrólise da uréia não é estável e desdobra-se em NH_3 , CO_2 e água. Parte do N-NH_3 formado reage com íons H^+ da solução do solo e com íons H^+ dissociáveis do complexo coloidal, resultando no cátion NH_4^+ . Entretanto, a neutralização da acidez

potencial determina a elevação do pH, que pode atingir valores acima de 7 na região próxima aos grânulos do fertilizante aplicado. Na camada próxima à aplicação do fertilizante, constatou-se aumento do pH em água de 6,9 para 8,7.

As perdas de nitrogênio por volatilização em pastagens com uso diferido podem ser reduzidas pelo uso de fontes menos suscetíveis à volatilização, como as nítricas ou amoniacais (Primavesi et al., 2001, 2004), pela adição de ácidos (Hargrove, 1988) ou sais (Fenn et al., 1987; Sengik e Kiehl, 1995; Vitti et al., 2002), por alterações na granulometria da uréia (Lara-Cabezas et al., 1992) ou tornando-a de liberação lenta (Carter et al., 1986; Wang e Alva, 1986). As perdas de N também podem ser reduzidas utilizando-se as zeólitas como aditivo aos fertilizantes para controlar a retenção e liberação de NH_4^+ .

Zeólitas são minerais alumino-silicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos-terrosos, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas, formadas por tetraedros de AlO_4 e SiO_4 , cujos anéis, ao se unirem, compõem um sistema de canais, cavidades e poros (Ming e Mumpton, 1989). Esses minerais, de ocorrência natural, apresentam três propriedades principais, que são a alta capacidade de troca de cátions, a alta capacidade de retenção de água livre nos canais e a alta habilidade na adsorção, que lhes conferem grande interesse para uso na agricultura.

O princípio da ação da zeólita na conservação do amônio é a diminuição da concentração do elemento na solução por meio da troca de cátions. Além de reter grandes quantidades do íon amônio, esse mineral ainda interfere no processo de nitrificação (Bartz e Jones, 1983; Ferguson e Pepper, 1987).

Existem relatos na literatura mostrando o aumento da eficiência da utilização do nitrogênio, especialmente na forma de uréia, quando utilizado em conjunto com esse mineral. Crespo (1989) mostrou, em um experimento de vaso, que com o uso de 180 g de zeólita (70% clinoptilolita) houve um aumento em torno de 130% da eficiência do uso e da extração de nitrogênio e da produção de matéria seca de *Brachiaria decumbens*.

O desenvolvimento de produtos baseados na mistura de zeólitas com uréia irá certamente aumentar a eficiência do uso dessa fonte nitrogenada pela planta forrageira em períodos de maior risco de

ocorrência de veranicos e, conseqüentemente, de perdas por volatilização.

A prática de adubação de pastagens para uso diferido é uma boa alternativa para a introdução periódica de nitrogênio no pasto, conforme sugerido para pastagens extensivas. Nesse caso, deve-se fazer a 'rotação' da área de uso diferido dentro da propriedade, de tal forma que, ao final de alguns anos, todas as pastagens tenham recebido pelo menos 50 kg/ha de N e tenham ficando um período em pousio. Essa técnica certamente contribui para o aumento dos níveis de matéria orgânica do solo e para a maior perenidade dos pastos.

4. Sistemas com uso intensivo do pasto no 'verão'

Nos sistemas com uso intensivo do pasto no 'verão', o objetivo é explorar o potencial produtivo da planta forrageira. Em condições edafoclimáticas adequadas, o nitrogênio é o fator de maior impacto na produtividade da planta forrageira tropical bem estabelecida e dos animais que a utilizam (Werner et al., 1996; Cantarutti et al., 1999; Cantarella et al., 2002). Tanto para as culturas como para as pastagens, não existe ainda uma recomendação de adubação nitrogenada com base na análise do solo. Nas recomendações já publicadas para adubação de pastagens (Werner et al., 1996; Cantarutti et al., 1999; Vilela et al., 2002), as doses de nitrogênio para manutenção variam de 40 a 300 kg.ha⁻¹ por ano, inferiores aos níveis utilizados em sistemas intensivos descritos por Camargo et al. (2002, 2005), nos quais, sob irrigação, chega-se a utilizar 700 a 1.000 kg.ha⁻¹ de N por ano.

No caso de sistemas intensivos de produção, a recomendação de adubação nitrogenada deveria ser feita com base na expectativa de taxa de lotação animal da área, uma vez que esse nutriente influencia de forma marcante a quantidade de forragem disponível para o pastejo. Alguns técnicos têm utilizado relações empíricas da ordem de 40 a 50 kg/ha de nitrogênio por unidade animal a ser colocada no pasto. Essa recomendação tem atingido relativo sucesso para taxas de lotação entre 3 e 7 UA/ha durante o período de 'verão'.

Além da dose, a época e o parcelamento da adubação nitrogenada em pastagens intensivas também são objeto de pesquisa e discussão. Atualmente, é bem aceito que a adubação nitrogenada seja parcelada

ao longo do 'verão' e que, em áreas sob método de pastejo rotacionado as aplicações sejam feitas a cada ciclo de pastejo. A idéia de parcelamento da adubação nitrogenada durante o período de descanso do pasto, no entanto, ainda gera bastante polêmica.

A produção de massa seca das gramíneas forrageiras é função da densidade populacional de perfilhos e de sua massa. Corsi (1984) estudando o perfilhamento de *Panicum maximum*, verificou que os perfilhos que contribuíram efetivamente para a produção de matéria seca foram emitidos, na quase totalidade, até oito dias após o corte, sendo que a contribuição dos perfilhos emergidos após 16 dias de rebrota foi insignificante para o aumento de produção. O autor concluiu que o N deveria ser fornecido para a planta forrageira na primeira semana após o corte, garantindo o estabelecimento de um número elevado de perfilhos, que contribuiria para a maior produtividade do pasto.

A desfolha da planta forrageira, por outro lado, determina a redução da sua área foliar e da taxa de crescimento do seu sistema radicular. Resultados obtidos por Pagotto (2001) mostram que o aparecimento de raízes novas no capim Tanzânia irrigado demora de 12 a 21 dias dependendo da intensidade de pastejo adotada. Como as raízes novas são mais eficientes em termos de absorção de nutrientes, é provável que a capacidade de absorção de nitrogênio pela planta forrageira aumente ao longo da rebrota.

A partir dessas considerações, as vantagens da aplicação de nitrogênio logo após o pastejo passaram a ser questionadas. Os estudos realizados, no entanto, não têm demonstrado vantagens no parcelamento da adubação nitrogenada sobre a produtividade de forrageiras tropicais (Menezes et al., 2001a, 2001b; Premazzi 1999). Menezes et al. (2001 a), por exemplo, não verificaram efeitos significativos da aplicação parcelada do nitrogênio sobre a produção de capim Tanzânia irrigado (Tabela 2).

Além de os trabalhos científicos não mostrarem vantagens claras do parcelamento da adubação nitrogenada durante o período de descanso em pastagens, essa prática dificulta a operação de aplicação do adubo, principalmente em gramíneas de hábito de crescimento cespitoso.

Tabela 2. Produção de massa seca de capim Tanzânia (média \pm erro padrão da média) em função do parcelamento da adubação nitrogenada no período de verão. T1: aplicação em uma dose no dia da desfolha; T2: aplicação em uma dose 7 dias após a desfolha; T3: aplicação em uma dose 14 dias após a desfolha; T4: aplicação de metade da dose logo no dia da desfolha e 7 dias depois; T5: aplicação de metade da dose no dia da desfolha e 14 dias depois; T6: aplicação de metade da dose 7 e 14 dias após a desfolha; T7: aplicação de um terço da dose após a desfolha, 7 e 14 dias depois.

Tratamentos	Períodos de avaliação				Média
	Nov./dez. 1999	Dez. 1999/ jan. 2000	Jan./ fev. 2000	Fev./ abr. 2000	
	Massa seca (kg.ha ⁻¹)				
T1	2.211 \pm 400	4.129 \pm 586	2.732 \pm 259	2.634 \pm 540	2.927
T2	2.370 \pm 223	3.921 \pm 348	4.201 \pm 681	3.149 \pm 504	3.410
T3	2.058 \pm 401	3.155 \pm 131	3.305 \pm 475	2.534 \pm 228	2.763
T4	2.264 \pm 253	3.497 \pm 326	3.075 \pm 334	3.202 \pm 240	3.010
T5	2.933 \pm 324	3.549 \pm 473	2.359 \pm 62	2.568 \pm 179	2.852
T6	2.469 \pm 354	3.083 \pm 175	2.644 \pm 283	3.103 \pm 635	2.824
T7	2.105 \pm 190	3.689 \pm 360	2.719 \pm 76	2.218 \pm 89	2.683
Média	2.344c	3.575a	3.005b	2.773bc	

Letras diferentes na linha indicam médias diferentes ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: Menezes et al. (2001a)

Os efeitos do parcelamento da adubação nitrogenada sobre a qualidade da forragem e, conseqüentemente, sobre o desempenho dos animais e seus impactos sobre o ambiente também precisam ser melhor investigados. Resultados de pesquisa mostram que a aplicação concentrada de elevadas doses de nitrogênio (a partir de 50 kg/ha de nitrogênio em cada aplicação), principalmente em períodos em que há restrições ambientais para o desenvolvimento da planta forrageira, determina o acúmulo de nitrogênio não protéico na forragem (Primavesi et al., 2001; Balsalobre, 2002). O aproveitamento desse tipo de nitrogênio pelos ruminantes depende do sincronismo com a disponibilidade de carboidratos no rúmen. Nos casos em que isso não ocorre, esse nitrogênio é metabolizado e eliminado com custo energético para os animais, comprometendo seu desempenho. Além disso, o nitrogênio liberado pelos animais pode provocar impactos negativos do sistema de produção animal sobre o ambiente, como o acúmulo de nitrato em lençóis freáticos e corpos d'água.

Em virtude da importância do nitrogênio e do número de estudos que têm sido gerados sobre o assunto, é certo que os métodos de

recomendação de adubação nitrogenada sofrerão alterações nos próximos anos, no sentido de aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção e reduzir os riscos de impacto ambiental negativo.

6. Sistemas com pastagens irrigadas

Em áreas de pastagens irrigadas, o fertilizante nitrogenado pode ser distribuído na forma sólida, manualmente ou com o auxílio de implementos agrícolas, ou na forma líquida, por meio de fertirrigação. Esta é uma técnica complementar à irrigação e muito utilizada na aplicação de fertilizantes em áreas cultivadas e irrigadas. Aumenta a utilidade do sistema de irrigação, que passa a ter dupla função (irrigação e fertilização), e pode facilitar o manejo da fertilidade.

Drumond e Aguiar (2005) enumeram como vantagens da fertirrigação: a economia de mão-de-obra e máquinas; a aplicação no momento exato em que a planta necessita dos nutrientes; a facilidade de parcelamento e controle da aplicação; a possibilidade de aplicação em qualquer fase do ciclo fenológico; a distribuição uniforme com a água de irrigação; a maior flexibilidade nas aplicações; a maior eficiência na utilização dos nutrientes, principalmente os mais móveis; o menor dano físico às culturas; a simplificação de práticas culturais, possibilitando a aplicação simultânea de diferentes produtos (fertilizantes, fitossanitários etc.); e a possibilidade de aplicação de produtos orgânicos, tais como dejetos de suínos e bovinos. Como limitações, os autores apontam a necessidade de aquisição de equipamentos para mistura e injeção de fertilizantes; o elevado custo de adubos líquidos e/ou mais puros; e a ausência de informação sobre dosagens, tipo de fertilizantes, modo e época de aplicação em algumas situações. Além das limitações citadas pelos autores, é importante ressaltar que há a necessidade de mão-de-obra qualificada para a aplicação dos fertilizantes e o controle da irrigação e de equipamentos de irrigação bem dimensionados e que proporcionem boa distribuição de aplicação.

Há uma grande variedade de fertilizantes nitrogenados sólidos e líquidos que podem ser utilizados na fertirrigação, podendo ser exclusivamente nitrogenados ou mistos (Tabela 3). Os mais comuns são: uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, nitrato de potássio, MAP, DAP.

Tabela 3. Fertilizantes nitrogenados solúveis mais utilizados na fertirrigação.

Fertilizante	Forma
Uréia	Sólida
Sulfato de amônio	Sólida
Nitrato de amônio	Sólida
URAN	Líquida
Nitrato de sódio	Sólida
Nitrato de sódio e potássio	Sólida
Nitrato de potássio	Sólida
MAP	Sólida/líquida
DAP	Sólida/líquida
Nitrato de cálcio	Sólida

Fonte: Coelho (1994)

Drumond e Aguiar (2005) afirmam que os fertilizantes sólidos são mais utilizados pela facilidade de aquisição e pelo preço menor, se comparados aos fertilizantes líquidos. Os autores observam que na escolha dos fertilizantes sólidos é importante considerar os seguintes aspectos:

- Solubilidade: utilizar fertilizantes bem solúveis e observar a compatibilidade em caso de mistura de fertilizantes.
- Pureza: um alto grau de pureza evita o entupimento de bocais dos aspersores.
- Corrosividade: fertilizantes muito corrosivos podem causar danos aos equipamentos, principalmente às partes metálicas. É necessário manter o sistema de irrigação funcionando por algum tempo após o término da fertirrigação, para lavagem do equipamento.

Os fertilizantes líquidos facilitam a aplicação de N em qualquer cultivo. Esses fertilizantes podem apresentar-se na forma de soluções claras, soluções coloidais e misturas em suspensão (Boaretto et al., 1991; Vitti et al., 1993; Coelho, 1994).

As soluções claras nitrogenadas são a forma mais comum de adubo fluido, e o principal representante é o URAN. São totalmente solúveis em água e agilizam a aplicação, por reduzir a necessidade de agitação para a mistura com água.

As soluções coloidais utilizadas em fertirrigação no Brasil geralmente são compostas pela reação do ácido ortofosfórico com amônia anidra. Alguns exemplos são as misturas 06-30-00 e 10-30-00, que podem

ser utilizadas diretamente ou na composição de outras formulações fluidas, tais como a mistura com URAN e cloreto de potássio.

As misturas em suspensão são obtidas por meio da mistura de elementos simples fluidos com cloreto de potássio. Coelho (1994) afirma que tais misturas são feitas a frio, sem reação química. Apenas parte do potássio permanece em solução, e a maior parte dele é mantida em suspensão por meio da adição de argilas (exemplos: atapulgita e bentonita). Esse tipo de fertilizante pode ser utilizado em sistemas de irrigação por aspersão, desde que a mistura seja mantida sob constante agitação no reservatório de fertilizantes.

Os dejetos e outros resíduos da produção animal também podem ser utilizados como fertilizantes, desde que recebam tratamento prévio adequado.

Dejetos líquidos de suínos têm sido utilizados na fertirrigação de pastagens e, se bem manejados, podem constituir uma alternativa econômica importante para as propriedades rurais, sem comprometimento da qualidade ambiental (Drumond e Aguiar, 2005). A Tabela 4 mostra a composição média dos dejetos de suínos apresentada por Konzen (2002).

Tabela 4. Composição química média dos dejetos de suínos de acordo com o teor de sólidos.

Nutriente	Sólidos no dejetos (%)					
	0,72	1,63	2,09	2,54	3,46	4,37
Quantidade de nutrientes (kg.m ⁻³ ou kg.t ⁻¹ de dejetos)						
Nitrogênio (N)	1,29	1,91	2,21	2,52	3,13	3,75
Fósforo (P ₂ O ₅)	0,83	1,45	1,75	2,06	2,68	3,29
Potássio (K ₂ O)	0,88	1,13	1,25	1,38	1,63	1,88
NPK	3,00	4,49	5,21	5,96	7,44	8,92

Fonte: Konzen (2002).

Drumond (2003) realizou experimento de aplicação de dejetos líquidos de suínos em pastagem de Tifton 85, verificando uma variação significativa da produção de matéria seca de acordo com a dose de dejetos aplicada. O autor afirma que a aplicação de dejetos na dose de 200 m³.ha⁻¹ aumentou cerca de duas vezes a produção de matéria seca em relação ao tratamento testemunha (apenas irrigação). Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores (Azevedo, 1991;

Barnabé, 2001; Rosa et al., 2002), atestando o potencial fertilizante dos dejetos líquidos de suínos.

Esses trabalhos de pesquisa demonstram o potencial de uso dos dejetos de suínos e de outros animais domésticos na recuperação de pastagens e produção animal a pasto. Dejetos de bovinos também podem ser aplicados, via fertirrigação, seja proveniente de confinamentos ou de salas de ordenha. Deve-se, entretanto, utilizar sistemas de sedimentação de sólidos, principalmente para retirar partículas de areia e outros sólidos mais pesados que a água.

7. Tendências para o futuro

A falta de parâmetros seguros e de uma metodologia bem definida para a recomendação de adubação nitrogenada é o primeiro fator limitante para a definição de estratégias de aplicação mais eficientes em sistemas intensivos. O nitrogênio do solo disponível para a absorção das plantas é proveniente de sua fração orgânica, uma vez que os minerais não apresentam nitrogênio em sua composição. Apesar da importância da fração orgânica para a fertilidade e produtividade dos solos tropicais, as técnicas de análise química adotadas atualmente concentram-se em sua fração mineral; o único parâmetro relativo à fração orgânica determinado em análises de rotina é o teor de carbono orgânico, utilizado para estimar a porcentagem de matéria orgânica do solo a partir de sua multiplicação por um fator de correção (% matéria orgânica = % C orgânico \times 1,7).

A determinação direta de nitrato em amostras de terra coletadas pontualmente, por outro lado, não pode ser adotada como parâmetro para recomendações de adubação, pois os resultados são muito variáveis. Primavesi et al. (2001) verificaram que os teores de nitrato em pastagens de capim Coastcross variavam ao longo do tempo, em virtude de fatores como precipitação pluvial, temperatura, atividade da biomassa microbiana e aplicação de fertilizantes (Figura 2).

Atualmente, as análises químicas de solo para fins de fertilidade são executadas em numerosas etapas (tomada da amostra, extração, separação de interferentes etc.). Esse processo deve ser realizado por pessoal qualificado em laboratórios centrais de análise. Sua complexidade limita o número de amostras a analisar, o custo é muito maior

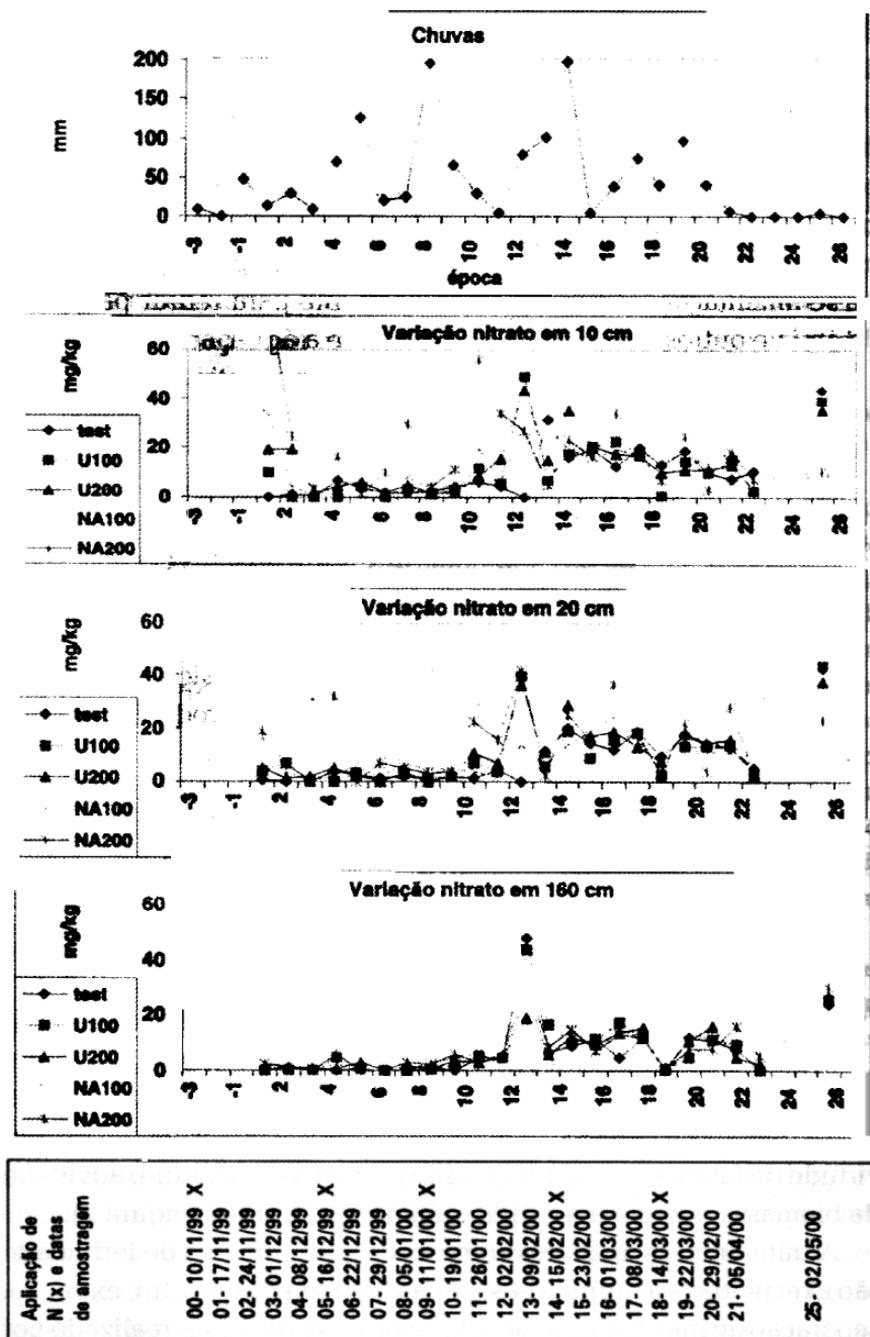


Figura 2. Chuvas, NO₃ no solo, épocas de aplicação de N e datas de amostragem. Fonte: Primavesi et al. (2001).

por análise e impede um monitoramento em tempo real do processo de fertilização/assimilação/empobrecimento que se verifica nas terras de cultivo, tanto intensivo quanto extensivo.

O objetivo das pesquisas nesse campo está voltado à obtenção de informações sobre as propriedades do solo ou da planta sem a necessidade de métodos de extração e análises caras e demoradas. Dentre as tecnologias desenvolvidas, as de pesquisa mais promissora estão na área de sensoriamento. Nos últimos anos, foram desenvolvidos instrumentos baseados no contato direto ou sensoriamento remoto próximo do solo ou da planta. A grande vantagem dos sensores está na sua robustez, seu tamanho reduzido, versatilidade e baixo custo de produção. São dispositivos de funcionamento simples, se comparados a outras técnicas analíticas, como a cromatografia ou a espectroscopia, possibilitando a criação de sistemas de análise *in situ* (Madou e Morrison, 1989).

Uma situação hipotética ideal em análise de solo para fins de fertilidade e acompanhamento dos processos ocorrentes nos cultivos é mostrada na Figura 3. Com a utilização de sensores diretamente no solo, coletam-se informações tais como a concentração de nutrientes de

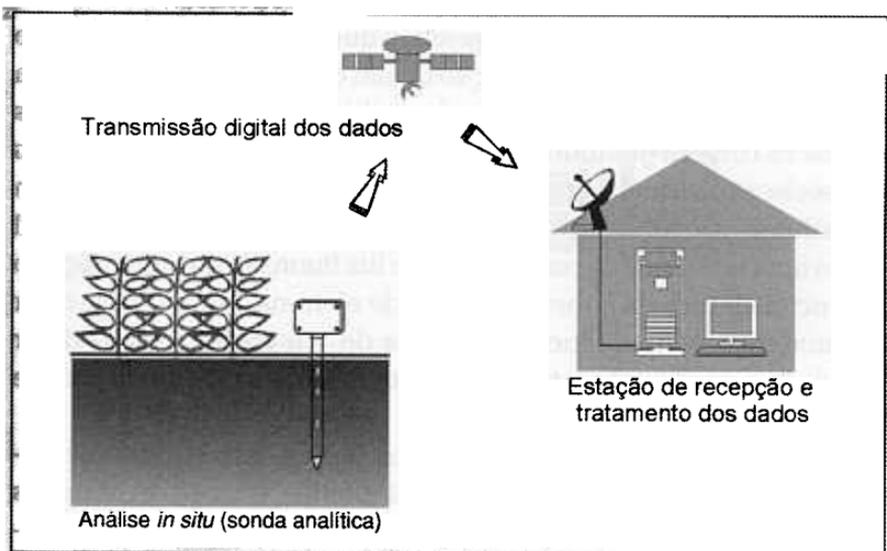


Figura 3. Sistema de monitoramento das variáveis físico-químicas do solo. Análise direta *in situ* com o uso de sensores químicos e físicos e transmissão digital.

interesse (nitrogênio, potássio e outros), o pH do solo, a temperatura e o teor de umidade, dentre outras, sendo todos esses dados transmitidos via rádio e recebidos em uma estação de aquisição, armazenamento e tratamento, onde o operador (agricultor e/ou pesquisador) está apto a tomar as decisões quanto ao desenvolvimento da produção.

Com esse processo, a análise do solo é realizada de maneira contínua e específica, obtendo-se informações de diferentes pontos do campo e possibilitando uso racional e controlado, que depende das condições e características do terreno, do cultivo e do rendimento da produção que se deseja, características de uma tendência atual na agricultura e muito popular nos países desenvolvidos que se denomina agricultura de precisão.

A Embrapa Pecuária Sudeste e a Universidade Autônoma de Barcelona, em parceria com a Embrapa Instrumentação Agropecuária e o Departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos, estão desenvolvendo um sistema de análise de solos baseado na utilização de sensores químicos (eletrodos íon-seletivos) e sensores de temperatura para a determinação de parâmetros físico-químicos diretamente no solo, transmissão digital dos sinais gerados via rádio e aquisição dos dados em forma de planilha eletrônica.

Um sensor químico é um dispositivo que transforma a informação química, variação da concentração de um componente específico da amostra para análise, em um sinal analiticamente útil. Os sensores químicos contêm geralmente dois componentes básicos conectados em série: um sistema químico de reconhecimento (receptor) e um transdutor físico-químico. A reação química produz um sinal, tal como uma mudança de cor, emissão de luz fluorescente, mudança do potencial elétrico da superfície, fluxo de elétrons, produção de calor ou mudança da frequência oscilatória de um cristal. O transdutor responde a esse sinal e o transforma em uma medida da quantidade do composto analisado (Figura 4).

No exemplo que será descrito, foram utilizados sensores que respondem a uma mudança do potencial elétrico, ou seja, os sensores eletroquímicos. A construção dos sensores e detalhes sobre a instrumentação eletrônica desenvolvida para a aquisição dos sinais são descritos na literatura (Lemos et al., 2004a; Lemos et al., 2004b).

A avaliação da sonda incluiu a observação do comportamento

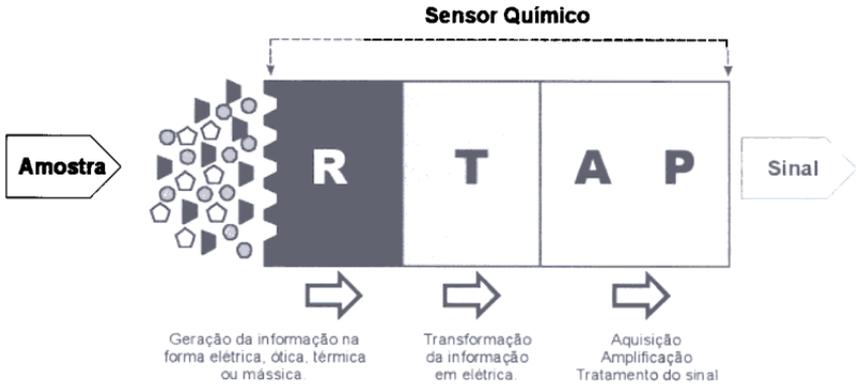


Figura 4. Funcionamento de um sensor químico: R: elemento de reconhecimento; T: transdutor elétrico; A: aquisição e amplificação do sinal; P: processamento do sinal.

de sua resposta no solo, da instrumentação eletrônica e do perfil do nitrato após a adição de soluções contendo esse analito ao solo. O esquema para a realização dessa etapa é o demonstrado na Figura 5, onde se pode observar a sonda instalada dentro de um tubo de PVC preenchido com solo. O tubo possui três saídas laterais (conexões

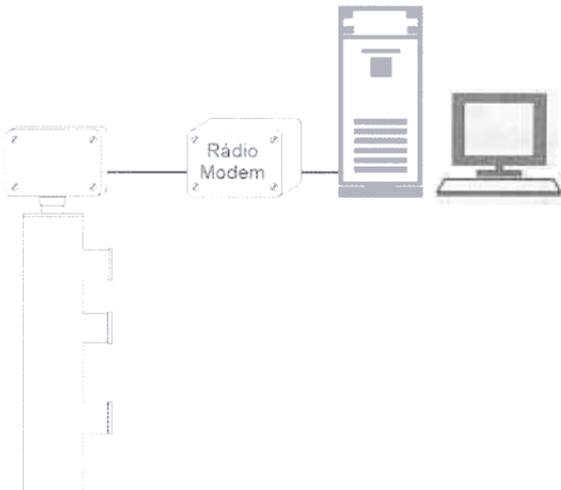


Figura 5. Esquema de montagem para a avaliação da sonda em laboratório: (A) sonda de análise; (B) sistema de aquisição e tratamento dos dados; (C) tubo de PVC com aberturas a 15, 30 e 60 cm de altura.

em T), situadas na mesma altura em que os sensores estão fixados na sonda, possibilitando a coleta de amostras de solo para a determinação de nitrato em laboratório, para efeito de comparação. A sonda está interligada a um sistema de conversão e transmissão dos dados, sendo ambos alimentados por uma bateria de 12 V.

Durante um período de 36 horas, variações na concentração de nitrato foram impostas e amostras foram tomadas simultaneamente a cada altura correspondente aos sensores, sendo os teores de nitrato dessas amostras determinados por método padrão, que emprega a extração de nitrato com cloreto de potássio e destilação (método Kjeldhal) (Keeney e Nelson, 1982).

Comparações entre os resultados provenientes do método padrão e os resultados dos sensores mostram tendências similares, como observado na Figura 6. Isso confirma que os sensores apresentam resposta satisfatória e demonstra a viabilidade do uso da sonda para o monitoramento das tendências de infiltração dos nutrientes do solo de maneira pontual e automatizada.

As sondas podem vir a ser utilizadas como ferramenta para auxiliar

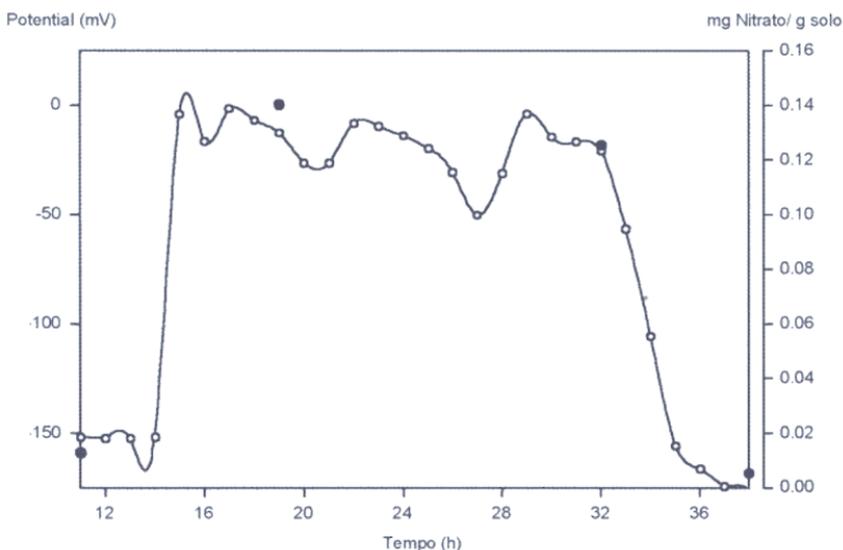


Figura 6. Resultados obtidos a 15 cm de profundidade usando (○) a sonda de nitrato e (●) pelo método Kjeldahl.

na obtenção de informações de interesse agrônomo, promovendo o estabelecimento de procedimentos racionais e controlados de cultivo. Com o conhecimento da distribuição dos nutrientes no solo, é possível evitar problemas como a contaminação dele e das águas superficiais, causados por nitrato percolado de solos agrícolas, decorrente da utilização excessiva de fertilizantes, o que pode ocasionar problemas como a eutrofização das águas, além de outros relacionados à saúde humana. A calibração desses equipamentos para fins de recomendação de adubação, no entanto, exige o envolvimento de equipes multidisciplinares.

8. Considerações finais

As estratégias para introdução de nitrogênio no sistema solo-planta-animal variam de acordo com o sistema de produção adotado. Pressões ambientais e a busca por sistemas de produção mais sustentáveis devem determinar mudanças nas atuais estratégias de adubação nitrogenada em sistemas de produção animal a pasto.

9. Referências bibliográficas

- AGRITEMPO. Sistema de monitoramento agrometeorológico. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br>. Acesso em: 11/05/2007.
- AZEVEDO, M. L. A. Utilização de esterco de suínos *in natura* em pastagem de capim gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.). Viçosa, 1991. 74p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa.
- BALSALOBRE, M. A. A. Valor alimentar do capim Tanzânia irrigado. Piracicaba, 2001. 113p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BARIONI, L. G.; MARTHA Jr., G. B.; RAMOS, A. K. B.; VELOSO, R. F.; RODRIGUES, D. C. de; VILELA, L. Planejamento e gestão do uso de recursos forrageiros na produção de bovinos em pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 20., 2003, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Fealq, 2003. p. 105-53.
- BARIONI, L. G.; RAMOS, A. K. B.; MARTHA Jr., G. B.; FERREIRA, A.C.; SILVA, F. A. M.; VILELA, L.; VELOSO, R. F. Orçamentação forrageira e ajustes em taxas de lotação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 22., 2005, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Fealq, 2005. p. 217-43.
- BARNABÉ, M. C. Produção e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu adubada com dejetos líquidos de suínos. Goiás, 2001. 93p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás.
- BARTZ, J. K.; JONES, R. L. Availability of nitrogen to sudangrass from ammo-

- nium-saturated clinoptilolite. *Soil Science Society of America Journal*, v. 47, p. 259-62, 1983.
- BOARETTO, A. E.; CRUZ, A. P.; LUZ, P. H. C. **Adubo líquido: produção e uso no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1991. 100p.
- BRADY, M. C. **Natureza e propriedades do solo**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.
- CAMARGO, A. C.; NOVO, A. L. M.; NOVAES, N. J.; ESTEVES, S. N.; MANZANO, A.; MACHADO, R. Produção de leite a pasto. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 18., 2001, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Fealq, 2002. p. 285-319.
- CAMARGO, A. C.; RIBEIRO, W. M. Características da produção de leite na agricultura familiar. In: SIMPÓSIO SOBRE BOVINOCULTURA LEITEIRA, 5., 2005, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Fealq, 2005. p. 29-41.
- CANTARELLA, H.; CORREA, L. A.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. Fertilidade do solo em sistemas intensivos de manejo de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 19., 2002. Inovações tecnológicas no manejo de pastagens. *Anais...* Piracicaba, Fealq, 2002. p. 99-131.
- CANTARUTTI, R. B.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, M. M.; FONSECA, D. M.; ARRUDA, M. L.; VILELA, H.; OLIVEIRA, F. T. T. Pastagens. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação)**. Viçosa, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 332-41.
- CARTER, M. F.; VLEK, P. L. G.; TOUCHTON, J. T. Agronomic evaluation of new urea forms for flooded rice. *Soil Science Society America Journal*, v. 50, p. 1055-60, 1986.
- COELHO, A. M. Fertilização. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. (eds.). **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Embrapa-CNPMS, Embrapa-SPI: Brasília, 1994. p. 201-20.
- CORSI, M. **Effects of nitrogen rates and harvesting intervals on dry matter production, tillering and quality of the tropical grass *Panicum maximum***, Jacq. Ames, 1984. 125p. Thesis (Ph.D.). Ohio State University.
- CRESPO, G. Effect of zeolite on the efficiency of the N applied to *Brachiaria decumbens* in a red ferrallitic soil. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 23: 207-12, 1989.
- DRUMOND, L. C. D. **Aplicação de água residuária de suinocultura por aspersão em malha: desempenho hidráulico e produção de matéria seca de Tifton 85**. Jaboticabal, 2003. 102p. Tese (Doutorado em Agronomia). FCAV/Unesp.
- DRUMOND, L. C. D.; AGUIAR, A. P. **Irrigação de pastagem**. Uberaba: L. C. D. Drumond, 2005. 210p.
- FENN, L. B.; MALSTROM, H. L.; WU, E. Ammonia losses from surface-applied urea to urea application rates, plant residue and calcium chloride addition. *Fertilizer Research*, v. 12, p. 219-27, 1987.
- FERGUSON, G.; PEPPER, I. Ammonium retention in soils amended with clinoptilolite. *Soil Science Society of America Journal*, v. 51, p. 231-4, 1987.
- HARGROVE, W. L. Soil environmental and management factors influencing

- ammonia volatilization under field conditions. In: BOCK, B. R.; KISSEL, D. E. (eds.). **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Muscle Shoals: Tennessee Valley Authority, 1988. p. 17-36. (Bulletin, Y-206).
- KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. Nitrogen – Inorganic forms. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy/Soil Science Society of Agronomy, 1982. v. 2, p. 643-98 (ASA. Agronomy, 9).
- KONZEN, E. A. Aproveitamento de adubo líquido da suinocultura na produção agropecuária. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12., Uberlândia, 2002. **Anais...** Uberlândia: Abid, 2002. 4p.
- LARA-CABEZAS, W. A. R.; TRIVLELIN, P. C. O.; BOARETTO, A. E. Efeito do tamanho de grânulo e relação N/S da uréia aplicada em superfície na volatilização de amônia sob diferentes umidades iniciais do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 409-13, 1992.
- LARA-CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 489-96, 1997.
- LEMO, S. G.; NOGUEIRA, A. R. A.; TORRE-NETO, A. A agricultura na era da informação: desafios e propostas para automação em análises de solos. **Analytica**, v. 8, p. 42-50. 2004a.
- LEMO, S. G.; NOGUEIRA, A. R. A.; TORRE-NETO; PARRA, A.; ARTIGAS, J.; ALONSO, J. In-soil sensor system. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 5810-5, 2004b.
- MADOU, M. J.; MORRISON, S. R. **Chemical sensing with solid state devices**. Academic Press: San Diego, 1989.
- MENEZES, M. J. T.; MARTHA Jr., G. B.; PENATI, M.; QUEIROZ NETO, F.; CORSI, M. Produtividade do capim Tanzânia irrigado em resposta à época de adubação nitrogenada após a desfolha. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001a. p. 349-51.
- MENEZES, M. J. T.; MARTHA Jr., G. B.; PENATI, M.; QUEIROZ NETO, F.; CORSI, M. Efeito da época de adubação nitrogenada do capim Tanzânia irrigado após a desfolha sobre o peso e número de perfilhos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001b. p. 348-9.
- MING, D. W.; MUMPTON, F. A. Zeolites in soils. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (eds.). **Minerals in soil environments**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 873-911.
- PAGOTTO, D. S. **Comportamento do sistema radicular do capim Tanzânia sob irrigação e submetido a diferentes intensidades de pastejo**. Piracicaba, 2001. 51p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- PREMAZZI, L. M.; MONTEIRO, F. A.; SCHIAVUZZO, P. F.; BENETTI, I. Doses de nitrogênio e momento de aplicação após o corte em características fisiológicas do Tifton 85. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL "GRASSLAND

- ECOPHYSIOLOGY AND ECOLOGY", Curitiba, 1999. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1999. p. 336-9.
- PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A. G.; FREITAS, A. R.; VIVALDI, L. J. Adubação nitrogenada em capim Coastcross: efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 68-78, 2004.
- PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; PRIMAVESI, A. C.; CANTARELLA, H.; ARMELIN, M. J. A.; SILVA, A. G.; FREITAS, A. R. **Adubação com uréia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross sob manejo rotacionado: eficiência e perdas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 42p. (Circular Técnica, 30).
- RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 403-8, 1992.
- ROSA, B.; BARNABÉ, F. H. G. A.; SILVA, L. T. **Utilização de dejetos líquidos de suínos como fonte de NPK para o capim braquiário (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu)**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., Recife, 2002. **Anais...** Recife: UFRPE, 2002. (CD-ROM).
- SANCHEZ, P. A. **Suelos del Tropico**. Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1981. 634p.
- SENGIK, E.; KIEHL, J. C. Controle da volatilização de amônia em terra tratada com uréia e turfa pelo emprego de sais inorgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 455-61, 1995.
- VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G.; MACEDO, M. C. M. Calagem e adubação para pastagens. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2002. p. 367-82.
- VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fontes de fertilizantes e fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FERTILIZANTES FLUIDOS. Piracicaba, 1993. **Anais...** Piracicaba: Esalq/Cena, Potafos, 1993. p. 233-56.
- VITTI, G. C.; TAVARES JR., J. E.; LUZ, P. H. C. et al. Influência da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 663-71, 2002.
- WANG, F. L.; ALVA, A. K. Ammonium adsorption and desorption in sandy soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 64, p. 1669-74, 2000.
- WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N. O.; QUAGGIO, J. A. Forrageiras. In: RALJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. p. 261-73 (Boletim Técnico, 100).