

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA PROVENIENTE DE UREIA
PROTEGIDA EM BRACHIARIA IRRIGADA**

**Alexia Morello da Silva Cascaldi
Engenheira Agrônoma**

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA PROVENIENTE DE UREIA
PROTEGIDA EM BRACHIARIA IRRIGADA**

Alexia Morello da Silva Cascaldi

Orientador: Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)

2017

C336v Cascaldi, Alexia Morello da Silva
Volatilização de amônia proveniente de ureia protegida em
Brachiaria irrigada / Alexia Morello da Silva Cascaldi. -- Jaboticabal,
2017
vii, 28 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Rogério Teixeira de Faria
Coorientador: Luiz Fabiano Palaretti
Banca examinadora: Jairo Osvaldo Cazetta, Fábio Olivieri de
Nóbile
Bibliografia

1. NH₃. 2. Nitrogênio. 3. Pastagem. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.41:633.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA PROVENIENTE DE UREIA PROTEGIDA EM BRACHIARIA IRRIGADA

AUTORA: ALEXIA MORELLO DA SILVA CASCALDI


ORIENTADOR: ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA

COORIENTADOR: LUIZ FABIANO PALARETTI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. FÁBIO OLIVIERI DE NOBILE
Departamento de Agronomia / UNIFEV / Barretos/SP


Prof. Dr. JÁIRO OSVALDO CAZETTA
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 28 de julho de 2017

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela benção da vida e pelas oportunidades de evolução e aprendizado.

À minha mãe Rosângela, pelo amor, apoio e dedicação. Aos meus familiares e amigos, pelo amparo e momentos de alegria.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP de Jaboticabal, por me proporcionar a Graduação e o Mestrado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de Mestrado concedida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria e ao meu coorientador Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti, pela confiança, dedicação, ensinamentos e amizade.

Ao Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta, pela disponibilidade em auxiliar neste trabalho, pelas orientações e amizade. Ao Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira, pelo auxílio na análise estatística.

Aos meus queridos companheiros de laboratório: João, Miquéias, Izabela e Geffson, por toda ajuda, conselhos e companheirismo. Não seria o mesmo sem vocês!

Aos funcionários João Carlos Trentin, Carlos Henrique Aleixo e José Carlos de Freitas, pelo auxílio (em campo e em laboratório) durante a condução do experimento.

Meu eterno carinho e gratidão a todos!

SUMÁRIO

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Adubação nitrogenada.....	3
2.2 Volatilização de amônia.....	4
2.3 Redução das perdas por volatilização.....	6
2.4 Ureia revestida.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	9
3.2 Esquema experimental.....	10
3.3 Manejo da irrigação.....	10
3.4 Quantificação da amônia volatilizada.....	12
3.5 Análise química da solução do solo.....	14
3.6 Condições climáticas.....	14
3.7 Umidade do solo.....	16
3.8 Análise estatística.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 Amônia volatilizada.....	18
4.2 Solução do solo.....	22
5. CONCLUSÕES	23
6. REFERÊNCIAS	24

VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA PROVENIENTE DE UREIA PROTEGIDA EM BRACHIARIA IRRIGADA

RESUMO - O nitrogênio é um nutriente essencial para as culturas, entretanto seu aproveitamento está sujeito a muitas perdas no sistema solo-planta-atmosfera. Alguns compostos têm sido utilizados com o propósito de reduzir essas perdas, aumentando a eficiência dos fertilizantes nitrogenados. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da utilização do estabilizante de ureia NZone Max, em relação às perdas por volatilização de amônia (NH_3) e lixiviação de nitrato (NO_3^-), em cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, adubada com ureia, sob quatro lâminas de irrigação. Os tratamentos consistiram das lâminas de irrigação correspondentes a 0,20; 0,40; 0,60 e 0,80 da evapotranspiração de referência, com adição ou não de estabilizante de ureia, com aplicação de 100 kg ha^{-1} de N. O delineamento experimental foi em faixa com parcela subdividida, com lâminas na parcela e estabilizante na subparcela, com 4 repetições. A coleta da amônia volatilizada foi feita com câmaras coletoras instaladas em cada parcela, para posterior quantificação em laboratório. Foram também coletadas amostras da solução do solo para análise química. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação de médias foi feita pelo teste Tukey (5%). A quantidade de amônia volatilizada foi crescente até o terceiro dia após a adubação, quando atingiu os maiores valores, diminuindo a partir de então, tanto na presença quanto na ausência do estabilizante de ureia, para as 4 lâminas de irrigação. A menor lâmina apresentou a maior quantidade de amônia volatilizada, enquanto que a maior lâmina foi a de menor volatilização. Não houve diferença entre os tratamentos com e sem o uso do estabilizante, tanto para a quantidade de amônia volatilizada, quanto para os valores de nitrato, amônio, N-total, pH e condutividade elétrica da solução do solo. Portanto, a adição do estabilizante NZone Max à ureia não promoveu redução das perdas por volatilização de amônia e lixiviação de nitrato.

Palavras-chave: NH_3 , nitrogênio, pastagem

AMMONIA VOLATILIZATION FROM COATED UREA IN IRRIGATED BRACHIARIA CROP

ABSTRACT - Nitrogen is an essential nutrient for crops, however its use is subject to many losses in the soil-plant-atmosphere system. Some compounds have been used for the purpose of reducing these losses, increasing the efficiency of nitrogen fertilizers. The objective of this work was to evaluate the effect of NZone Max urea stabilizer in relation to losses by ammonia (NH_3) volatilization and nitrate (NO_3^-) leaching in a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu crop, fertilized with urea, under four irrigation depths. The treatments consisted of irrigation depths corresponding to 0.20, 0.40, 0.60 and 0.80 of the reference evapotranspiration, with and without urea stabilizer, with application of 100 kg ha^{-1} of N. The treatments were arranged in a split-plot strip design, with irrigation depths in the plot and stabilizer in the subplot, with 4 replications. The volatilized ammonia was collected with chambers installed in each plot, for subsequent quantification in the laboratory. Soil solution samples were also collected for chemical analysis. The data were submitted to analysis of variance by the F test and the means were compared by the Tukey test (5%). The amount of volatilized ammonia increased until the third day after fertilization, when it reached the highest values, decreasing thereafter, both in the presence and absence of the urea stabilizer, for the 4 irrigation depths. The lower irrigation depth presented a higher amount of volatilized ammonia, while the higher depth was lower volatilization. There was no difference between the treatments with or without stabilizer, for the amount of ammonia volatilized, as well as for the nitrate, ammonium, N-total, pH and electrical conductivity of the soil solution. Thus, the addition of the NZone Max stabilizer to the urea did not promote reduction of the losses by ammonia volatilization and nitrate leaching.

Keywords: NH_3 , nitrogen, pasture

1. INTRODUÇÃO

O pasto constitui a forma mais prática e econômica de produção e oferta de alimentos na pecuária brasileira (FERRAZ; FELÍCIO, 2010). Entretanto, a degradação de áreas de cultivo de pastagens, a baixa taxa de lotação e a ineficiência do processo produtivo são os principais desafios a serem superados pela pecuária nacional. Quando se associa o potencial genético das forrageiras tropicais, o manejo adequado da fertilização do solo e o suprimento das necessidades hídricas das plantas, torna-se possível reverter esse cenário.

A água é considerada o fator mais limitante para forrageiras, pois o déficit hídrico acarreta menor produção de forragem, diminuindo a capacidade de lotação do pasto, além de prejudicar os aspectos nutricionais das plantas (OLIVEIRA et al., 2016). Assim, a prática da irrigação por aspersão em pastagem pode contribuir para o aumento da produção de forragem e para a melhoria da fertilidade do solo (LOSS et al., 2013).

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes necessários para o desenvolvimento das forrageiras, sendo essencial para a produção de biomassa. Nesse contexto, a adubação nitrogenada promove a melhora das características estruturais e produtivas de forrageiras como a braquiária, o que inclui altura da planta, densidade de perfilhos e acúmulo de massa seca (SILVA et al., 2013). A complexa dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera faz com que esse nutriente seja muito suscetível a perdas, o que, aliado à baixa eficiência de aproveitamento dos fertilizantes, provoca aumento dos custos de produção e impacta o meio ambiente (SANTOS et al., 2016). As perdas de N que mais contribuem para a ineficiência da fertilização nitrogenada em pastagens são aquelas em que o N do solo é perdido para a atmosfera na forma de amônia (NH_3) (SOARES FILHO et al., 2015).

As perdas de nitrogênio podem ser mitigadas pela adição de compostos químicos aos fertilizantes nitrogenados, com potencial de reduzir a volatilização, aumentando, assim, sua eficiência de uso e reduzindo o impacto ambiental. Esses compostos podem atuar em processos enzimáticos e microbianos do solo, como é o caso dos inibidores de urease (enzima que realiza a hidrólise da ureia), sendo os mais utilizados o NBPT (N-(n-butil) tiossulfônico triamida), ácido bórico e sulfato de

cobre. Há também compostos de lenta liberação ou liberação controlada, que promovem a liberação gradual do nitrogênio no solo, acompanhando a necessidade da cultura, reduzindo, assim, a possibilidade de perdas por excesso, sendo em sua maioria compostos por polímeros e enxofre elementar (FERREIRA, 2012; CANCELLIER et al., 2016).

O NZone Max é um produto da empresa americana AgXplore, que quando adicionado à ureia, tem o propósito de potencializar a amonificação por meio da estabilização do NH_4^+ e inibição da nitrificação (AGXPLORE, 2015). Segundo o fabricante, o NZone Max possui em sua formulação, dentre outros componentes, o Alkylarylpolioxetileno glicol, um polímero que reveste o grânulo da ureia, promovendo sua lenta liberação.

Na literatura ainda há poucos estudos sobre a utilização desses compostos, sendo que muitos deles apresentam resultados inconsistentes, devido à complexidade dos fatores ambientais, biológicos e de manejo envolvidos no processo. Os dados obtidos ainda são insuficientes para determinar em que momento sua utilização é vantajosa e, assim, possibilitar sua adequada recomendação, sendo necessários novos estudos que verifiquem o efeito desses compostos.

Neste contexto, para verificar a hipótese de que o NZone Max é eficiente em mitigar as perdas por volatilização de amônia (NH_3) e lixiviação de nitrato (NO_3^-), este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adição desse produto à ureia, em relação às perdas por volatilização de NH_3 e lixiviação de NO_3^- , em cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, sob quatro lâminas de irrigação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Adubação nitrogenada

O nitrogênio (N) faz parte da composição de inúmeras moléculas de grande importância como proteínas, aminoácidos, enzimas, ATP, NADH e NADPH, sendo, por isso, um elemento essencial para as plantas (HARPER, 1994). Além de fazer parte de diversos compostos nas plantas, o N desempenha várias funções, tais como: estrutural, enzimática e de reserva, o que faz com que a deficiência desse nutriente provoque alterações no metabolismo, desarranjando a vida das plantas (MALAVOLTA, 2006).

No solo, o nitrogênio sofre diversas reações químicas e biológicas, podendo ser absorvido pelas plantas, imobilizado por microrganismos ou perdido para a atmosfera ou por infiltração. Essa grande dinâmica no sistema solo-planta-atmosfera torna muito difícil o manejo da adubação nitrogenada, fazendo do nitrogênio o nutriente de manejo e recomendação mais complexos (CANTARELLA; DUARTE, 2004; SCHIAVINATTI et al. 2011). Além disso, a maioria dos adubos nitrogenados são muito solúveis em água, sendo liberados no solo em formas prontamente disponíveis para as plantas, que são também as formas mais suscetíveis a perdas (FERREIRA, 2012). Os principais tipos de perdas que o nitrogênio está sujeito são: erosão, lixiviação, volatilização e desnitrificação (MALAVOLTA, 2006).

A disponibilidade de nitrogênio, bem como seu aproveitamento pelas plantas depende da fonte utilizada, época de aplicação e condições climáticas durante o crescimento das culturas (REDDY; REDDY, 1993). Os fertilizantes nitrogenados apresentam elevado custo de produção e baixa eficiência de aproveitamento pelas plantas, onerando os custos dos sistemas produtivos e contaminando o meio ambiente, se utilizados de maneira inadequada (SANTOS et al., 2016). Sendo assim, é importante o conhecimento a respeito da fertilização nitrogenada, possibilitando uma maior eficiência desses fertilizantes e, conseqüentemente, maior produtividade dos cultivos (PRANDO et al. 2013). Além disso, o manejo adequado da adubação nitrogenada tem menor impacto ambiental, propiciando menores níveis

de acidificação do solo, eutrofização das águas, poluição do lençol freático e salinização de áreas agrícolas (BITTENCOURT, 2009)

A ureia é um dos mais importantes fertilizantes nitrogenados, sendo o mais usado no Brasil, o que se deve ao menor custo por unidade de N em relação aos demais adubos que fornecem esse nutriente, pela alta solubilidade e pelo fato dos produtos de sua hidrólise serem bem assimilados pelas plantas (RODRIGUES et al., 2016). Todavia, este fertilizante é o que possui maior potencial de perdas, o que pode comprometer sua eficiência, principalmente se aplicado na superfície do solo, sem incorporação (SENGIK; KIEHL, 1995; PEREIRA et al. 2009; RODRIGUES et al., 2016).

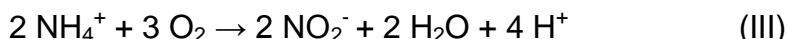
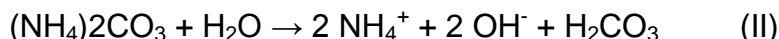
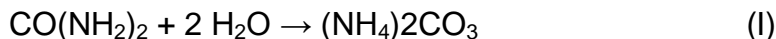
As perdas gasosas são os principais contribuintes para a ineficiência das fontes nitrogenadas, uma vez que o nitrogênio é perdido para a atmosfera na forma de amônia (NH_3) e óxido nitroso (N_2O), ao invés de ser absorvido e utilizado pelas plantas (SANTOS et al., 2016). A volatilização de amônia é a principal forma de perda do nitrogênio proveniente da ureia e, portanto, o principal fator de ineficiência desse fertilizante (TASCA et al., 2011).

2.2 Volatilização de amônia

A volatilização de amônia refere-se à passagem da amônia para a atmosfera, segundo a equação: $\text{N-NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{N-NH}_3$ (DUARTE et al., 2007). A amônia pode ser resultante da mineralização da matéria orgânica ou do fertilizante aplicado (SANTOS et al., 2016). Neste caso, a fonte de nitrogênio sofre hidrólise por meio da urease, uma enzima extracelular produzida por bactérias e fungos do solo ou proveniente de restos vegetais (COSTA et al., 2003). A ureia aplicada é hidrolisada em 2 ou 3 dias, sendo que quanto mais rápida a hidrólise, maior o potencial de perdas por volatilização (VOLK, 1959).

A hidrólise da ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] resulta na formação de carbonato de amônio (I), que é decomposto gerando amônio, ácido carbônico e hidroxila (II), causando a elevação do pH em torno do grânulo de ureia (ERNANI et al., 2001). Em condições normais, o amônio (N-NH_4^+) produzido é convertido em nitrito (N-NO_2^-)(III) e, posteriormente, em nitrato (N-NO_3^-) (IV) pela ação dos microrganismos do solo, no processo denominado nitrificação. Entretanto, quando o pH está elevado, o amônio

pode ser convertido em amônia (N-NH₃) (V), ou outros gases (N₂ ou N₂O), sendo perdidos para a atmosfera (COSTA et al., 2004).



A quantidade de amônia volatilizada após a aplicação da ureia ao solo varia e depende de inúmeros fatores. Pelo fato da urease do solo ser produzida por microrganismos, os fatores que afetam as atividades destes também influenciam o processo de hidrólise da ureia (REYNOLDS et al., 1987). Assim, as condições climáticas, as características do solo e as práticas de manejo interferem na dinâmica do N e no processo de volatilização.

Em relação às condições climáticas, destacam-se velocidade do vento e elevada temperatura do ar (TASCA et al., 2011) que favorecem o processo da volatilização. Duarte et al. (2007) atribuem as baixas taxas de amônia volatilizada que obtiveram em seu experimento em casa-de-vegetação, à proteção do vento a que os dispositivos para captura de amônia estavam submetidos, o que segundo os autores pode ter contribuído para subestimação dos valores de NH₃.

Dentre as características do solo ressalta-se a umidade, sendo que a hidrólise da ureia ocorre em diferentes níveis de umidade (OLIVEIRA et al., 2009; DUARTE et al. 2007). Em condições de saturação não houve diferença entre os solos estudados por Costa et al. (2004) em relação às perdas por volatilização, demonstrando que em condições de elevada umidade, as características químicas dos solos e a mineralogia da fração argila não causaram diferenças nas perdas de amônia. Assim, o fator umidade se mostra preponderante em relação às características do solo. Em solo saturado decorrente de elevada precipitação, Faria et al. (2013) não observaram diferença nas emissões de NH₃ para as diferentes fontes de ureia

utilizadas, concluindo que condições de adequada precipitação favorecem a redução das perdas. Por outro lado, Oliveira et al. (2009) constatou que quando se aplica ureia em solo seco, ou quando este seca rapidamente, as perdas por volatilização de amônia são baixas. Costa et al. (2004) relataram que as perdas de amônia foram menores em solo seco e maiores em solo saturado. Tasca et al. (2011) também obtiveram menores perdas por volatilização em solo seco, sendo que o teor intermediário de umidade do solo foi o que promoveu maior volatilização, se comparado aos extremos.

Outros fatores relacionados ao solo, como pH elevado (TASCA et al., 2011), baixos teores de matéria orgânica e baixa capacidade de troca de cátion (SANGOI et al., 2003) também contribuem para as perdas. A taxa de evaporação de água, as trocas gasosas e a classe textural do solo (HARGROVE, 1988; BYRNES, 2000) também devem ser levados em consideração. Segundo Costa et al. (2004), em solos de mesma classe textural, a mineralogia da fração argila e o teor de matéria orgânica são fatores determinantes para a dinâmica do nitrogênio. O autor explica que durante o processo de hidrólise da ureia, o amônio formado pode ser fortemente retido a filossilicatos do tipo 2:1 reduzindo, assim, as perdas de amônia por volatilização.

Em relação ao manejo, a presença de restos culturais (DA ROS et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2013) e aplicação de altas doses de N (TASCA et al., 2011) favorecem a volatilização. O método de aplicação dos fertilizantes, bem como o estágio de desenvolvimento das culturas no momento de aplicação (VLEK & CRASWELL, 1981; MIKKELSEN, 1987) também são fatores que influenciam as essas perdas.

2.3 Redução das perdas por volatilização

A incorporação do fertilizante ao solo é uma prática que reduz consideravelmente as perdas por volatilização de amônia, sendo considerada a forma mais eficaz de prevenir esse tipo de perda (TASCA et al. 2011). Entretanto, o custo operacional e o risco de danificar as plantas, tem restringido a prática dessa técnica à adubação de plantio, sendo pouco utilizada durante as aplicações em cobertura (RODRIGUES; KIEHL, 1986).

A ocorrência de chuva ou irrigação após aplicação do fertilizante é uma forma viável de realizar a incorporação, uma vez que a ureia é solubilizada pela água e, assim, é incorporada ao solo. Contudo, se a quantidade de água não for suficiente para incorporar os produtos da hidrólise ao solo, a quantidade de amônia volatilizada será maior, pois a adição de água contribui para maior difusão da ureia no solo e, assim, há maior contato desta com a urease, aumentando a ocorrência da hidrólise, havendo maior quantidade de amônia próxima à superfície do solo. Avaliando o efeito da aplicação de lâminas de água após aplicação de ureia em pastagem, Oliveira et al. (2009) obtiveram redução das perdas de amônia por volatilização com a aplicação de água imediatamente após a adubação, sendo que a aplicação de 3,2 mm foi suficiente para reduzir as perdas para menos de 3,1% no verão, enquanto que na ausência de irrigação as perdas alcançaram 30,5% do N aplicado.

Para algumas culturas, entretanto, a incorporação por esse meio é dificultada pela presença de espessa camada de palha sobre o solo (CONTIN, 2007). Outro método que pode ser utilizado para a redução das perdas por volatilização de amônia é a utilização de fertilizantes nitrogenados com formas de N menos suscetíveis à volatilização, como é o caso do nitrato de amônio. Entretanto, este fertilizante pode ocasionar maiores perdas por lixiviação de nitrato e maior acidificação do solo, em comparação à ureia (CANTARELLA et al., 2003).

2.4 Ureia revestida

Recentemente, novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de reduzir as perdas por volatilização. Trata-se de compostos que quando misturados à ureia, interferem em sua hidrólise e solubilização. Dentre essas substâncias, destacam-se o inibidor de urease NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) e os micronutrientes boro (B) e cobre (Cu), que promovem a inibição temporária da atividade da enzima urease, reduzindo a velocidade da hidrólise da ureia (TASCA et al., 2011). O ácido bórico possui estrutura semelhante à da ureia, assim o boro age competindo com a urease pelo mesmo sítio ativo da ureia. O cobre, por sua vez, atua reduzindo a produção da urease, uma vez que sua presença no solo afeta a população de microrganismos que sintetizam essa enzima (STEFANATO et al., 2013). Há também compostos de lenta liberação ou liberação

controlada, que em geral consistem em camadas de polímeros envolvendo o grânulo da ureia, reduzindo sua solubilidade e regulando a liberação de nutrientes, sincronizando seu fornecimento de acordo com a necessidade da cultura, reduzindo a possibilidade de perdas por excesso (FERREIRA, 2012; CANCELLIER et al., 2016).

Um desses produtos com finalidade de reduzir as perdas de N e aumentar a eficiência da utilização da ureia é o NZone Max, da empresa americana AgXplore. Segundo o fabricante, o NZone Max tem o propósito de potencializar a amonificação, transformando as formas de nitrogênio da ureia em amônio e estabilizando-o por meio da adsorção aos coloides do solo e à matéria orgânica. Além disso, o polímero Alkylarylpolioxetileno glicol, presente em sua composição, forma uma barreira em torno do grânulo da ureia, semelhante a um plástico hidrossolúvel, revestindo-a e reduzindo sua higroscopicidade, diminuindo assim sua velocidade de diluição, acarretando em menores perdas. É um produto formulado para ser usado com uréia, UAN (uréia + nitrato de amônio) e esterco, podendo ser aplicado com a maioria das práticas de aplicação de nitrogênio, não causando efeitos prejudiciais ao solo (AGXPLORE, 2015).

Os trabalhos envolvendo a utilização desses compostos têm apresentado resultados variáveis. Em alguns casos, a utilização dessas substâncias se mostra vantajosa, promovendo menores perdas de N em relação à utilização de ureia pura, enquanto que, em outros momentos, não ocorre diferença entre o uso de ureia pura e protegida. Isso se deve às variadas condições climáticas, edáficas e de manejo, que influenciam nos processos de perda e na assimilação dos nutrientes. Alguns autores observaram atraso no pico de volatilização (TASCA et al., 2011), outros além do atraso, também obtiveram redução das perdas de volatilização com a utilização dessas substâncias (CANCELLIER et al., 2016), sendo que a redução se deu apenas para alguns dos compostos avaliados (RODRIGUES et al., 2016), tendo revertido em maior acúmulo de N pela cultura (RECH, 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, em Jaboticabal, SP (latitude 21°14' 44" S, longitude 48°17' 02" O e altitude 535 m). O clima da região é do tipo Aw, de acordo com a classificação climática de Köppen (ALVAREZ et al., 2013), com inverno seco e chuvas no verão, apresentando temperatura média anual de 22,2 °C e precipitação de 1.425 mm. O solo é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2013) e a cultura utilizada foi a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.

A área em que se realizou o experimento permaneceu em pousio por 6 anos, até agosto de 2012, quando foi semeada *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Antes do início do experimento, foram coletadas, aleatoriamente, 6 amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, para compor uma amostra composta por profundidade, a fim de realizar análise de rotina. As características químicas do solo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm.

Prof.	pH CaCl ₂	MO	P resina	S	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	SB	CTC	V
cm		g dm ⁻³	mg dm ⁻³		----- mmol _c dm ⁻³ -----						%
0-20	5,4	35	49	5	27	11	5,1	25	43,0	67,6	64
20-40	5,3	32	48	5	25	11	5,3	30	41,4	71,1	58

pH: em CaCl₂, por potenciometria; MO: por espectrofotometria; P: em resina, por espectrofotometria; S: por turbidimetria; Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺: por espectrometria de absorção atômica; H+Al: em tampão SMP, por potenciometria; SB = Ca²⁺+Mg²⁺+K⁺; CTC = SB+H+Al; V% = (SB/CTC)* 100

Continuação...

Prof.	B	Cu	Fe	Mn	Zn
cm	-----mg dm ⁻³ -----				
0-20	0,30	4,6	50	16,8	4,2
20-40	0,30	4,8	27	13,2	4,3

B: por espectrofotometria; Cu, Fe, Mn e Zn: em solução DTPA por espectrometria de absorção atômica.

3.2 Esquema experimental

Os tratamentos consistiram de 4 lâminas de irrigação, com e sem adição de estabilizante à ureia. O delineamento experimental foi em faixa com parcela subdividida, com lâminas na parcela e estabilizante na subparcela, com 4 repetições, totalizando 32 unidades experimentais com área de 7,2 m² (2,4 x 3 m) por parcela (Figura 1).

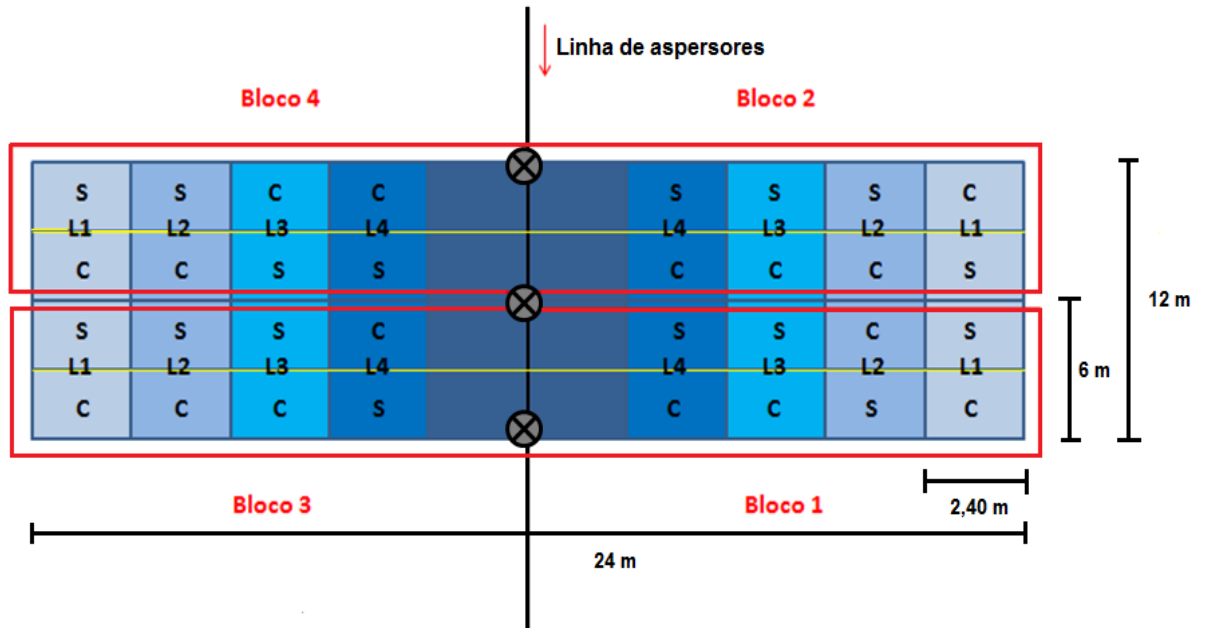


Figura 1. Esquema da área experimental, com linha de aspersores e unidades experimentais com o fator lâmina de irrigação (L1, L2, L3 e L4) incluído na parcela e estabilizante de ureia (com = C e sem = S), incluído na subparcela.

3.3 Manejo da irrigação

Um sistema de aspersão em linha proporcionou distribuição gradual da lâmina de irrigação nas parcelas, da maior (L4) à menor lâmina (L1). Esse efeito foi obtido por aspersores com duplo bocal de 8 x 5 mm (3023-2: Senninger Irrigation), operados com pressão de 300 kPa, colocados na linha irrigação no espaçamento de 6 m, gerando um raio de alcance de 12 m e intensidade de aplicação de 13 mm h⁻¹.

Conforme a disposição das parcelas experimentais e o arranjo dos aspersores previamente descrito na Figura 1, e com base em testes realizados com coletores de precipitação, foi possível determinar o fator de distribuição do precipitado para obtenção da lâmina de irrigação a aplicar em cada tratamento

(Figura 2). O sistema de irrigação apresentou coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) de 89 e 83%, respectivamente.

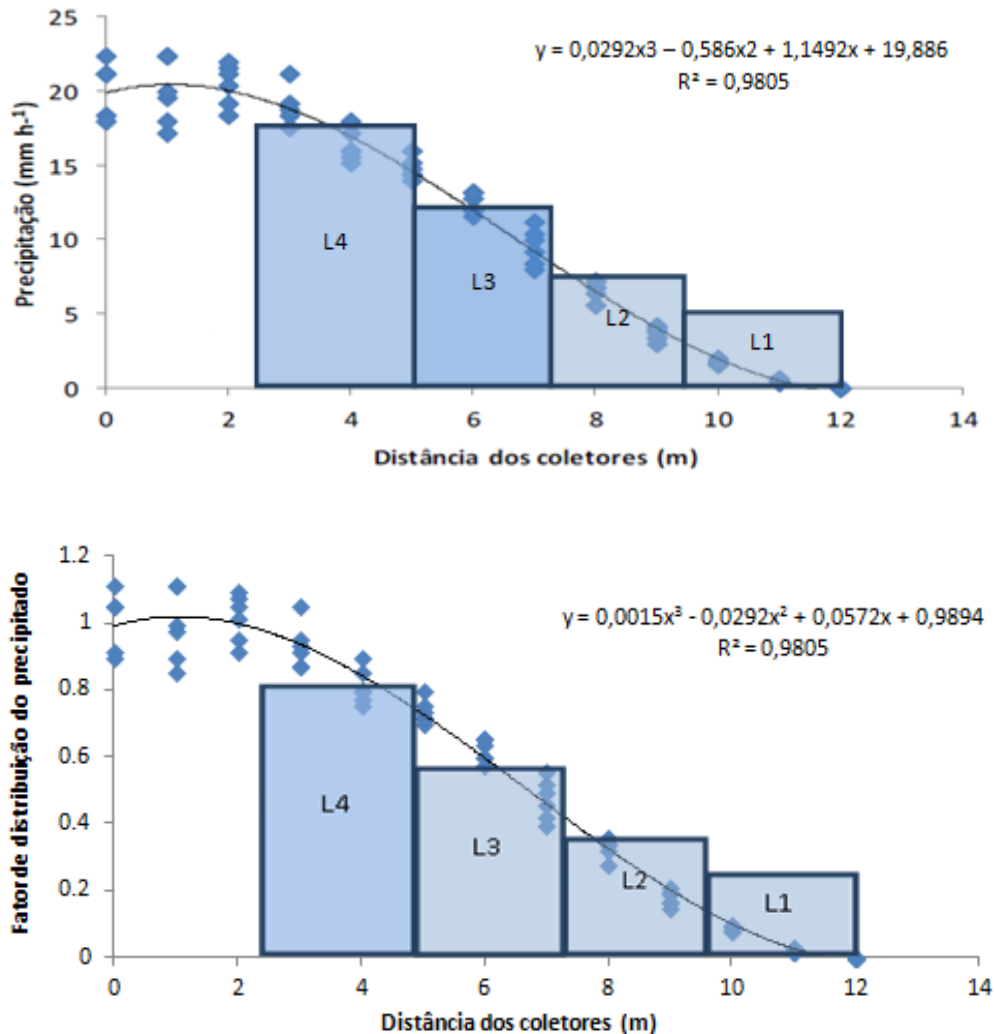


Figura 2. Precipitação e fração de distribuição da precipitação de aspersores em função da distância das linhas de irrigação espaçadas de 12 m, com aspersores espaçados de 6 m na linha (Modificado de: SANTOS, 2015).

As lâminas de irrigação foram calculadas em função de frações da evapotranspiração de referência (E_{To}), correspondentes a $L1 = 0,20$; $L2 = 0,40$; $L3 = 0,60$ e $L4 = 0,80$ de E_{To} (Figura 1). A evapotranspiração de referência foi calculada pelo método Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), utilizando o software CLIMA (FARIA et. al., 2003), com dados meteorológicos diários coletados na Estação Agroclimatológica da FCAV-UNESP, localizada próximo da área experimental.

Atendendo às necessidades da cultura, a partir de cálculos de balanço hídrico, realizaram-se 3 irrigações, sendo uma no dia anterior à adubação e as demais aos 2 e 9 dias após a mesma (Tabela 2).

Tabela 2. Irrigação aplicada ao longo do experimento em função das lâminas de irrigação e o total aplicado por dia.

Dias após a adubação	Lâminas (mm)			
	L1	L2	L3	L4
-1	5,2	10,4	15,6	20,8
2	2,6	5,2	7,8	10,4
9	2,6	5,2	7,8	10,4
Total	10,4	20,8	31,2	41,6

3.4 Quantificação da amônia volatilizada

A área experimental de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu foi roçada com roçadora manual e foram instaladas 32 câmaras coletoras de amônia, uma por parcela, enterradas no solo à profundidade de 5 cm.

A câmara coletora foi confeccionada em PVC branco (linha de esgoto), adaptada de Nomik (1973), com 15 cm de altura, 25 cm de diâmetro e área de 0,049 m² (Figura 3), com tampa vedada por borracha na parte superior. No interior de cada câmara, foi fixado no solo, um suporte de arame para sustentar um frasco coletor contendo solução fixadora de amônia. A solução fixadora foi proposta por Hernandez e Cazetta (2001).

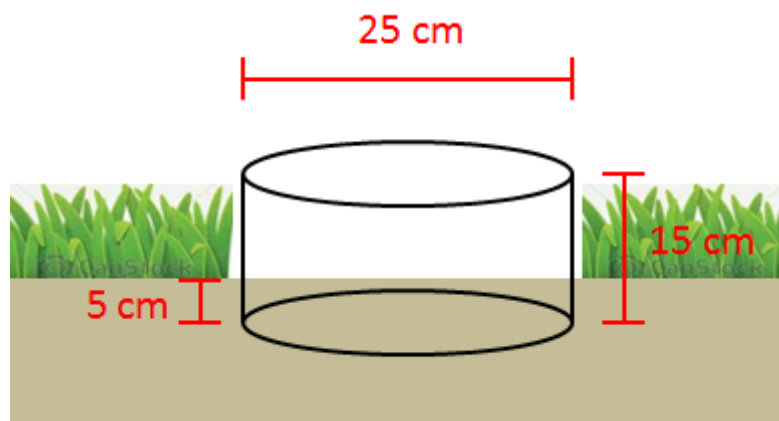


Figura 3. Esquema da câmara coletora de amônia volatilizada.

No dia anterior ao início das avaliações, a área experimental foi irrigada e, no dia seguinte pela manhã, a área foi adubada com ureia na dose de 100 kg ha⁻¹ de N (VILELA, 1998). A adubação foi feita a lanço, sendo que metade das parcelas foi adubada com ureia pura e a outra metade com a ureia com adição de NZone Max, numa proporção de 3 mL kg⁻¹ de ureia. A seguir, no interior de cada câmara, sobre os suportes de arame, foram colocados frascos coletores plásticos de 5,5 cm de altura com capacidade para 80 mL, contendo 15 mL de solução de ácido bórico 2% (m/v) e uma mistura dos indicadores vermelho de metila e verde de bromocresol e então as câmaras foram tampadas. Os frascos permaneceram destampados no interior das câmaras.

No dia seguinte, as tampas das câmaras foram retiradas e os frascos com solução foram coletados, tampados e levados ao Laboratório de Química Analítica do Departamento de Tecnologia da FCAV-UNESP. As amostras foram diluídas com 30 mL de água deionizada e realizou-se a titulação com ácido sulfúrico padronizado. A seguir, determinaram-se as quantidades de amônia volatilizada por meio da seguinte equação:

$$N - \text{NH}_3 = \frac{V M 28}{A}$$

em que:

N-NH₃ - amônia volatilizada (mg m⁻² dia⁻¹);

V - volume de H₂SO₄ consumido na titulação (mL);

M - concentração da solução de H₂SO₄ utilizada na titulação (mol L⁻¹);

A - área da câmara (m²).

Os frascos contendo solução para captação da amônia volatilizada foram colocados no campo a cada 2 dias e retirados após 24 h. As amostras foram tomadas aos 1, 3, 5, 7 e 9 dias após a adubação, no período de 13 a 22 de setembro de 2016.

3.5 Análise química da solução do solo

A solução do solo foi obtida por meio de uma bomba de vácuo acoplada a tubos de PVC com cápsulas de cerâmica porosa, instalados nas parcelas com a maior lâmina de irrigação aplicada (L4), nas profundidades de 10, 30 e 50 cm, a fim de se obter a solução do solo nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. O procedimento para a obtenção da solução foi realizado no 9º dia após a adubação, depois da última coleta dos frascos coletores de amônia. As amostras foram acondicionadas em frascos plásticos com tampa e levadas ao Laboratório de Química Analítica do Departamento de Tecnologia da FCAV-UNESP para análise.

O pH foi determinado com peagômetro digital (PM 608: Analion) e a condutividade elétrica com condutímetro digital (MCA-150: Tecnoyon). As determinações das concentrações de nitrato, amônio e nitrogênio total na solução do solo foram realizadas colorimetricamente, em fotocolorímetro digital (AT 100P II multiparâmetro: Alfakit), empregando-se no preparo das amostras, os seguintes kits: srebro kit nitrato NTD, srebro kit amônia Indotest e srebro kit nitrogênio total (ALFAKIT, 2016), que adotam metodologias analíticas adaptadas do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (EATON et al., 2005).

3.6 Condições climáticas

Os dados meteorológicos diários de temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e precipitação foram obtidos da Estação Agroclimatológica da FCAV-UNESP, localizada próximo da área experimental. Medidas de temperatura foram tomadas no interior das câmaras de captação de amônia por um termopar acoplado a um “datalogger” (CR10X: Campbell Scientific).

As condições meteorológicas durante o período de determinação da amônia volatilizada são representadas nas Figuras 4 e 5, bem como as medidas de temperatura no interior das câmaras (Figura 4):

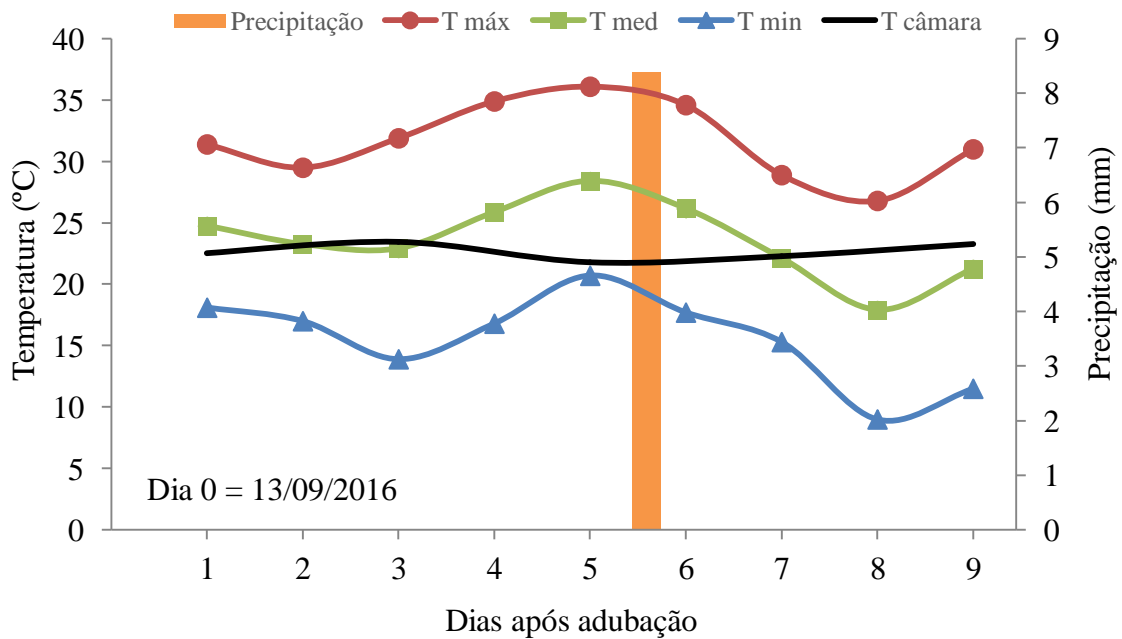


Figura 4. Precipitação, temperaturas máxima, média e mínima (Fonte: UNESP, 2016) e temperatura média interna das câmaras durante a condução do experimento.

A temperatura média diminuiu até o terceiro dia após a adubação, aumentando depois até o quinto dia, quando atingiu o máximo de 27,5 °C, voltando a baixar até o oitavo dia e iniciando novo aumento a partir de então. A temperatura máxima atingida foi 36,1 °C (no quinto dia após a adubação), enquanto que a mínima foi 9,0 °C (no oitavo dia). A temperatura média ao longo da condução do experimento foi 26,3 °C, sendo valores considerados normais para a época do ano nessa localidade. A precipitação de 8,4 mm aos seis dias após a adubação foi responsável pelo decréscimo da temperatura ao final do período de medidas.

A temperatura média no interior das câmaras se manteve relativamente constante, variando de 23,4 °C no terceiro dia a 21,8 °C no quinto dia. Até o terceiro dia essas medidas foram semelhantes à temperatura média do ar e, a partir de então, foram mais baixas até o sétimo dia e mais altas após, provavelmente devido às câmaras serem fechadas, fato que contribuiu para manter a temperatura mais estável dentro das mesmas.

A umidade relativa do ar variou de 36% no segundo dia a 69,5% no sétimo dia após adubação. A radiação solar global apresentou valores de 16,30 a 22,5 MJ m⁻² dia⁻¹, no primeiro e oitavo dia, respectivamente (Figura 5).

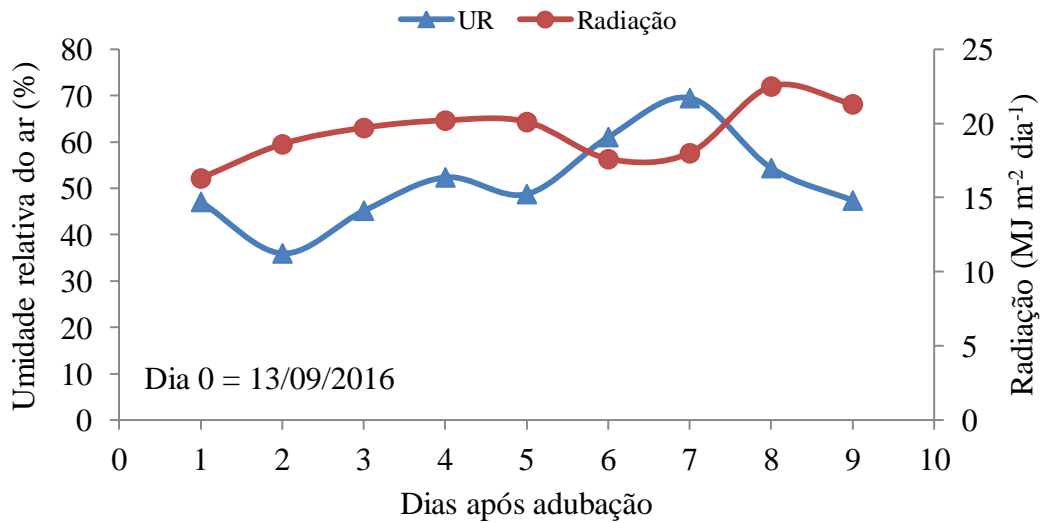


Figura 5. Dados de umidade relativa do ar e radiação solar durante a condução do experimento (Fonte: UNESP, 2016).

3.7 Umidade do solo

A umidade do solo foi medida com sonda de nêutrons (503DR Hydroprobe: CPN) nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm. As medições foram realizadas duas vezes por semana.

A umidade do solo foi proporcional ao gradiente da lâmina de irrigação aplicado. Assim, L4 apresentou maiores valores, seguida de L3, L2 e L1, para todas as profundidades medidas (Figura 6).

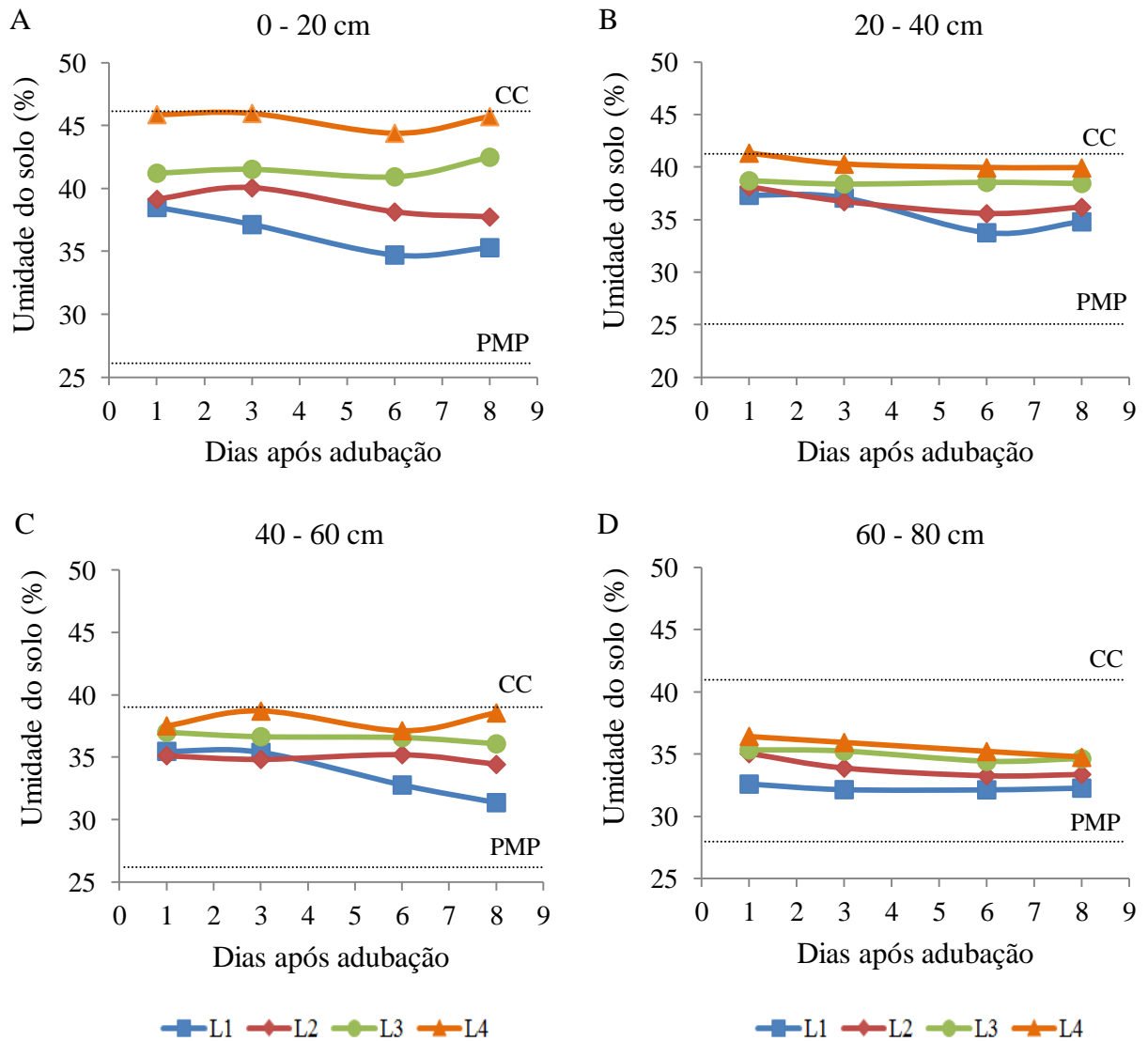


Figura 6. Umidade do solo em relação às lâminas de irrigação, nas profundidades de (a) 0-20 cm, (b) 20-40 cm, (c) 40-60 cm, (d) 60-80 cm, durante a condução do experimento. CC = capacidade de campo; PMP = ponto de murcha permanente.

3.8 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas pelo Statistical Analysis Software (SAS), com análise de variância pelo teste F e comparação de médias executada pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Amônia volatilizada

A análise de variância mostrou efeitos significativos ($P < 0,01$) para lâmina de irrigação (L), data de determinação (D) e interação entre lâmina e data de determinação (LxD), bem como ausência de significância ($P > 0,05$) para estabilizante (E) e demais interações (Tabela 3). Devido à interação significativa entre lâmina e data de determinação, a interpretação da significância de lâmina e data, isoladamente, fica prejudicada. Assim, o desdobramento da interação lâmina x data revelou maiores médias de volatilização de amônia no terceiro dia para todas as lâminas, em relação às demais datas. No 5º dia, as médias de volatilização foram semelhantes às demais datas, exceto para L1, que manteve médias mais elevadas para esta data e também para o 7º dia. No 3º dia, L1 e L2 apresentaram médias superiores a L4, e este não diferiu de L3. Na determinação do 5º dia, somente L1 foi superior a L4 e, nas demais datas, não houve diferença entre as médias resultantes da aplicação das lâminas de irrigação.

A quantidade de amônia volatilizada foi crescente até o terceiro dia após a adubação, quando atingiu o valor máximo, diminuindo a partir de então, até o último dia de análise, para as 4 lâminas de irrigação aplicadas (Figura 7). Sob condições de altas temperaturas e umidade do solo, o pico de volatilização geralmente ocorre no segundo ou terceiro dia após a aplicação de ureia (CANTARELLA et al., 2003). Esse fato corrobora Soares Filho et al. (2015), que obtiveram de 78 a 90% das perdas de amônia por volatilização até três dias após a aplicação de ureia em Capim-Tanzânia, bem como Faria et al. (2013), que relataram maiores perdas de amônia volatilizada nos primeiros quatro dias após a aplicação de ureia revestida com os inibidores de urease sulfato de cobre e ácido bórico na cultura do milho.

Tabela 3. Análise de variância e comparação de médias da quantidade de amônia volatilizada ($\text{mg m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), em função da data de determinação (D), lâmina de irrigação (L) e presença (C) ou ausência (S) de estabilizante de ureia (E).

L	E	D (dias após a adubação)				
		1	3	5	7	9
L1	C	2,38	23,99	15,86	7,73	5,35
L2	C	6,74	30,53	11,30	4,36	3,37
L3	C	12,69	24,58	6,15	3,17	2,38
L4	C	8,52	19,63	6,54	2,78	2,18
L1	S	1,59	34,10	14,27	9,52	5,95
L2	S	5,35	26,96	8,33	2,78	1,59
L3	S	8,13	24,58	5,55	3,37	1,59
L4	S	6,54	20,42	5,35	3,17	2,18

ANOVA

L	**
E	ns
D	**
Interação L x E	ns
Interação L x D	**
Interação E x D	ns
Interação L x E x D	ns

Efeitos da interação L x D

L	D (dias após a adubação)				
	1	3	5	7	9
L1	1,98 Bc	29,04 Aa	15,07 Ab	8,62 Abc	5,65 Ac
L2	6,05 ABb	28,75 Aa	9,81 ABb	3,57 Ab	2,48 Ab
L3	10,41 Ab	24,58 ABa	5,85 Bbc	3,27 Abc	1,98 Ac
L4	7,53 ABb	20,02 Ba	5,95 Bb	2,97 Ab	2,18 Ab

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); * significativo ($p < 0,05$); ** significativo ($p < 0,01$); ^{ns} não significativo.

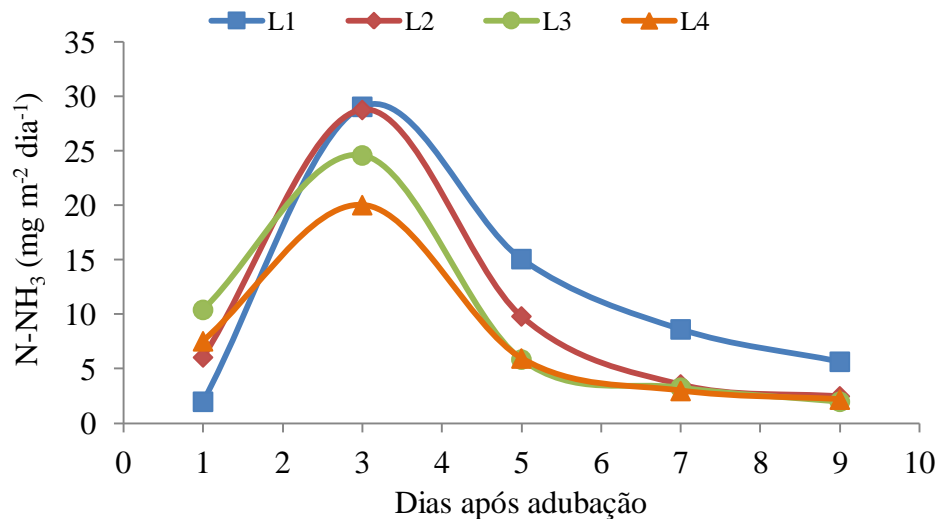


Figura 7. Taxa de liberação de amônia volatilizada em relação às lâminas de irrigação durante a condução do experimento.

Este pico de volatilização no terceiro dia também pode ser explicado pela irrigação realizada no dia anterior. Com o aumento da umidade do solo, houve maior movimentação da ureia e, conseqüentemente, maior atividade da urease, que incrementou a hidrólise da ureia, provocando aumento da volatilização de NH₃ (TASCA et al., 2011). O mesmo foi observado por Kissel et al. (2004), quando realizaram a simulação de uma chuva sete dias após a adubação e observaram que houve um aumento na NH₃ volatilizada. Oliveira et al. (2009) relataram que uma chuva no terceiro dia após a adubação com ureia provocou pico de volatilização no dia posterior.

A maior lâmina de irrigação foi de 41,6 mm (L4) e acarretou a menor volatilização na época de pico (3^o e 5^o dia), enquanto para a lâmina de 10,4 mm (L1) o pico de volatilização foi mais pronunciado (Figura 7). Estes valores estão próximos aos resultados relatados por Contin (2007) que concluiu que precipitações de 33 e 37 mm foram mais eficazes na incorporação da ureia no solo cultivado com cana-de-açúcar, reduzindo as perdas de nitrogênio por volatilização de NH₃, quando comparadas com lâminas de 1 e 8 mm.

Da mesma maneira, maiores perdas de NH₃ foram observadas com o aumento da umidade até 0,5 m de profundidade no solo sob cultivo de feijão irrigado no trabalho de Carvalho et al. (2013), enquanto que a ocorrência elevada de precipitação ocasionou redução da volatilização no estudo de Faria et al. (2013). Assim, ressalta-

se a importância da utilização de fertilizantes revestidos em áreas onde não se faz irrigação.

Os valores de umidade do solo na camada de 0-20 cm para L1 e L4 (extremos de lâminas) foram de 38 a 46%, apresentando diferença significativa na quantidade de NH_3 volatilizada no 3º e 5º dias. Na literatura, cita-se que o processo de hidrólise aumenta até que a umidade do solo alcance 25%, e a partir daí, a adição de água pouco contribui para a hidrólise (CANTARELLA; MARCELINO, 2007). No entanto, o comportamento observado neste trabalho, quando comparadas L4 e L1, demonstra que por menor que seja a contribuição da água no processo de hidrólise, o mesmo se acentua em valores extremos de mínima e máxima umidade do solo. Tasca et al. (2011) obtiveram maiores perdas por volatilização quando o solo apresentou teor intermediário de umidade (10%), em comparação aos extremos (5% e 20% de água), demonstrando que tanto a baixa quanto a elevada umidade do solo propiciam menores perdas. Em condições de saturação, Costa et al. (2004) não observaram diferença em relação às perdas por volatilização de amônia nos diferentes solos estudados, concluindo que em condições de elevada umidade, as características químicas dos solos e a mineralogia da fração argila não interferem nas perdas de amônia, sendo a umidade o fator preponderante.

O estabilizante utilizado, nas condições experimentais, não apresentou efetividade, uma vez que no pico de volatilização (3º dia) os tratamentos com e sem estabilizante não diferiram estatisticamente, para a maior lâmina (L4) e a menor lâmina (L1).

Em solo saturado decorrente de elevada precipitação, as emissões de NH_3 para as diferentes fontes de ureia utilizadas por Faria et al. (2013) foram semelhantes, enquanto que a ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico possibilitou menores perdas que a ureia pura quando em condições favoráveis à volatilização. Utilizando NZone, Costa (2016) relatou falta de significância para a maior parte das variáveis de crescimento estudadas em feijoeiro irrigado, enquanto que a adição do inibidor de urease NBPT à ureia nem sempre reduziu as perdas, mas atrasou o pico de volatilização em trabalho conduzido em laboratório por Tasca et al. (2011). Cancellier et al. (2016) também observaram atraso nos picos de volatilização em cultivo de milho, entretanto obtiveram redução das perdas por volatilização de amônia

com a utilização de inibidores de urease NBPT e Cu + B (em até 18%), bem como o uso de ureia revestida por enxofre e polímeros (em 37%), o que não foi refletido no acúmulo de N e na produtividade do milho. Por outro lado, além da redução das perdas por volatilização, Rech (2014) obteve maior acúmulo de N pelo milho em relação ao uso de ureia convencional, utilizando os mesmos inibidores. Nascimento et al. (2013) encontraram menores perdas por volatilização com o uso de ureia recoberta por ácido bórico e sulfato de cobre e por enxofre, sendo que as menores perdas de amônia e a maior exportação de nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar foram resultantes do emprego de ácido bórico, que tem ação prontamente acidificante, ao contrário do enxofre elementar, de ação gradual. De outra forma, o enxofre adicionado à ureia não foi eficiente em reduzir as perdas por volatilização em cafeeiro no trabalho de Rodrigues et al. (2016), onde apenas a utilização de NBPT e Cu + B teve efeito, sendo que nenhum dos tratamentos resultou em aumento da produtividade.

4.2 Solução do solo

De acordo com a análise de variância, os valores de pH, condutividade elétrica, bem como as quantidades de nitrato, amônio e N-total da solução do solo não diferiram em relação à presença ou não do estabilizante de ureia e nem entre as profundidades. Não houve interação significativa entre a profundidade das amostras e o uso ou não do estabilizante para todos os atributos citados (Tabela 4).

Avaliando a solução do solo proveniente da aplicação de efluente de tratamento de esgoto em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, nos anos de 2013 e 2014, na mesma área em que se realizou este experimento, Santos (2015) encontrou menores concentrações de nitrato nas camadas superficiais e maiores concentrações em subsuperfície. Segundo o autor, esse fato indica que houve extração do nitrogênio pela cultura e que parte foi lixiviada. No presente experimento, acredita-se que a dose de N empregada e o alto consumo de N pela braquiária podem ter sido responsáveis pelas baixas concentrações de elementos nitrogenados encontradas na solução do solo, bem como a falta de significância para o uso do estabilizante de ureia. Para Alexandrino et al. (2010), culturas como a *Brachiaria* absorvem grande quantidade de nitrogênio, o que reflete em incremento

da produção de forragem. A competição com os microrganismos do solo por nitrogênio, o crescimento acelerado das raízes e as perdas por lixiviação foram associadas às menores concentrações de N na solução do solo sob pastagem, em relação a outras coberturas vegetais no trabalho de Miranda et al. (2006), o que reforça o argumento usado para explicar a falta de significância nos testes realizados.

Tabela 4. Valores de pH, condutividade elétrica, nitrato, amônio e N-total da solução do solo nas profundidades (P) de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em relação à presença (C) ou ausência (S) de estabilizante (E).

E	P cm	pH	Condutividade Elétrica	Nitrato	Amônio	N-Total
		CaCl ₂	μS cm ⁻¹	----- mg L ⁻¹ -----		
C	0-20	7,43	102,38	0,18	0,01	0,33
C	20-40	7,44	138,73	0,19	0,01	2,34
C	40-60	7,57	138,70	0,56	0,01	1,04
S	0-20	7,82	88,50	0,20	0,01	0,75
S	20-40	7,79	132,20	0,02	0,01	0,56
S	40-60	7,90	127,53	0,47	0,10	0,10
ANOVA						
E		ns	ns	ns	ns	ns
P		ns	ns	ns	ns	ns
Interação E x P		ns	ns	ns	ns	ns

^{ns} não significativo

Assim como neste trabalho, Ferreira (2012) obteve grande variação em relação às concentrações dos elementos nitrogenados da solução do solo, ao avaliar a eficiência da ureia revestida com polímero na adubação do milho. Santos (2008) explica que a dinâmica do N no solo prejudica a avaliação de sua disponibilidade, devido às constantes transformações a que este nutriente está sujeito.

5. CONCLUSÕES

A adição do estabilizante NZone Max à ureia não promoveu redução das perdas por volatilização de amônia e lixiviação de nitrato.

6. REFERÊNCIAS

- AGXPLORE INTERNATIONAL. **Nzone Max**. Disponível em: <<http://www.agxplore.com/>>. Acesso em: 3 nov. 2015.
- ALEXANDRINO, E.; VAZ, R. G. M. V.; SANTOS, A. C. Características da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu durante o seu estabelecimento submetida a diferentes doses de nitrogênio. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 6, p. 886-893, 2010.
- ALFAKIT. Kits. Disponível em: <<https://alfakit.ind.br/kits/2/>>. Acesso em: 3 mar. 2016.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and drainage paper, 56).
- ALVAREZ, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BITTENCOURT, M. V. L. Impactos da Agricultura no meio-ambiente; Principais tendências e desafios . **Economia & Tecnologia**, v. 18, n. 5, 2009.
- BYRNES, B. H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: International fertilizer development center. **Fertilizer manual**. Alabama: Kluwer Academic, 2000.
- CANCELLIER, E. L.; SILVA, D. R. G.; FAQUIN, V.; GONÇALVES, B. A.; CANCELLIER, L. L.; SPEHAR, C. R. Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till maize in brazilian cerrado with improved soil fertility. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 2, p. 133-144, 2016.
- CANTARELLA, H.; MATTOS J. R., D. de; QUAGGIO, J. A.; RIGOLIN, A. T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 67, n. 3, p. 205-213, 2003.
- CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. **Tecnologia de produção de milho**. Viçosa-MG: UFV, 2004.
- CANTARELLA, H.; MARCELINO R. Uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da ureia. In: SIMPOSIO SOBRE INFORMAÇÕES RECENTES PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA, 1., 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPNI, 2007. 1 CD-ROM
- CARVALHO, M. T. M.; MADARI, B. E.; LEAL, W. G. O.; COSTA, A. R.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A.; HEINEMANN, A. B. Nitrogen fluxes from irrigated common-bean as affected by mulching and mineral fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 48, n. 5, p. 478-486, 2013.

CONTIN, T. L. M. **Uréia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo**. 2007. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico, Campinas, 2007.

COSTA, A. C. S.; FERREIRA, J. C.; SEIDEL, E. P.; TORMENA, C. A.; PINTRO, J. C. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em três solos Argilosos tratados com ureia. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 467-473, 2004.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-Mg, v. 27, p. 631- 637, 2003.

COSTA, M. S. **Disponibilidade hídrica, uso de aditivo na adubação e calibração do software Aquacrop para o feijoeiro**. 2016. 51 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- MG, 2016.

DA ROS, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 799-805, 2005.

DUARTE, F. M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L. S.; GRAUPE, F. A.; BRITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de ureia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 705-711, 2007.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; STECKLING, C. Características químicas de solo e rendimento de matéria seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-Mg, v. 25, p. 939-946, 2001.

FARIA, L. A.; NASCIMENTO, C. A. C.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; GUEDES, E. M. S. Loss of ammonia from nitrogen fertilizers applied to maize and soybean straw. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 37, n. 4, p. 969-975, 2013.

FARIA, R. T.; CARAMORI, P. H.; CHIBANA, E. Y.; BRITO, L. R. S. CLIMA - Programa computacional para organização e análise de dados meteorológicos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 372-387, 2003.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. Production systems: an example from Brazil. **Meat Science**, v.84, p.238-243, 2010.

FERREIRA, D. A. **Eficiência agrônômica da ureia revestida com polímero na adubação do milho**. 2012. 85 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

HARGROVE, W.I. Soil environmental and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: BOCK, B. R.; KISSEL, D. E. **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Alabama; NFDC, TVA, 1988.

HARPER, J. E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K. J.; BENNETT, J. M.; SINCLAIR, T. R.; **Physiology and determination of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994.

HERNANDES, R.; CAZETTA, J. O. Método simples e acessível para determinar amônia liberada pela cama aviária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 824-829, 2001.

KISSEL, D. E; CABRERA, M. L.; VAIO, N.; CRAIG, J. R.; REMA J. A.; MORRIS, L. A. Rainfall Timing and Ammonia Loss from Urea in a Loblolly Pine Plantation. **Soil Science Society American Journal**, v. 68, p. 1744-1750. 2004.

LOSS, A.; COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; SILVA, R. A. C.; TORRES, J. L. R.; RAVELLI NETO, A. Fertilidade e carbono total e oxidável de Latossolo de Cerrado sob pastagem irrigada e de sequeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.3, p.426-432, 2013.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MIKKELSEN, D. S. Nitrogen budgets in flooded soils used for rice production. **Plant and Soil**, v. 100, p.71-97, 1987.

MIRANDA, J.; COSTA, L. M.; RUIZ, H. A.; EINLOFT, R. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 30, p. 633-647, 2006.

NASCIMENTO, C. A. C. do; VITTI, G. C.; FARIA, L. A.; LUZ, P. H. C.; MENDES, F. L. Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 37, n. 4, p. 1057-1063, 2013.

NÔMMIK, H. Assessment of volatilization loss of ammonia from surface-applied urea on forest soil by N¹⁵ recovery. **Plant and Soil**, Dordrecht-UK, v. 38, n. 3, p. 589-603, 1973.

OLIVEIRA, P. P. A; ALVES, A. C.; HERLING, V. R.; LUZ, P. H. C; ALVES, T. C.; ROCHETTI, R.C; ALVES, J. P. M. Fertilização com ureia em superfície em pastagem irrigada e a volatilização de amônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Fortaleza: SBCS, 2009.

OLIVEIRA, V. S.; MORAIS, J. A. S.; FAGUNDES, J. L.; LIMA, I. G. S.; SANTANA, J. C. S.; SANTOS, C. B. Efeito da irrigação na produção e qualidade de pastagens durante o período da seca. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Garça – SP, v. 14, n. 26, 2016.

PEREIRA, H. S.; LEÃO, A. F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M. A. C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 33, n. 6, p. 1685-1694, 2009.

PRANDO, A. M; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 34-41, 2013.

RECH, I. **Produção e avaliação da eficiência de ureia enriquecida com aditivos para o controle da liberação do nitrogênio**. 2014. 67 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

REDDY, G. B.; REDDY, K. R. Fate of nitrogen-15 enriched ammonium nitrate applied to corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n. 1, p. 111-115, 1993.

REYNOLDS, C. M.; WOLF, D. C.; ARMBRUSTER, J. A. Factors related to urea hydrolysis in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, p. 104-108, 1987.

RODRIGUES, J. O.; PARTELLI, F. L.; PIRES, F. R.; OLIOSI, G.; ESPINDULA, M. C.; MONTE, J. A. Volatilização de amônia de ureias protegidas na cultura do cafeeiro conilon. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 530 - 537, 2016.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após emprego de ureia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-Mg, v. 10, p. 37- 43, 1986.

SANTOS, G. O. **Aplicação de efluente de tratamento de esgoto, via aspersão, no solo e em *Brachiaria***. 2015. 197 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

SANTOS, J. G. P. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em Latossolo Vermelho**. 2008. 70p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SANTOS, S. M. C.; ANTONANGELO, J. A.; DEUS, A. C. F.; FERNANDES, D. M. Perdas de amônia por volatilização em resposta a adubação nitrogenada do feijoeiro. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 3, n. 1, p. 16-20, 2016.

SCHIAVINATTI, A. F.; ANDREOTTI, M.; BENETT, C. G. S.; PARIZ, C. M.; LODO, B. N., BUZETTI, S. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no Cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 295-230, 2011.

SENGIK, E.; KIEHL, J. C. Efeito dos resíduos orgânicos e do fosfato monocálcico na volatilização da NH₃ em terra tratada com uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.19, p.321-326, 1995.

SILVA, D. R. G.; COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P.; BERN, T. F. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação das características estruturais e produtivas do capim-marandu. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 184-191, 2013.

SOARES FILHO, C. V.; CECATO, U.; RIBEIRO, O. L.; ROMA, C. F. C.; BELONI, T. Ammonia volatilization losses in Tanzania grass fertilized with urea. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, Salvador, v.16, n.1, p.253-264, 2015.

STEFANATO, J. B.; GOULART, R. S.; ZONTA, E.; LIMA, E.; MAZUR, N.; PEREIRA, C. G.; SOUZA, H. N. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 37, p. 726-732, 2013.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 35 n. 2, p. 493-502, 2011.

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Dados meteorológicos diários**. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/>>. Acesso em: 26 set. 2016.

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G.; MACEDO, M. C. M. **Calagem e adubação para pastagens na região do cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1998. 15 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 37).

VLEK, P. L. G.; CRASWELL, E. T. Ammonia volatilizations from flooded soils. **Fertilizer research**, Dordrecht, v. 2, p. 227-245, 1981.

VOLK, M. G. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf of bare soils. **Agronomy Journal**, v.51, p.746-749, 1959.