

**UFRRJ**

**INSTITUTO DE AGRONOMIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**TESE**

**Perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> e Avaliação de  
Fertilizantes Nitrogenados Contendo  
Micronutrientes na Cultura do Milho (*Zea mays*)**

**Juliano Bahiense Stafanato**

**2013**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA CIÊNCIA DO SOLO**

**PERDAS POR VOLATILIZAÇÃO DE N-NH<sub>3</sub> E AVALIAÇÃO DE  
FERTILIZANTES NITROGENADOS CONTENDO  
MICRONUTRIENTES NA CULTURA DO MILHO (*ZEA MAYS*)**

**JULIANO BAHIENSE STAFANATO**

*Sob a Orientação do Professor*

**Nelson Mazur**

*e*

*Co-orientação do Professor*

**Everaldo Zonta**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.

Seropédica, RJ

Fevereiro de 2013

631.84  
S779p  
T

Stafanato, Juliano Bahiense, 1981-

Perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> e avaliação de fertilizantes nitrogenados contendo micronutrientes na cultura do milho (*Zea Mays*) / Juliano Bahiense Stafanato. – 2013.

82 f.: il.

Orientador: Nelson Mazur.

Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2013.

Bibliografia: f. 61-69.

1. Fertilizantes nitrogenados - Teses. 2. Nitrogênio na agricultura - Teses. 3. Milho - Cultivo – Teses. 4. Milho – Adubos e fertilizantes – Teses. I. Mazur, Nelson, 1955- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO**

**JULIANO BAHIENSE STAFANATO**

Tesesubmetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM: 21/02/2013.

---

Nelson Mazur. Dr. UFRRJ  
Orientador

---

Eduardo Lima. Dr. UFRRJ

---

Nelson Moura Brasil do A. Sobrinho. Dr. UFRRJ

---

Adriano Portz. Dr. UFF

---

José Carlos Polidoro. Dr. Embrapa Solos

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus filhos Pedro, Luíza e Davi.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pois sem Ele nada seria possível.

A minha família, especialmente meu pai (Fernando), minha mãe (Júlia) e as minhas irmãs Fernanda e Camila.

A minha sogra (Adinair) e ao meu sogro (Edmundo) pela ajuda incondicional, especialmente com meus filhos.

Aos meus filhos Pedro, Luíza e ao caçula Davi, que com toda certeza são o meu combustível para alcançar meus objetivos.

A minha esposa Sara, pelos anos de convivência, pela ajuda dada nessa minha caminhada e principalmente pelos filhos maravilhosos que tivemos.

Ao Jair Guedes e Adriana França pela grande ajuda prestada na realização das análises químicas.

Agradeço também a Beth, Moraes, Anselmo pelas conversas descontraídas, e é claro pela ajuda sempre que solicitados.

A Rural, pelos anos de ensinamentos e pelas lições de vida.

Aos amigos que fiz durante todo esse tempo na UFRRJ.

Ao Professor e co-orientador Everaldo Zonta pela grande ajuda prestada e pela confiança em mim depositada.

Ao meu orientador Nelson Mazur.

Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo da UFRRJ.

Ao Laboratório Solo-Planta, Laboratório de Fertilidade do Solo e ao Laboratório de Química do Solo.

A Capes pela bolsa de estudo, A FAPUR e a PETROBRAS pelo financiamento do projeto que resultou neste trabalho.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

E a todos aqueles que por ventura tenha esquecido, peço perdão.

**MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS!!**

## **BIOGRAFIA**

Juliano Bahiense Stafanato nasceu em Vitória da Conquista – BA, em 12 de maio de 1981. Iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 2000, diplomando-se em 2006. Durante a graduação foi monitor da disciplina Fertilidade do Solo durante 2 anos no Departamento de Solos. Em março de 2007 ingressou no Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo (UFRRJ) concluindo em 2009, sob orientação do Professor Nelson Mazur, onde no primeiro ano foi bolsista Capes e no segundo ano foi bolsista do Programa Bolsa Nota 10 da Faperj. Em 2009 ingressou no curso de doutorado, onde foi bolsista Capes, concluindo o curso em fevereiro de 2013.

## RESUMO GERAL

STAFANATO, Juliano Bahiense. **Perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> e avaliação de fertilizantes nitrogenados contendo micronutrientes na cultura do milho (*Zea mays*)**. 2013. 69f. Doutorado (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica de perdas de nitrogênio por volatilização da amônia oriundo de fertilizantes pastilhados de ureia com diferentes micronutrientes (zinco, cobre e boro), avaliando o possível efeito residual destes nutrientes como também seu efeito sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas de milho (*Zea mays*). Os estudos foram realizados em casa de vegetação localizada na área experimental do Departamento de Solos da UFRRJ. O solo utilizado neste trabalho foi proveniente de um horizonte superficial de um Planossolo Háptico (textura arenosa). Para o ensaio de volatilização e efeito residual foram utilizados duas doses de N (100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>), onde os diferentes fertilizantes foram avaliados quanto as perdas de N por um período de 21 dias. Após o período de avaliação das perdas de N foram plantadas no mesmo solo, sementes de milho com intuito de avaliar o efeito residual destes fertilizantes pastilhados contendo micronutrientes. Ao término destes dois ensaios, foram então selecionados dentre os 15 pastilhados de ureia, 9 produtos que apresentaram os melhores resultados, principalmente aqueles que resultaram em maiores reduções nas perdas de N por volatilização, que foram então avaliados quanto ao seu efeito no crescimento e desenvolvimento de plantas de milho, variedade Sol da Manhã. O micronutriente boro presente nos pastilhados de ureia influenciaram positivamente na redução das perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização, principalmente quando presente na maior concentração (4,0% B), reduzindo as perdas de N em 50% (dose de 100 kg ha<sup>-1</sup>) e em 64% (dose de 200 kg ha<sup>-1</sup>) as perdas em relação a ureia perolada. De forma geral, os pastilhados de ureia contendo micronutrientes, principalmente B de forma isolada e/ou associado com Zn e Cu demonstraram ser uma alternativa promissora de novos fertilizantes com objetivo de reduzir as perdas de N por volatilização. Não houve efeito da aplicação dos diferentes fertilizantes nitrogenados em aumentar as quantidades residuais de N no solo. A aplicação dos pastilhados de ureia contendo os micronutrientes Zn, Cu e B isolados e/ou associados aumentaram as quantidades destes no solo. As maiores adições dos micronutrientes Zn, Cu e B no solo via ureia pastilhada refletiram-se, conseqüentemente, em maiores quantidades destes elementos na planta de milho. A adição de zinco via aplicação de ureia pastilhada não apresentou efeito positivo em incrementar o crescimento da planta de milho como esperado. Possivelmente, pois as quantidades de zinco no solo foram suficientes para suprir as necessidades das plantas. A presença de boro nos pastilhados de ureia influenciaram o acúmulo de N nas plantas, principalmente para concentrações de B no fertilizante acima de 2,0%.

**Palavras-chave:** Eficiência de fertilizantes. Fertilizantes pastilhados. Nitrogênio.



## GENERAL ABSTRACT

STAFANATO, Juliano Bahiense. **Volatilization losses of N-NH<sub>3</sub> and evaluation of nitrogen fertilizer containing micronutrients in maize (*Zea mays*)**. 2013. 69p. Thesis (Doctor Science in Agronomy - Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.

This study aimed to evaluate the dynamics of nitrogen losses by volatilization of ammonia from urea fertilizers pelletized with different micronutrients (zinc, copper and boron), and to evaluate possible residual effect of these nutrients as well as the effect on the growth and development of corn (*Zea mays*) plants. The studies took place in a greenhouse at the experimental area of the Soils Department of Federal Rural University of Rio de Janeiro. The soil used in this study was sampled from surface horizon of a Fragiudult soil and had sandy texture. For testing volatilization and residual effect of nitrogen two doses (100 and 200 kg ha<sup>-1</sup>) were applied. The fertilizers were evaluated for N losses for a period of 21 days. After the period of the N losses evaluation, corn seeds were planted in the same soil, to assess the residual effect of these pelletized fertilizer containing micronutrients. After these two experiments, they were selected, among the 15 pelletized urea formulas, 9 products that showed the best results, especially those which resulted in decreasing N losses by volatilization. These products were then evaluated for their effect on growth and development of corn plants, using the variety *Sol da Manhã*. The amount of the micronutrient boron in the pelletized urea positively influenced the reduction of N losses by NH<sub>3</sub> volatilization, particularly when in higher concentration (4.0% B), reducing N losses by 50% (rate of 100 kg ha<sup>-1</sup>) and 64 % (dose of 200 kg ha<sup>-1</sup>) compared to the pearly urea. In general, the pelletized urea containing micronutrients, especially B, single or associated with Zn and Cu, showed to be a promising alternative for new fertilizers, with the goal of reducing N losses by volatilization. There was no effect of the different nitrogen fertilizers application as for increasing residual N in the soil. The application of the pelletized urea containing Zn, Cu and B micronutrients, single and / or associated, increased their quantities in the soil. The largest additions of the micronutrients Zn, Cu and B in the soil, using the pelletized urea, consequently, reflected in greatest amounts of these elements in the maize plant. The addition of zinc by application of pelletized urea did not show positive effect in the growth of corn plant as expected. Possibly, due to zinc quantities in the soil sufficient to supply the plants requirement. The presence of boron in the pelletized urea influenced the accumulation of N in the plants, especially for B concentrations in the fertilizer above 2.0 %.

**Key words:** Fertilizer efficiency. Fertilizer pellet. Nitrogen.

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Resultados da análise química e granulométrica do solo utilizado, onde m-saturação por Al; n-saturação por Na. ....	17
<b>Tabela 2.</b> Caracterização dos fertilizantes pastilhados com micronutrientes. ....	19
<b>Tabela 3.</b> Quantidades de Zn, Cu e B ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) adicionados no solo oriundo dos fertilizantes nitrogenados pastilhados e dos produtos comerciais em função da dose de N aplicada. ....	20
<b>Tabela 4.</b> Perda total de $\text{N-NH}_3$ por volatilização após 21 dias da aplicação dos diferentes fertilizantes nitrogenados em função da dose de N aplicada. ....	26
<b>Tabela 5.</b> Acúmulo de massa seca de plantas de milho (MSP) e acúmulos residuais de N na planta (NP) e no solo (NS) pela aplicação de diferentes fertilizantes nitrogenados contendo micronutrientes em função de diferentes doses de N. ....	38
<b>Tabela 6.</b> Efeito residual de diferentes fertilizantes nitrogenados contendo micronutrientes sobre o acúmulo de zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B) no solo em função de diferentes doses de N. ....	41
<b>Tabela 7.</b> Efeito residual de diferentes fertilizantes nitrogenados contendo micronutrientes sobre o acúmulo de zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B) em plantas de milho em função de diferentes doses de N. ....	42
<b>Tabela 8.</b> Caracterização dos fertilizantes pastilhados com micronutrientes. Quanto as suas concentrações de N, Zn, Cu e B. ....	50
<b>Tabela 9.</b> Quantidades de nutrientes no solo após 60 dias de cultivo da planta de milho, referente a uma aplicação de $100 \text{ kg N ha}^{-1}$ dos diferentes fertilizantes nitrogenados. ....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> . Casa de vegetação onde foram realizados os experimentos.....	17
<b>Figura 2-</b> Esquema do sistema coletor de N-NH <sub>3</sub> semi-aberto livre estático – SALE (Araújo et al., 2006, 2009 e Araújo, 2008). .....	22
<b>Figura 3.</b> Temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação durante o período de monitoramento das perdas de N-NH <sub>3</sub> por volatilização. ....	23
<b>Figura 4.</b> Perdas diárias de N-NH <sub>3</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 100 kg N ha <sup>-1</sup> . ....	27
<b>Figura 5.</b> Perdas diárias de N-NH <sub>3</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 200 kg N ha <sup>-1</sup> . ....	28
<b>Figura 6.</b> Perdas diárias de N-NH <sub>3</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Cu e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 100 kg N ha <sup>-1</sup> . ....	29
<b>Figura 7.</b> Perdas diárias de N-NH <sub>3</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Cu e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 200 kg N ha <sup>-1</sup> . ....	29
<b>Figura 8.</b> Perdas diárias de N-NH <sub>3</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + B e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 100 kg N ha <sup>-1</sup> . ....	30
<b>Figura 9.</b> Perdas diárias de N-NH <sub>3</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + B e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 200 kg N ha <sup>-1</sup> . ....	31
<b>Figura 10.</b> Perdas diárias de N-NH <sub>3</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e B e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 100 kg N ha <sup>-1</sup> . ....	32
<b>Figura 11.</b> Perdas diárias de N-NH <sub>3</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e B e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 200 kg N ha <sup>-1</sup> . ....	33
<b>Figura 12.</b> Perdas diárias de N-NH <sub>3</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e B e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 100 kg N ha <sup>-1</sup> . ....	34
<b>Figura 13.</b> Perdas diárias de N-NH <sub>3</sub> (kg ha <sup>-1</sup> ) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e B e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 200 kg N ha <sup>-1</sup> . ....	35
<b>Figura 14.</b> Melhores produtos a base de ureia pastilhada com micronutrientes quanto a redução das perdas de N-NH <sub>3</sub> por volatilização após aplicação de uma dose de 100 kg N ha <sup>-1</sup> . Onde: ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-2 (42,35% N e 1,0% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-3 (43,035% N, 0,5% Zn e 0,5% B), ureiaCuB-1 (38,8% N, 0,5% Cu e 2,0% B), UG (ureia granulada, 46% N). ....	35

- Figura 15.** Melhores produtos a base de ureia pastilhada com micronutrientes quanto a redução das perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização após aplicação de uma dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup>. Onde: ureiaZn-1 (44,35% N e 0,5% Zn), ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-2 (42,35% N e 1,0% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-2 (41,1%N, 2,0% Zn e 0,5% B), UG (ureia granulada, 46% N)..36
- Figura 16.** Acúmulo de Massa Seca de Planta (MSP – g.vaso<sup>-1</sup>) de milho após 60 dias de cultivo, referente aos diferentes fertilizantes nitrogenados. ....53
- Figura 17.** Acúmulo total de N (g tratamento<sup>-1</sup>) na planta de milho (parte aérea) após 60 dias de cultivo referente aos diferentes fertilizantes nitrogenados. ....54
- Figura 18.** Acúmulo total de B (g tratamento<sup>-1</sup>) na planta de milho (parte aérea) após 60 dias de cultivo referente aos diferentes fertilizantes nitrogenados. ....55
- Figura 19.** Acúmulo total de Cu (g tratamento<sup>-1</sup>) na planta de milho (parte aérea + raíz) após 60 dias de cultivo referente aos diferentes fertilizantes nitrogenados. ....56
- Figura 20.** Acúmulo total de Zn (g tratamento<sup>-1</sup>) na planta de milho (parte aérea + raíz) após 60 dias de cultivo referente aos diferentes fertilizantes nitrogenados. ....57

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA GERAL.....	2
2.1	Fertilizantes Nitrogenados.....	2
2.2	Urease.....	3
2.3	Perdas, Redução e Quantificação de N-NH <sub>3</sub> Volatilizado Provenientes dos Fertilizantes .....	8
2.4	Nutrição da Cultura do Milho .....	10
3.	CAPITULO I PERDAS POR VOLATILIZACAO DE N-NH <sub>3</sub> E EFEITO RESIDUAL DE UREIA PASTILHADA COM DIFERENTES MICRONUTIENTES .....	13
3.1	RESUMO .....	14
3.2	ABSTRACT.....	15
3.3	INTRODUÇÃO .....	16
3.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3.4.1	Local de realização dos estudos .....	17
3.4.2	Solo utilizado.....	17
3.4.3	Caracterização química dos fertilizantes pastilhados .....	18
3.4.4	Ensaio de volatilização .....	20
3.4.5	Efeito residual.....	22
3.4.6	Temperatura e umidade do ar relacionado ao ensaio de volatilização.....	22
3.4.7	Análise estatística .....	23
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	24
3.5.1	Perdas de N-NH <sub>3</sub> por volatilização.....	24
3.5.2	N-Residual .....	36
3.6	CONCLUSÕES.....	43
4.	CAPÍTULO II AVALIAÇÃO DE DIFERENTES FERTILIZANTES NITROGENADOS PASTILHADOS COM MICRONUTRIENTES EM SOLO CULTIVADO COM MILHO (ZEA MAYS).....	44
4.1	RESUMO .....	45
4.2	ABSTRACT.....	46
4.3	INTRODUÇÃO .....	47
4.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	49
4.4.1	Local de realização do experimento .....	49
4.4.2	Solo utilizado.....	49
4.4.3	Condução do experimento .....	49
4.4.4	Parâmetros avaliados .....	50
4.4.5	Análise estatística .....	50
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
4.5.1	Quantidade de nutrientes no solo .....	51
4.5.2	Acúmulo de massa seca de planta .....	52
4.5.3	Acúmulo de nutrientes na planta de milho .....	53
4.6	CONCLUSÕES.....	58
5.	CONCLUSÕES GERAIS .....	59
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	60
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A adubação nitrogenada é uma prática recomendada quando a planta não consegue se desenvolver adequadamente com o nitrogênio (N) fornecido pelo solo. Entretanto, apenas uma pequena parte deste N liberado pelos fertilizantes é utilizada pelas diversas culturas, devido, principalmente, a baixa eficiência do fertilizante ureia, em função de apresentar altas perdas de N por volatilização da amônia ( $\text{NH}_3$ ). Segundo Rao (1992) e Boaretto et al. (2007) a recuperação do nitrogênio fornecido através da adubação mineral pelas plantas é normalmente inferior a 50% e 40%, respectivamente.

A ureia é considerada um dos mais importantes fertilizantes nitrogenados devido ao seu baixo custo relativo por unidade de nitrogênio e sua alta solubilidade em água. Esse fertilizante apresenta, no entanto, limitações quanto às perdas de N que podem comprometer sua eficiência. A principal forma de perda de N ocorre através da hidrólise da ureia, fenômeno denominado de volatilização da amônia. Logo que aplicada no solo, a ureia é rapidamente hidrolisada nos três primeiros dias (Byrnes, 2000). Esta hidrólise é mediada pela urease, caracterizada como uma enzima extracelular capaz de quebrar a molécula de ureia liberando para a atmosfera a amônia ( $\text{NH}_3$ ).

Compostos com potencial de atuar como inibidores da urease têm sido testados com a finalidade de retardar a hidrólise da ureia e, conseqüentemente, diminuir as perdas de N por volatilização. Diversos estudos revelaram que alguns micronutrientes, podem inibir a atividade da urease no solo (Wyszkowska et al., 2005; Gabrovská & Godjevargova, 2009; Lijun et al., 2009), diminuindo então a hidrólise da ureia, fazendo com que provavelmente a eficiência no uso do N seja aumentada e, conseqüentemente, diminuindo suas perdas, principalmente por volatilização da amônia. Dessa forma a utilização de certos micronutrientes associados com a adubação nitrogenada, principalmente ureia, pode ter sua eficiência aumentada, como também, ser uma fonte de micronutrientes como, por exemplo, o zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B), incrementando a produtividade de cultivos agrícolas.

As quantidades de micronutrientes recomendadas em programas de adubação, entre eles, Zn e Cu, são muito pequenas, dificultando sua aplicação uniforme. Em razão disto, tanto os fertilizantes sólidos como os fluídos contendo NPK, são utilizados como carregadores de micronutrientes (Mortvedt, 1979). A adição destes elementos aos fertilizantes granulados NPK é uma das alternativas mais prática e econômica, feita através da incorporação, durante a granulação, ou revestindo o grânulo após o processamento industrial (Young, 1969; Mortvedt, 1977).

O efeito residual de fertilizantes, especialmente os que contém micronutrientes se torna de extrema importância para que se possa definir suas doses e os intervalos de aplicação, envolvendo não só o conhecimento das fontes de micronutrientes utilizadas, e sim também das próprias doses, métodos de aplicação, quantidades exportadas pelas diferentes culturas, manejo dos restos culturais, tipos de solo e o sistema de produção.

Deste modo, o objetivo geral foi avaliar a viabilidade agrônômica de fertilizantes pastilhados a base de ureia com diferentes micronutrientes em aumentar a eficiência no uso de N-ureiana cultura do milho (*Zea mays*).

Com base no objetivo geral, diferentes ensaios experimentais foram realizados, de modo que a presente tese foi dividida em dois capítulos, a saber:

Capítulo I: Perdas por volatilização de N- $\text{NH}_3$  e efeito residual de ureia pastilhada com diferentes micronutrientes.

Capítulo II: Avaliação de diferentes fertilizantes nitrogenados pastilhados com micronutrientes em solo cultivado com milho (*Zea mays*).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA GERAL

### 2.1 Fertilizantes Nitrogenados

O grande desafio do setor agrícola nas próximas décadas será aumentar a produção de alimentos para atender o crescimento da população mundial. E o Brasil é um dos poucos países com grandes possibilidades de participar desse processo, uma vez que possui tecnologias sustentáveis de produção para atingir incrementos de produtividade em muitas culturas. O Brasil, com os seus 550 milhões de hectares de superfície agrícola potencial, é classificado em 4º lugar no consumo de fertilizantes NPK, mas em 6º lugar quando se considera o consumo de nitrogênio (Lopes & Bastos, 2007).

Estima-se que o consumo de fertilizantes na agricultura brasileira em 2015 seja de 3,8 milhões de toneladas de N; 5,2 milhões de toneladas de  $P_2O_5$  e 5,8 milhões de toneladas de  $K_2O$ . Este aumento no consumo de nutrientes será muito mais em função do aumento da área plantada – passando de 71,7 milhões de hectares em 2007 para 95,2 milhões de hectares em 2015 – do que propriamente do aumento no consumo médio de nutrientes por hectare. Espera-se que a dose média utilizada, atualmente, de 144 kg de N- $P_2O_5$ - $K_2O$  por hectare chegue a 156 kg ha<sup>-1</sup> em 2015 (Lopes & Bastos, 2007).

Os principais adubos nitrogenados produzidos no mundo são sintetizados a partir do  $N_2$  atmosférico e do H, o qual é obtido de combustíveis fósseis, principalmente gás natural, mas pode vir da hidrólise da água por meio de energia elétrica, sendo esta uma fonte pouco competitiva aos preços atuais. O processo de síntese de  $NH_3$  foi desenvolvido no início do século XX por Fritz Haber e Carl Bosh e marcou o início da agricultura moderna. Cerca de 1,2 a 1,8% do consumo global de energia fóssil é utilizada para a produção de fertilizantes, e destes, 92,5% é usada para a produção de fertilizantes nitrogenados (Lag Reid et al., 1999).

A ureia contém 44 a 46% de N, na forma amídica, a qual é hidrolisada rapidamente no solo a amônio pela ação da enzima urease. A principal desvantagem da ureia é a possibilidade de perdas de N por volatilização da  $NH_3$ , especialmente quando o fertilizante é aplicado na superfície do solo.

De modo geral, as perdas de N para o ambiente, com o conseqüente menor aproveitamento do N pelas culturas, estão associadas à concentração na solução do solo, de formas solúveis de N em geral, ou das formas mais susceptíveis a perdas. Uma das maneiras de aumentar a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados é o uso de fertilizantes de liberação lenta ou controlada ou com inibidores para evitar a rápida transformação do N contido no fertilizante em formas de N menos estáveis em determinados ambientes. Os produtos ditos “Fertilizantes com Eficiência Aumentada” são formados por: (a) “Fertilizantes de liberação lenta”, em relação a uma fonte solúvel de referência, e incluem fertilizantes recobertos, encapsulados, insolúveis em água ou lentamente solúveis em água; e (b) “Fertilizantes estabilizados”, que contém aditivos para aumentar o tempo de disponibilidade no solo, tais como inibidores de nitrificação, inibidores de urease ou outros aditivos (Cantarella, 2007).

Os inibidores de nitrificação diminuem a taxa de nitrificação ao interferir na atividade de bactérias do grupo das Nitrossomonas, bloqueando a transformação do  $NH_3$  em  $NO_2^-$  e, assim, preservando, por algum tempo, o N na forma amoniacal, menos sujeito a perdas por lixiviação. Há muitos anos, existe o interesse pelo uso de inibidores de urease para reduzir a taxa ou velocidade de hidrólise da ureia e, assim, reduzir as perdas de N por volatilização. Informações sobre os primeiros produtos desenvolvidos para esse fim foram revisadas por Radel et al. (1988) e, mais recentemente, por Watson (2000) e Trenkell (2010).

Entre os produtos disponíveis no mercado para inibir a atividade da urease, encontra-se o NBPT, que é um composto que apresenta características de solubilidade e difusividade similares as da ureia (Radel et al., 1988; Watson, 2000) e vem mostrando os melhores resultados. O NBPT não é um inibidor direto da urease. Ele tem de ser convertido em seu análogo de oxigênio (fosfato de N-n-butiltriamida – NBPTO) que é o verdadeiro inibidor. A conversão do NBPT em NBPTO é rápida em solos arejados (minutos ou horas), mas pode levar vários dias em condições de solos inundados (Watson, 2000).

Depois de aplicado ao solo junto com a ureia, o NBPT inibe sua hidrólise por um período de 3 a 14 dias, de acordo com condições de umidade e temperatura do solo. Testes realizados no Brasil indicam que, para a maioria das situações, o período de intensa inibição varia de 3 a 7 dias, após o NBPT perde gradativamente o seu efeito (Cantarella, 2007).

## 2.2 Urease

A urease foi à primeira enzima a ser obtida na forma cristalina. Embora, a sua ação sobre a ureia tenha sido estudada por um grande número de pesquisadores, sua cinética não é tão simples de ser entendida. Sumner et al. (1931) foram os primeiros a demonstrar que o carbamato de amônio é formado como um dos primeiros produtos da hidrólise da ureia.

A urease são metalo - enzimas dependentes de níquel (Dixon et al, 1975) que catalisam a reação de hidrólise da ureia a amônia e carbamato, o qual se decompõe espontaneamente para formar dióxido de carbono e uma segunda molécula de amônia (Wang & Tarr, 1955). Conforme a classificação das enzimas regulamentada pela União Internacional de Bioquímica e Biologia Molecular (IUBMB), a urease recebe o nome de amidohidrolase e possui a seguinte classificação enzimática: EC 3.5.1.5, onde:

- EC – Classificação enzimática;
- 3 – Classes das Hidrolases (enzima que catalisa reações de hidrólise);
- 5 – Tipo de ligação: subclasse das Hidrolases que quebram ligações C-N;
- 1 – Subclassificação do tipo de ligação: subclasse das Hidrolases que quebram ligações C-N em amida linear;
- 5 – Número de ordem enzimática.

A enzima urease é comum na natureza sendo produzida por microrganismos, plantas e animais. A urease presente nos solos é proveniente da síntese realizada principalmente pelas bactérias (Bremner & Mulvaney, 1978; Frankenberger & Tabatabai, 1982). Sua presença no solo foi primeiro identificado por Rotini (1935), posteriormente surgiram trabalhos publicados por Conrad (1942), evidenciando que os solos continham urease e indicando ser tal enzima a responsável pela conversão do nitrogênio da ureia em amônia. As plantas também são fontes ricas de urease, entre elas a soja, plantas daninhas e o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (Frankenberger & Tabatabai, 1982). No entanto, não há evidência direta da produção de urease pelas raízes de plantas (Esterman & McLaren, 1961). A urease também está presente no intestino dos animais e assim nos seus excrementos. Portanto, a adição de material vegetal e resíduos animais podem fornecer urease para o solo.

Paulson & Kurtz (1969) estimaram que 79 a 89% da atividade da urease em solos é devido a enzimas extracelulares, adsorvidas aos colóides do solo. A atividade de urease é maior em plantas e resíduos vegetais do que em solo; portanto, solos contendo restos de cultura (plântio direto, áreas manejadas com resíduos de plantas na superfície dos solos) tendem a apresentar maior atividade de urease. Barreto & Westerman (1989) observaram que a atividade de urease em resíduos de cultura era cerca de trinta vezes maior e em solos sob plântio direto (SPD) quatro vezes maior do que em solos sob cultivo tradicional.

Dentre os fatores que influenciam na atividade enzimática da urease estão a concentração do substrato, o nível de umidade, a temperatura, o pH e o conteúdo de matéria orgânica. Portanto, as perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  são afetadas por fatores



climáticos e ambientais e são favorecidas nas condições do verão brasileiro, nas quais predominam altas temperaturas e umidade.

Numerosos estudos têm demonstrado que a atividade da urease nos solos aumenta com a elevação da temperatura de 10 para 40°C (Conrad, 1942; Dalal, 1975; Zantua & Bremner, 1977; Bremner & Mulvaney, 1978; Kumar & Wagenet, 1984; Lai & Tabatabai, 1992), mas, a hidrólise e as perdas por volatilização de NH<sub>3</sub> diminuem rapidamente com o decréscimo da temperatura. No entanto, em alguns solos, a atividade da urease tem apresentado um aumento muito acentuado com o aumento da temperatura de 40 para 70°C, mas a sua atividade diminui rapidamente acima dessa temperatura (Pettit et al., 1976; Zantua & Bremner, 1977; Sahrawat, 1984). Entretanto, Dash et al. (1981) relataram que a temperatura de 47°C é a considerada ótima para a atividade da urease. Não há motivo aparente para esses diferentes resultados. Possivelmente, isto pode ser devido a diferentes metodologias utilizadas para mensurar a atividade da urease. Dash et al. (1981) utilizou um método “buffer” para avaliar a atividade da urease, enquanto Zantua & Bremner (1977) utilizaram o método “não-buffer”. Entretanto, Sahrawat (1984) demonstrou que a temperatura ótima para a atividade da urease nos solos foi praticamente à mesma para ambos os métodos.

Mudanças na atividade de H<sup>+</sup> influenciam as enzimas, o substrato, e co-fatores por alterarem sua ionização e solubilização. Variações nas propriedades, tais como, ionização e solubilização influenciam a taxa de reação catalisada pelas enzimas. Enzimas de características protéicas apresentam acentuadas mudanças na ionização pela flutuação do pH. Muitos pesquisadores têm mostrado que o pH afeta a atividade da urease livre (Frankenberger & Tabatabai, 1982; Lai & Tabatabai, 1992), urease nativa (May & Douglas, 1976; Mulvaney & Bremner, 1981; Perez-Matoes & Gonzales-Carcedo, 1988), urease imobilizada (Lai & Tabatabai, 1992) e urease em extratos do solo (Pettit et al., 1976; Nannipieri et al., 1978). Geralmente, a urease livre é mais ativa em pH neutro e a urease do solo é mais ativa em níveis de pH levemente alcalino. No entanto, diferentes faixas de pH considerado ótimos (entre 5,87 e 9,0) tem sido relatados na literatura.

A água desempenha papel importante e complexo sobre a hidrólise da ureia, diferentes resultados sobre o efeito do teor de água sob a atividade da urease têm sido relatados. A hidrólise da ureia aumenta com o incremento do conteúdo de água no solo até próximo da sua capacidade de campo, seguido posteriormente por uma tendência decrescente (Velk & Carter, 1983; Savant et al., 1985; Antil et al., 1993). Sahrawat (1984) observou uma constante atividade da urease quando o teor de umidade aumentou além da capacidade de campo. A atividade da urease depende da umidade do solo, em solo seco, a ureia pode permanecer estável (Volk, 1966), mas a taxa de hidrólise aumenta conforme o teor de água no solo se eleva, até que se atinja 20% de umidade, a partir deste ponto, a taxa de hidrólise é pouco alterada pelo teor de água (Bremner & Mulvaney, 1978). Portanto, a aplicação de ureia em solo seco é preferível a sua adição em solo úmido (Terman, 1979; Lara Cabezas et al., 1992).

Muitos trabalhos têm demonstrado que a atividade da urease no solo é positivamente correlacionada com o carbono orgânico e o N-total, que são indicadores do conteúdo de matéria orgânica nos solos. Vários pesquisadores têm observado um aumento na atividade da enzima após a incorporação de matéria orgânica no solo (Zantua & Bremner, 1976; Nannipieri et al., 1983). A incorporação de materiais orgânicos no solo promove a atividade microbiana e conseqüentemente a atividade da urease no solo (Zantua & Bremner, 1976; Nannipieri et al., 1983; Bolton et al., 1985; Al-Rashidi & Al-Jabri, 1990). O aumento dos níveis da atividade da urease em solos orgânicos tem sido, geralmente, atribuído ao incremento da biomassa microbiana, embora a evidencia adicional mostre que os materiais vegetais têm contribuído diretamente para o aumento das enzimas no solo (Zantua & Bremner, 1976; Kumar & Wagenet, 1984). Microrganismos associados com materiais orgânicos podem também contribuir para o aumento da enzima urease no solo.

A presença de resíduos vegetais relativamente frescos resulta freqüentemente em maiores teores de urease no solo (Zantua & Bremner, 1976). O tipo de vegetação e a quantidade do material orgânico incorporado também influenciam a atividade da urease (Pancholy & Rice, 1972). Palma & Conti (1990) observaram que, em solos com vegetação de eucalipto, há alta concentração de lignina e celulose no material orgânico incorporado, o que pode provocar mudanças na comunidade de microrganismos do solo, acarretando assim mudanças na atividade enzimática.

A hidrólise da ureia em solos geralmente segue a cinética de Michalis-Menten, sendo o solo dito como um sistema altamente heterogêneo. Este fenômeno, que é o aumento da taxa de hidrólise com o incremento da concentração de substrato até a enzima ser saturada, tem sido relatado por vários pesquisadores (Tabatabai & Bremner, 1972; Dalal, 1975; Boyd & Mortland, 1985; Lai & Tabatabai, 1992). No entanto, concentrações muito altas de ureia diminuem a taxa de hidrólise devido, provavelmente, a inibição não-competitiva da enzima no substrato ou a desnaturação da enzima em concentrações altas de ureia (Lal et al, 1993).

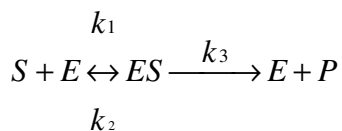
Alguns estudos sobre a concentração de ureia em teste de atividade da urease mostraram que a velocidade de hidrólise da ureia é aumentada com o acréscimo na concentração do substrato, até atingir uma quantidade de ureia adicionada suficiente para saturar a enzima tornando sua atividade constante (Douglas & Bremner, 1971; Tabatabai & Bremner, 1972; Dalal, 1975; Bremner & Mulvaney, 1978; Perez-Matoes & Gonzalez-Carcedo, 1988;). Zantua & Bremner (1977) relataram que a atividade da urease pode estar positivamente relacionado com o teor de N-total do solo. Outros trabalhos também têm confirmado estas observações (Frankenberger & Dick, 1983).

A equação de Michaelis-Menten, é freqüentemente utilizada para descrever a reação catalítica da enzima. O  $K_m$  é uma constante cinética e  $V_{max}$  é a velocidade máxima de reação da enzima com o substrato saturado. O  $K_m$  é um parâmetro útil, refletindo a afinidade entre enzima e substrato. Quanto maior o valor de  $K_m$ , menor é a afinidade. O  $V_{max}$  representa a taxa na qual o complexo enzima-substrato se dissocia em enzima e produto.

A seguir é apresentada a equação de Michaelis-Menten :

$$v = V_{max}[S]/(K_m + [S])$$

Muitas teorias e análises matemáticas de reações enzimáticas são baseadas em conceitos de que uma enzima atua na formação de um complexo ou compostos com o substrato. Presumivelmente, o complexo de enzima e substrato é instável e prossegue de uma etapa ou várias etapas de rearranjo para formar o produto mais a enzima original. Essa teoria da ação da enzima foi proposta por Michaelis & Menten (1913 citado por Tabatabai, 1994), e pode ser expresso pela equação:



onde S é o substrato, E é a enzima, ES é o complexo intermediário enzima-substrato, P é o produto da reação, e  $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$  são as respectivas velocidade de reação constante dos três processos.

Micronutrientes como o íon  $Cu^{2+}$  poderão causar mudanças no centro ativo e na estrutura da urease, diminuindo, assim, a concentração desta enzima. O mecanismo de supressão pode estar relacionado com a formação de complexos estáveis através da combinação do  $Cu^{2+}$  com mercaptana e ligante - imidazoli da urease do solo. Por outro lado, este pode ser o resultado da inibição do crescimento de microrganismos e a sua reprodução no

solo por metais pesados, reduzindo assim a síntese e secreção de enzimas e, finalmente levando a diminuição da atividade enzimática (He Wenxiang et al., 2002).

Lijun et al. (2009) avaliando a atividade da urease em função de diferentes concentrações de  $\text{Cu}^{2+}$  encontraram que a atividade da urease foi de  $4,61 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  em  $0,020 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  de concentração de ureia no tratamento com adição de cobre. Quando a concentração de ureia aumentou para 0,050; 0,100; 0,200  $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , a atividade da urease nosolo aumentou 1,23; 1,38 e 1,66 vezes, respectivamente. Os resultados indicam que a atividade da urease foi reforçada antes do substrato (ureia), onde as concentrações encontravam-se saturadas, mostrando uma estreita relação entre a atividade enzimática e o substrato, conforme relatado por He Wenxiang et al. (2002). Isso ocorre porque a saturação do centro ativo das enzimas aumentou com o incremento da concentração do substrato (ureia).

A enzima urease contém um ou mais grupos sulfidríla, que são partes ativas damolécula. A inibição provocada pelos metais é devido à ligação do metal nestes grupos e a formação de sulfitos insolúveis, conseqüentemente, o melhor inibidor será o que tiver maior afinidade com o grupo sulfidríla e formar o composto sulfito mais insolúvel (Shaw, 1954).

O poder inibidor do ácido bórico também foi relatado (Benini et al., 2004). A urease tem, no sítio ativo, dois átomos de níquel (Ni) ligados por uma hidroxila. A ação de inibição feita pelo ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) é por ficar simetricamente entre os dois átomos de Ni, e ter forma geometricamente semelhante ao substrato ureia. Portanto o  $\text{H}_3\text{BO}_3$  é considerado como um substrato análogo (Benini et al., 2004). A efetividade dos compostos inorgânicos parece ser um tanto baixa (Bremner & Douglas, 1971; Tabatabai, 1977), além disso, alguns desses elementos são metais pesados e podem contaminar os solos. Por outro lado, micronutrientes adicionados à ureia em taxas compatíveis com seus empregos como micronutrientes pode ser de interesse se eles apresentarem alguma inibição da urease ou se tiverem alguma sinergia com inibidores orgânicos mais eficientes.

Entre os micronutrientes de interesse e que tem mostrado capacidade de inibir a urease estão o Cu e o B (ácido bórico). Não há certeza sobre a concentração de Cu que seja efetiva. Alguns estudos revelam que concentrações baixas,  $4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cobre (sulfato de cobre) na ureia, reduziram a volatilização de  $\text{N}\text{-NH}_3$  (Sor et al., 1966, citado por Kiss & Simihaian, 2002), entretanto, em outros casos a redução só foi significativa acima de  $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , na qual proporcionou redução de 27% na perda (Winiarski, 1990, citado por Kiss & Simihaian, 2002). O efeito do ácido bórico tem sido relatado em concentrações de  $4,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  de B na ureia, com 17% na redução de volatilização de  $\text{N}\text{-NH}_3$ , (Sor, 1968, citado por Kiss & Simihaian, 2002) e de  $9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  reduzindo em 50% as perdas (Nömmik, 1973).

O conceito biológico de inibidor enzimático diz respeito à substância que é capaz de interferir, de maneira específica na taxa de uma reação de catálise enzimática retardando ou reduzindo o processo ou a especificidade biológica da reação. Os processos de inibição de enzimas estão divididos em dois tipos, inibição reversível e inibição irreversível. A diferença básica está na formação do complexo enzima-inibidor, que pode ou não ser desfeito por etapas de diluição ou diálise, dependendo do processo (Dixon & Webb, 1964; Lehninger, 2003).

Os inibidores reversíveis levam à formação de um complexo em um sistema em equilíbrio, no qual a enzima apresenta um grau definido de inibição, que é dependente das concentrações dos reagentes no meio (enzima, inibidor e substrato), permanecendo constante a partir de um tempo determinado. O processo de inibição reversível pode ser dividido em três tipos básicos: competitivo, não competitivo e incompetitivo.

No processo de inibição irreversível, o inibidor liga-se ao sítio ativo da enzima de maneira irreversível, geralmente por formações de ligações covalentes, podendo até promover a destruição de grupos funcionais essenciais para a enzima. A inibição irreversível é

progressiva, aumentando com o tempo, até atingir a máxima absorção. Os inibidores irreversíveis são muito úteis em estudos de mecanismo de reação (Lehninger, 2003).

O inibidor ocupa o local de atuação da urease e inativa a enzima (Mobley & Hausinger, 1989). Assim, retarda o início e reduz o grau de velocidade de volatilização de  $\text{N-NH}_3$ . O atraso na hidrólise reduz a concentração de  $\text{N-NH}_3$  presente na superfície do solo, diminui o potencial de volatilização de  $\text{N-NH}_3$  e permite o deslocamento da ureia para horizontes mais profundos do solo (Christianson et al., 1990).

Avaliando os efeitos de diferentes concentrações de  $\text{Cu}^{2+}$  sobre os parâmetros cinéticos da urease no solo, Lijun et al. (2009) encontraram também que com o aumento das concentrações de  $\text{Cu}^{2+}$ , o  $V_{\text{max}}$  da urease do solo tende a reduzir constantemente, apresentando uma correlação negativa, no entanto, os valores de  $K_m$  da urease do solo modificam muito pouco. Este fato pode ser visto, claramente, porque o Cu poderia afetar levemente a afinidade entre a urease do solo e o substrato, ou seja, o Cu não exerce nenhuma influência sobre a configuração da urease no solo, assim a diminuição da atividade da urease no solo pode ser efetuada pela inibição por dissociação dos compostos ureia-urease (Aliyev et al., 1984; Dalal, 1985). Dessa forma, é revelado que o mecanismo de reação entre Cu e a urease do solo é uma inibição reversível não-competitiva.

Juan et al. (2009) avaliando a cinética da urease no solo após aplicação de diversos inibidores da urease, verificaram que estes aumentaram os valores de  $K_m$ , possivelmente devido à formação de um complexo inibidor-enzima, diminuindo a afinidade da urease pelo substrato (Goldstein, 1976). O aumento do  $K_m$  forneceu evidências de que a aplicação do inibidor da urease em conjunto com a ureia poderia retardar a hidrólise da ureia e assim aumentar a eficiência da utilização do N deste fertilizante (Zhao & Zhou, 1991).

Essa diferença na eficácia dos inibidores testados foi provavelmente atribuída às suas propriedades funcionais e estruturais de cada composto. A hidroquinona (HQ) é derivada do fenol, é facilmente solúvel e oxidada, resultando em uma curta duração de tempo quanto a eficiência da urease no solo, já o PPD e o NBPT que são derivados de fosforilamida (Schlegel et al., 1986; Byrnes & Freney, 1995) possuem estrutura similar ao da ureia (Van Cleemput & Wang, 1991), tornando-se assim um composto com maior potencial para competir com o substrato pelo sítio ativo da urease (McCarty et al., 1990, Chaiwanakupt et al., 1996). Portanto, a duração e a eficácia do inibidor da urease ligado a urease do solo pode estar relacionado com a velocidade e o tempo de formação do produto, como também dos próprios efeitos sinérgicos dos inibidores como também dos produtos (Douglas & Hendrickson, 1989). Juan et al. (2009) verificaram também que os testes de inibição da urease diminuíram os valores de  $V_{\text{max}}$  da urease do solo, devido a formação de um complexo inibidor-enzima diminuindo a formação e dissociação de um complexo enzima-substrato (Lai & Tabatabai, 1992). A relação  $V_{\text{max}}/K_m$  tem sido considerada como um índice da capacidade catalítica da enzima através de reações enzimáticas. As aplicações de ureia em conjunto com inibidores da urease diminuíram a relação  $V_{\text{max}}/K_m$ , indicando a morte da capacidade catalítica da enzima, fazendo com que a atividade da urease seja diminuída e conseqüentemente diminuindo as perdas de N.

A atividade máxima da invertase e da urease no solo é observada quando não há adição de Cu no solo, entretanto a atividade enzimática diminui de acordo com adições de concentrações crescentes de Cu, mostrando uma correlação negativa entre a atividade enzimática do solo e concentrações de Cu. A diminuição da atividade enzimática do solo é atribuída principalmente ao declínio da síntese da enzima e, posteriormente, a diminuição do crescimento de microrganismos (Gong et al., 1997). O íon de  $\text{Cu}^{2+}$  pode provocar mudanças no centro ativo da estrutura da invertase e da urease no solo, tornando as suas concentrações menores e assim inibindo a decomposição da ureia. Esses mecanismos de supressão pode ser o resultado da inibição do crescimento e reprodução de microrganismos dos solos por metais

pesados, reduzindo assim, a síntese e secreção de enzimas e, finalmente, levando a diminuição da atividade enzimática do solo (Wenxiang et al., 2000). O Cu possui um efeito mutagênico em alguns microrganismos (Giller et al., 1998; Baath, 1989; Golab et al., 1995), reduzindo a população microbiana (Kucharski & Wyszowska, 2004), e inibindo a atividade enzimática (Wyszowska & Kucharski, 2003).

Wyszowska et al. (2005) avaliando diferentes concentrações de Cu sobre a atividade das desidrogenases, urease e fosfatases em diferentes tipos de solo e na presença e ausência de plantas de tremoço, verificaram que a aplicação de doses crescentes de Cu inibiram fortemente a atividade de todas as enzimas estudadas. Este elemento causou notáveis mudanças na atividade enzimática do solo, especialmente nas desidrogenases e na urease. Observaram também que o efeito do Cu na atividade enzimática depende do tipo de solo e de sua exploração, e que a inibição da urease foi maior em solos não semeados.

Guoqing et al. (2006) avaliando o efeito de metais pesados (Cd, Zn e Pb) e de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos na atividade da urease no solo, em função do tempo de incubação, verificaram que as diferenças de sensibilidade na atividade da urease no solo foram relacionadas aos diferentes níveis de concentração dos elementos nos tratamentos (principalmente para concentrações de Zn), e que o Zn isoladamente afetou significativamente a atividade da urease, sendo este efeito maior nos primeiros 7 dias de incubação.

### **2.3 Perdas, Redução e Quantificação de N-NH<sub>3</sub> Volatilizado Provenientes dos Fertilizantes**

O processo de volatilização de N-NH<sub>3</sub> é definido como a transferência de amônia gasosa do solo para a atmosfera, sendo determinado pelo conceito de equilíbrio de concentrações. A perda de N por volatilização da amônia para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da ureia em fornecer nitrogênio às culturas (Khiel, 1989). Estima-se que apenas 40% de N aplicado na forma de fertilizantes ao solo são aproveitados pelas plantas cultivadas (Boaretto et al., 2007).

As perdas por volatilização de NH<sub>3</sub> do solo estão diretamente relacionadas aos fatores climáticos, fontes e doses de N utilizadas e tipos de solos. Entre os fatores climáticos, a temperatura e a precipitação pluviométrica são os que exercem maior influência nas perdas, embora outros fatores como incidência e velocidade do vento sejam também importantes (Martha Júnior, 2003). A temperatura aumenta as perdas através da influência que exercem sobre a atividade da enzima urease, sendo a taxa de hidrólise da ureia aumentada com elevação da temperatura até 40°C (Bremner & Mulvaney, 1978).

Avaliando as perdas de N-NH<sub>3</sub> em função da temperatura, Hu et al. (2007) observaram que, a 35°C, as perdas após aplicações de 500, 1000 e 2000 mg N kg solo<sup>-1</sup>, foram aumentadas em 2, 5 e 3,5 vezes, respectivamente, quando comparadas as perdas à 25°C, mostrando não só a influência da temperatura como também das doses sobre o processo de volatilização. Essa influência da temperatura sobre as perdas de NH<sub>3</sub> indica que, em condições tropicais, o uso da ureia na fertilização nitrogenada alcança menor eficiência agrônômica quando comparado ao seu uso em regiões de clima subtropical e temperado.

As perdas de N-NH<sub>3</sub> possuem relação direta com a velocidade e duração do processo de secagem do solo (Volk, 1966 citado por Urquiaga et al., 1989). Este mesmo autor encontrou que as perdas de NH<sub>3</sub> do sulfato de amônio superaram em 60% as perdas pela ureia. Tal fato explica-se pelo pH alcalino do solo estimulando perdas pelas duas fontes e pela menor reatividade inicial da ureia em relação ao sulfato de amônio, uma vez que o baixo teor de matéria orgânica do solo resulta em baixa atividade da urease, podendo o N-ureia ser difundido às camadas profundas antes de completar a hidrólise na superfície do solo. Urquiaga et al. (1989) relatam também que as perdas do N-fertilizante aplicado na superfície do solo úmido e sobre solo seco com irrigação, foram 42 e 37%, respectivamente, tais valores

são significativamente superiores às perdas nas aplicações sobre a superfície dos solo seco ou enterrado em solo úmido, as quais foram 23,4 e 22%, respectivamente.

Chen et al. (2007) avaliando as perdas por volatilização em função das formas de aplicação dos fertilizantes nitrogenados, observaram que quando aplicado superficialmente, a volatilização é controlada pela temperatura do solo e velocidade do vento, enquanto que aplicada em profundidade, os fatores que regulam o processo de volatilização são temperatura e umidade do solo, CTC e a profundidade de aplicação.

A ureia aplicada no solo normalmente é hidrolisada em 2 ou 3 dias e a taxa de hidrólise depende da temperatura do solo, umidade, quantidade e forma pela qual a ureia é aplicada (Byrnes, 2000). Hu et al. (2007) encontraram que, após aplicação de ureia e de um fertilizante de liberação lenta/controlada, em duas condições de temperatura (25 e 35°C), o pico de volatilização, nas quatro situações, ocorreu no segundo dia após aplicações das fontes. Diversos outros autores encontraram picos de volatilização entre 24 e 72 horas após aplicação da ureia (Rodrigues & Kiehl, 1986; Guedes, 2002; Martha Júnior, 2003; Barbieri & Echeverría, 2003; Ros et al., 2005; Duarte, 2006 e Hu et al., 2007).

Vários trabalhos já foram realizados com o objetivo de reduzir as perdas por volatilização de amônia. Rodrigues & Kiehl (1986), observaram que a aplicação de ureia em cobertura resultou na perda por volatilização de quase todo o nitrogênio, ao passo que, quando incorporada mecanicamente a 5 cm de profundidade permitiu melhor controle das perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$ . Porém, os autores ressaltam que, em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica a capacidade de retenção de amônia é baixa, sendo recomendado que a profundidade de aplicação da ureia seja aumentada de forma a compensar a menor capacidade de retenção destes solos. Os autores observaram também que a aplicação em profundidade mostrou-se mais efetiva em reduzir a volatilização de amônia quando a menor dose de ureia foi utilizada.

A mistura de diferentes fontes nitrogenadas também constitui alternativas para reduzir as perdas de  $\text{NH}_3$ . Em experimento de laboratório, a mistura de ureia com sulfato de amônio reduziu significativamente as perdas de  $\text{N-NH}_3$  por volatilização (Vitti et al., 2002). No entanto, tal procedimento dificulta a aplicação no campo devido às diferentes granulometrias entre as fontes, uma vez que a oferta de sulfato de amônio granulado é reduzida. Além disso, ressalta-se o maior preço por unidade de N apresentado pelo sulfato de amônio.

Vários fertilizantes de liberação lenta ou controlada têm sido desenvolvidos com o objetivo de liberar nutrientes em sincronia com as necessidades das culturas. Estes fertilizantes permitem ainda maiores intervalos de aplicação, pois possuem baixa solubilidade em água. Essa característica é alcançada seja através de coberturas com materiais orgânicos ou inorgânicos ou mesmo por seqüência de membranas que tornam lenta a taxa de liberação do N-fertilizante (Cantarella, 2007).

Outra forma de reduzir as perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  é através da inibição da ação da enzima catalisadora da reação obtida com o uso de compostos orgânicos e inorgânicos denominados inibidores da urease. Em experimento de campo com cana-de-açúcar, Barth et al. (2007) observaram que a ureia aplicada em associação com o inibidor da urease NBPT proporcionou redução de aproximadamente 60% nas perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$ .

No entanto, essas novas tecnologias não têm alcançado ampla difusão na agricultura, devido seus custos elevados, que, associados aos baixos preços alcançados pelas safras, tornam sua utilização na agricultura intensiva inviável economicamente (Blaylock & Dowbenko, 2007; Cantarella, 2007). Seu benefício econômico depende das condições ambientais, potencial de perdas do N, preços em relação aos fertilizantes tradicionais e receita obtida pela safra (Grant, 2007).

A perda de nitrogênio dos fertilizantes tem conseqüências econômicas e ambientais indesejáveis (Bolan et al., 2004; Emmett, 2007). Há diferentes vias de perda de N, das quais a volatilização da amônia pode ser a principal em solos agrícolas (Bouwmeester et al., 1985). A adequada quantificação do N perdido por volatilização de N-NH<sub>3</sub> pode contribuir para o desenvolvimento do fator de emissão de amônia do solo, tanto regional como nacionalmente, além de permitir identificar as melhores estratégias de manejo para reduzir as perdas de N por esse processo (Smith et al., 2007).

A quantificação do total de NH<sub>3</sub> volatilizada do solo pode ser obtida por meio de métodos diretos e indiretos. A quantificação direta é feita com métodos micrometeorológicos e por sistemas de incubação classificados como: fechado estático (Volk, 1959; Sommer & Olesen, 1991); fechado dinâmico (Kissel et al., 1997); e semi-aberto estático (Nõmmik, 1973), que são baseados na captura, em meio ácido, da amônia volatilizada do solo. A calibração desses métodos pode ser realizada pelo método indireto do balanço isotópico de <sup>15</sup>N (Lara-Cabezas & Trivelin, 1990).

Além dos métodos citados, vários outros são encontrados na literatura (McGinn & Janzen, 1998; Loubet et al., 1999; Rochette et al., 2001). Entretanto, a maioria foi avaliada apenas em condições de laboratório (Smith et al., 2007). Além disso, esses métodos geralmente são sofisticados e apresentam elevado custo, dificultando sua utilização em condições de campo. Conforme relatado por Smith et al. (2007), o método para quantificar a volatilização de NH<sub>3</sub> deve ser de fácil reprodução. Esses autores compararam três técnicas nas seguintes câmaras: fechada estática, fechada dinâmica (com túnel de vento) e micrometeorológica, e observaram que a técnica da câmara fechada estática, a mais simples das três estudadas, subestimou a volatilização de NH<sub>3</sub>, quando comparada às demais. Quanto às técnicas de câmara fechada dinâmica e micrometeorológica, apesar dos bons resultados apresentados, são laboriosas e de custo elevado, o que dificulta sua utilização, principalmente em estudos que exigem grande número de repetições.

As câmaras estáticas, semiabertas e fechadas, são as mais simples e, portanto, muito utilizadas em condições de campo (Cantarella et al., 2003; Port et al., 2003). Entretanto, essas câmaras subestimam a volatilização de NH<sub>3</sub>, e a taxa de recuperação pode ser variável.

## 2.4 Nutrição da Cultura do Milho

De acordo com Cobucci (1991), o nitrogênio é um dos nutrientes que apresentam os maiores efeitos no aumento de produtividade da cultura do milho, sendo que, aplicações de nitrogênio podem interferir em diversas características da planta que estão relacionadas ao seu crescimento e desenvolvimento afetando a sua produtividade. Entretanto, para Barker & Mills (1980), além da quantidade de nitrogênio disponível, um fator que pode alterar o crescimento das plantas é a proporção NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup> presente no solo.

O N pode ser encontrado na solução do solo principalmente nas formas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, porém, na maioria dos solos cultivados, em particular nos da região tropical, o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é a principal forma de aquisição de N pelas plantas (Marschner, 1995). O milho absorve tanto a forma nítrica como a amoniacal, embora a idade da planta tenha influência na escolha da forma nitrogenada. O íon NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é utilizado, preferencialmente, nos primeiros estádios de desenvolvimento e o íon NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nos estádios finais (Warncke & Barber, 1973).

Uma vez que o estágio de desenvolvimento da cultura do milho exerce grande influência no aproveitamento do N do fertilizante pelo milho (Mengel & Barber, 1974; Varvel et al., 1997), estudos revelaram respostas diferenciadas quanto à época de aplicação (Lara Cabezas et al., 2005; Silva et al., 2006) e fonte de N aplicada (Coelho et al., 1992; Lara Cabezas et al., 1997; Lara Cabezas et al., 2005). Nesse contexto, estabeleceu-se a hipótese de que as formas de N do nitrato de amônio influenciam o aproveitamento deste nutriente pelo

milho e que a fonte de N (ureia ou nitrato de amônio) influencia seu aproveitamento e a absorção de N do solo ao longo do ciclo do milho.

Em comparação com o suprimento de  $\text{NO}_3^-$ , a utilização de  $\text{NH}_4^+$  pode oferecer vantagens energéticas (Raven et al., 1992). De forma geral, as plantas são hábeis em absorver  $\text{NO}_3^-$ . Todavia, a forma  $\text{NH}_4^+$  seria a mais desejável, pois poderia ser utilizada diretamente na síntese de amins e aminoácidos, proporcionando uma economia de energia para a planta. Por outro lado, o fornecimento de  $\text{NH}_4^+$  como única fonte de N pode ser prejudicial às plantas, causando redução no acúmulo de matéria seca (Barber & Pierzynsky, 1993). Segundo Below (2000), embora o aumento no suprimento de  $\text{NH}_4^+$  nos solos possa melhorar o desempenho da planta, inúmeras espécies têm demonstrado absorver mais N e crescer mais rapidamente quando supridas com misturas de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  que quando adubadas somente com  $\text{NO}_3^-$ .

Apesar da grande importância sobre a nutrição das plantas, ainda são escassos os estudos científicos sobre a melhor nutrição nitrogenada para diferentes culturas, principalmente, a nível de campo, em especial quanto à forma de nitrogênio objetivando aumentar assim a eficiência na produtividade das culturas.

A necessidade nutricional de uma planta é determinada pela quantidade total de nutrientes absorvidos. O conhecimento dessas quantidades permite estimar as taxas que serão exportadas por meio da colheita dos grãos e as que poderão ser restituídas ao solo através dos restos culturais (Bull & Cantarella, 1993).

Apesar do alto potencial produtivo da cultura, evidenciado por produtividades de  $12 \text{ Mg ha}^{-1}$  de grãos e  $70 \text{ Mg ha}^{-1}$  de forragem, alcançadas no Brasil em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas, o que se observa, na prática, são produções baixas e irregulares, ou seja, 2 a  $3 \text{ Mg ha}^{-1}$  de grãos e 10 a  $45 \text{ Mg ha}^{-1}$  de forragem. Esse fato não se deve apenas aos baixos níveis de nutrientes presentes nos solos, mas também ao uso inadequado de calagem e adubações e à alta capacidade extrativa do milho colhido para a produção de forragem. Do ponto de vista nutricional, a planta de milho é considerada exigente, respondendo a aumentos nos níveis de adubação com ganhos crescentes de produtividades, respeitando-se o potencial produtivo da cultivar (Bull & Cantarella, 1993).

O Zn é o micronutriente de efeitos mais significativos na cultura do milho, sendo benéfico para o aumento da altura de plantas, do número de folhas, na produção de forragem e produção de grãos, bem como no aumento no conteúdo total de N e proteína nos grãos (Decaro et al., 1983). As funções básicas do Zn nas plantas estão ligadas ao metabolismo de carboidratos, das proteínas e dos sulfatos e na formação de auxinas, RNA e ribossomos (Borkert, 1989). O Zn é absorvido na forma de  $\text{Zn}^{2+}$  tanto por via radicular como foliar, é um micronutriente que atua como cofator enzimático. É essencial para a atividade, regulação e estabilização da estrutura protéica (Dechen & Nachtigall, 2007).

O milho é uma das plantas que mais respondem à aplicação de zinco no solo, proporcionando ganhos na produção de matéria seca e grãos (Galvão & Mesquita Filho, 1981; Ritchey et al., 1986), inclusive com efeito residual de um cultivo para outro quando em doses acima de  $5 \text{ mg dm}^{-3}$  (Thind et al., 1990).

Fageria (2000) determinou níveis adequados de Zn no solo e na planta, para diversas culturas. No caso do milho, a produção máxima de matéria seca foi obtida com a aplicação de  $20 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  de solo, no entanto, para a cultura do milho a dosagem adequada foi de  $3 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  de solo e a tóxica  $110 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  de solo. Fageria & Baligar (1997) encontraram resposta à aplicação de  $5 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  de solo para as culturas de arroz, feijão, milho, soja e trigo, em solo de cerrado.

O Cu tem papel importante em processos fisiológicos, como fotossíntese, respiração, distribuição de carboidratos, redução e fixação de nitrogênio, e metabolismo de proteínas e das paredes celulares (Dechen, 1988). Ele controla as relações de água na planta e as produções de RNA e DNA, e sua deficiência reduz substancialmente a produção de sementes



pelo aumento da esterilidade do pólen. Está envolvido também nos mecanismos de resistência às doenças (Mengel & Kirkby, 1987).

O Cu é absorvido como  $\text{Cu}^{2+}$  e Cu-quelato, sendo pequeno o seu teor nos tecidos da planta, geralmente entre 2 e 20  $\text{mg kg}^{-1}$  na matéria seca. A absorção do Cu pelas plantas ocorre via processo ativo e existem evidências de que este elemento iniba fortemente a absorção do Zn, e vice-versa (Bowen, 1969).

O Cu é constituinte de certas enzimas, incluindo a oxidase do ácido ascórbico (vitamina C), citocromo-oxidase e plastocianina, que se encontram nos cloroplastos. O Cu também participa em enzimas de oxidorredução, exceto de algumas amino-oxidases e galactose-oxidases, participando, assim, das reações de oxidorredução, em que grande parte das enzimas que contém Cu reagem com  $\text{O}_2$  e o reduzem a  $\text{H}_2\text{O}_2$  ou  $\text{H}_2\text{O}$ . O Cu também faz parte da enzima fenol-oxidase, que catalisa a oxidação de compostos fenólicos a cetonas durante a formação da lignina e da cutícula. Além disto, o Cu influencia a fixação do  $\text{N}_2$  atmosférico pelas leguminosas, e é essencial no balanço de nutrientes que regulam a transpiração na planta (Dechen, 2007).

O boro (B) é absorvido pela planta como ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) e, provavelmente, como ânion borato  $\text{B}(\text{OH})_4^-$  em valores de pH elevados, tanto por via radicular como por via foliar. Considera-se que o B, em solução, move-se até as raízes por meio do fluxo de massa, até que ocorra um equilíbrio entre as concentrações dos nutrientes nas raízes e na solução. Em decorrência dessa absorção passiva, podem verificar situações em que quantidades tóxicas são absorvidas pelas plantas, quando o teor de B na solução é alto (Dechen et al., 1991). O B é um elemento de baixa mobilidade de redistribuição na planta. Está comprovado que as plantas em estado inicial de crescimento absorvem o B com maior intensidade do que plantas adultas.

O B é importante na translocação de açúcares e metabolismo de carboidratos. Desempenha papel importante no florescimento, crescimento do tubo polínico, nos processos de frutificação, no metabolismo do N e na atividade de hormônios. Quanto a influência do B sobre o metabolismo de ácidos nucléicos, demonstrou-se que a deficiência em B interrompe o crescimento e desenvolvimento e a maturação das células, que constitui a segunda fase do desenvolvimento celular. A síntese do ácido ribonucléico, a formação de ribose e a síntese de proteínas são processos muito importantes nos tecidos meristemáticos. Se esses processos são afetados pela deficiência de B, o processo de crescimento meristemático é prejudicado (Mengel & Kirkby, 1987).

### **3. CAPITULO I**

## **PERDAS POR VOLATILIZACAO DE N-NH<sub>3</sub>E EFEITO RESIDUAL DE UREIA PASTILHADA COM DIFERENTES MICRONUTIENTES**

### 3.1 RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar fertilizantes pastilhados a base de ureia com diferentes micronutrientes (zinco, cobre e boro) na redução das perdas de N por volatilização da amônia e seu efeito residual em plantas. O experimento foi instalado em casa de vegetação, o solo utilizado foi proveniente de um horizonte A de um Planossolo Háplico, o qual foi incubado para elevação do seu pH para 6,5. O processo de fabricação dos fertilizantes consistiu em produzir pastilhados de ureia com micronutrientes, essa inovação tecnológica foi produzida pela Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobras. Foram utilizadas três formulações de cada micronutriente (Zn, Cu e B), como também combinações destes micronutrientes (Zn+B) e (Cu+B) em pastilhados de ureia. Dessa forma foram avaliados 15 fertilizantes pastilhados de ureia com micronutrientes, que foram comparadas com fertilizantes comerciais. As unidades experimentais consistiram de bandejas plásticas com 0,1m<sup>2</sup> de superfície, no qual foram colocadas 8 kg do solo utilizado peneirado em malha de 2 mm. Foram utilizados 2 doses de N (100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>), que foram aplicadas de maneira uniforme na superfície do solo contido nas bandejas. Após o ensaio de volatilizado foi plantado sementes de milho com objetivo de avaliar o efeito residual dos nutrientes aplicados, sendo coletado no momento que apresentou sintomas de deficiência de N. Para este ensaio foi adotado um delineamento inteiramente casualizado com 3 repetições, onde os tratamentos foram analisados de forma isolada, dentro de cada grupo de micronutrientes. As coletas de volatilizado foram realizadas até o vigésimo primeiro dia após adubação, de maneira intercalada, com o intuito de avaliar a dinâmica de perdas ao longo do tempo. O sistema de captação de amônia volatilizada consistiu de câmara coletora semi aberta livre estática, com diâmetro de 10 cm e 0,008 m<sup>2</sup> de área. A umidade e a temperatura no interior da casa de vegetação, como também o baixo poder tampão do solo utilizado influenciaram positivamente as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização. O micronutriente B presente nos pastilhados de ureia minimizaram as perdas de N, principalmente quando presente na maior concentração (4,0% B), reduzindo as perdas de N em 50 e 60% respectivamente para a menor e maior dose de N em relação a ureia perolada. As maiores reduções das perdas de N volatilizado quando associado Zn ou Cu com B ocorreram quando as proporções destes encontravam-se na relação 1:4 (Zn ou Cu:B), demonstrando ser o boro o micronutriente mais eficiente em reduzir as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização. Esse maior efeito do B ocorre em virtude do ácido bórico apresentar estrutura molecular semelhante ao da ureia, fazendo com que este elemento consiga inibir de forma mais efetiva a enzima urease, responsável pela hidrólise da ureia. A aplicação dos diferentes fertilizantes nitrogenados não ocasionou um maior efeito residual de N no solo. Porém, a adição de micronutrientes Zn, Cu e B via aplicação de ureia pastilhada incrementou o acúmulo destes tanto na planta de milho quanto no solo.

**Palavras-chave:** Micronutriente. Volatilização. Urease.

### 3.2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate the fertilizer urea based with different micronutrients (zinc, copper and boron) in reducing N losses by ammonia volatilization and its residual effect on plants. The experiment was conducted in a greenhouse, the soil was from a horizon of a Fragiudult, which was incubated for raising its pH to 6.5. The manufacturing process of producing fertilizer consisted of urea with micronutrients, this technological innovation was produced by Petroleo Brasileiro S.A.- Petrobras. Three formulations of each micronutrient (Zn, Cu and B) were used, as well as combinations of these micronutrients (Zn + B) and (Cu + B) in pelletized urea. Thus 15 micronutrient fertilizer urea, which was compared with commercial fertilizers were evaluated. The experimental units consisted of plastic trays with 0,1 m<sup>2</sup> surface, in which were placed 8 kg of sieved soil used in a 2 mm mesh. Two N levels (100 and 200 kg ha<sup>-1</sup>), which were applied uniformly to the soil surface in the trays contained were used. After the test was volatilized planted corn seeds to evaluate the residual effect of applied nutrients, being collected at the time showed symptoms of deficiency of N. For this test we adopted a completely randomized design with 3 replications, where treatments were analyzed separately, within each group of micronutrients. The collections of volatilized were performed until the twenty-first day after fertilization, interleaved manner, in order to assess the dynamics of losses over time. The capture system consisted of volatilized ammonia collecting chamber semi static free open with a diameter of 10 cm and 0.008 m<sup>2</sup>. Humidity and temperature inside the greenhouse, as well as the low power of the soil used buffer positively influenced the N losses by NH<sub>3</sub> volatilization. The micronutrient B present in fertilizers minimized urea N losses, especially when present in higher concentration (4.0% B), reducing N losses by 50 and 60 % respectively for the lowest and highest N rate compared to pearly urea. The largest reductions in losses of N volatilized when associated with Zn or Cu and B occurred when the proportions of these are found in a 1:4 ratio (Zn or Cu : B), proving to be the most efficient boron micronutrient in reducing losses of N NH<sub>3</sub> volatilization. This effect of B is greater because of the boric acid has a similar molecular structure to that of urea, making this element can more effectively inhibit urease enzyme responsible for the hydrolysis of urea. The application of different nitrogen fertilizer did not cause a greater residual effect of N in the soil. However, the addition of micronutrients Zn, Cu and B via application of pelletized urea increased the accumulation of these well as in the corn plant in the soil.

**Key words:** Micronutrient. Volatilization. Urease.

### 3.3 INTRODUÇÃO

Dentre os diversos mecanismos de perdas que ocorrem em virtude da utilização do N-fertilizante, especialmente quando é aplicada ureia no solo, destacam-se as perdas de N por volatilização de amônia, as quais podem chegar a aproximadamente 80% do N-ureia aplicado (Lara Cabezas et al.,1997). O processo de volatilização de N-NH<sub>3</sub> é definido como a transferência de amônia gasosa do solo para a atmosfera, sendo determinado então pelo conceito de equilíbrio de concentrações. A perda de nitrogênio por volatilização de amônia para a atmosfera constitui em um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da ureia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] em fornecer nitrogênio de forma adequada às diversas culturas (Kiehl, 1989). Um fertilizante “ideal” deve possuir características agronômicas como: a) solubilidade lenta, porém total, b) facilidade de aplicação e c) elevada eficiência no uso dos nutrientes pelas culturas e, para a indústria: baixo custo e matéria prima nacional.

Estimativas no Brasil indicam a aplicação em média por ano de 30 kg N ha<sup>-1</sup>, sendo a média mundial em torno de 60 kg N ha<sup>-1</sup>. Contudo, em países desenvolvidos pode chegar até 300 kg N ha<sup>-1</sup>, como na Holanda. Quando se avalia o consumo per capita, no Brasil se usa em média 10 kg N ha<sup>-1</sup> e na Holanda é de cerca de 180 kg N ha<sup>-1</sup> (Martinelli, 2007), mostrando o grande potencial de crescimento no consumo de fertilizantes nitrogenados no Brasil.

As perdas por volatilização de amônia pela aplicação de fertilizantes nitrogenados podem ser determinadas por meio de métodos diretos ou indiretos (Lara Cabezas & Trivelin, 1990). Os indiretos podem ser efetuados pelo uso de fertilizante marcado com <sup>15</sup>N isótopo, especificamente através da técnica de enriquecimento com <sup>15</sup>N. Nos métodos diretos podem ser usadas câmaras fechadas ou semi-abertas, estática, semi-estáticas ou dinâmicas, com fluxo de ar ou gás inerte de arraste isento de amônia. São métodos práticos e com custos reduzidos, possibilitando seu uso em experimentos com grande número de tratamentos e parcelas.

Os custos com fertilizantes nas principais culturas representam cerca de 30% dos custos totais da produção agrícola. Levando em conta que para produção de fertilizantes nitrogenados utilizam-se fontes não renováveis, como por exemplo, gás natural (fonte de H), e que o uso dos mesmos encontra-se em grande expansão nos países em desenvolvimento, torna-se importância o desenvolvimento de novas tecnologias que visem aumentar a eficiência agronômica dos fertilizantes nitrogenados, especialmente a ureia, tecnologia essa com intuito de minimizar a ação da enzima urease (responsável pela quebra da molécula da urea e liberação da amônia) e consequentemente reduzir as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização.

O efeito residual de nutrientes diz respeito ao seu acúmulo no solo após aplicação de fertilizantes minerais. No caso do nitrogênio, isto é de muito importante, pois esse nutriente se transforma com relativa facilidade e grande rapidez nos solos, produzindo as diferentes formas nitrogenadas, inclusive a orgânica (Raij, 1991). A dinâmica de transformações do N no solo está relacionada, dentre outros fatores, a forma em que se encontra no fertilizante nitrogenado, uma vez que cada forma (amoniacal, nítrica ou amídica) poderá ter destinos diferentes. De acordo com Raij (1991), a dinâmica de transformação do N é a principal causa da adubação nitrogenada apresentar pouco ou nenhum efeito residual no solo.

Os micronutrientes são limitantes para o aumento da produtividade agrícola, principalmente em solos de Cerrado, que se caracterizam pela deficiência de microelementos em virtude da baixa fertilidade natural e elevada acidez (Fageria & Baligar, 2001). De acordo com Galvão (1994, 1995) é necessária nesses solos adubação com Zn e as quantidades aplicadas são próximas de 1,0 kg ha<sup>-1</sup>, com efeito residual por vários anos (Galvão, 1996).

Portanto, o objetivo desse estudo é avaliar o efeito da adição dos micronutrientes zinco, cobre e boro na pastilha de ureia, na redução de perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização, o efeito residual destes nutrientes no solo e a sua extração por plantas de milho.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Local de realização dos estudos

Os ensaios de volatilização e do posterior efeito residual oriundo dos fertilizantes pastilhados com os diferentes micronutrientes foram conduzidos em casa-de-vegetação (Figura 1), localizada no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.



**Figura 1.** Casa de vegetação onde foram realizados os experimentos.

#### 3.4.2 Solo utilizado

O solo utilizado para as avaliações foi coletado próximo ao setor de bovinocultura de leite, antiga rodovia RJ-SP, km 47 – UFRRJ. Este foi proveniente de um Planossolo Háplico (textura arenosa), sendo coletado nos primeiros 20 cm de profundidade. Após a coleta o solo foi peneirado em malha de 4 mm e posteriormente realizado análise química no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos/UFRRJ, segundo os procedimentos descritos pelo Manual de Métodos de Análise de Solo (Embrapa, 1997), e realizado também a análise granulométrica. Os resultados seguem na Tabela 1.

**Tabela 1.** Resultados da análise química e granulométrica do solo utilizado, onde m-saturação por Al; n-saturação por Na.

Solo	Na	Ca	Mg	H <sup>+</sup> Al	Al	S	T	V	m	n	pH	Cor g	P	K	N	B	Cu	Zn
	— $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ —					—%—			1:2, 5	%	— $\text{mg}/\text{L}$ —	— $\text{g}/\text{kg}$ —	— $\text{mg}/\text{kg}$ —					
Planossolo T. Arenosa	0,01 6	1, 2	0,3	2, 5	0,5 0	1,5 9	4,0 9	3 9	23,8 9	0	5,5	1,02	3	30	0,2 2	0, 3	0,00 7	0,7 6
Análise Granulométrica																		
	Argila Natural			Argila Total			Areia Total		Areia Fina		Silte							
	30			70			920		210		10							

Foi realizada calagem no solo para a elevação do pH a 6,5, adotando-se as doses e o período de incubação previamente determinados para este solo (Stafanato, 2009), uma vez que o pH do solo exerce grande influência sobre o processo de volatilização da  $\text{NH}_3$ , como também de forma a neutralizar o alumínio presente no solo. Neste ensaio, amostras de solo (200 gramas de TFSA) foram peneiradas em malha de 4 mm e condicionadas em copos

plásticos, sendo a umidade mantida em 70% da capacidade de campo. Para que o pH do solo alcançasse e mantivesse-se em 6,5, foram aplicadas doses crescentes de  $\text{CaCO}_3$  (0,0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,4 e 12,8  $\text{Mg CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$ ) e a determinação do pH foi realizada diariamente durante a primeira semana após a incubação e, posteriormente, em intervalos de 2, 4, 8, 16, 32 dias, sendo após definida a dosagem adequada de  $\text{CaCO}_3$  para que o pH atingisse 6,5.

### **3.4.3 Caracterização química dos fertilizantes pastilhados**

O processo de fabricação dos fertilizantes consistiu em produzir pastilhados de ureia com micronutrientes, essa inovação tecnológica foi produzida pela Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobras. Foram utilizadas três formulações de cada micronutriente (Zn, Cu e B), como também combinações destes micronutrientes (Zn+B) e (Cu+B) em pastilhados de ureia.

Na Tabela 2 são apresentadas as proporções utilizadas em cada pastilha de ureia, bem como as características químicas obtidas nos respectivos fertilizantes pastilhados que foram utilizados no experimento. Particularmente, como fontes de micronutrientes para produção dos pastilhados de ureia foram utilizados fertilizantes comerciais - Sulfato de Zinco (mono hidratado), Sulfato de Cobre (penta hidratado) e Ácido Bórico - sendo considerado nestes um teor mínimo de 35% de Zn, 25% de Cu e 17% de B respectivamente. Como fonte de N foi utilizada ureia comercial com um teor mínimo de 45% de N. Devido ao processo de pastilhamento da ureia com os micronutrientes, os produtos pastilhados apresentaram teores de S variando entre 0,24 e 1,94%, oriundos do sulfato presente nos fertilizantes comerciais com micronutrientes (Zn e Cu) utilizados como matéria-prima. Dessa forma, foram produzidos também um fertilizante pastilhado com ureia e sulfato de cálcio, sendo este sulfato de cálcio (fertilizante comercial) com teor mínimo de S de 14%. Também foi produzido ureia pastilhada (pura) com objetivo de isolar o efeito “tamanho” da pastilha do fertilizante. (Tabela 2).

**Tabela 2.** Caracterização dos fertilizantes pastilhados com micronutrientes.

Produto	Composição	Proporção N: Micro	Quantidade
			Ureia/Produto (Micro) %
Ureia <sub>Zn</sub> -1	Ureia/ZnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	44,35: 0,5	98,57/1,43
Ureia <sub>Zn</sub> -2	Ureia/ZnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	43,71: 1,0	97,14/2,86
Ureia <sub>Zn</sub> -3	Ureia/ZnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	39,86: 4,0	88,57/11,43
Ureia <sub>Cu</sub> -1	Ureia/CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	44,1: 0,5	98,0/2,0
Ureia <sub>Cu</sub> -2	Ureia/CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	43,2: 1,0	96,0/4,0
Ureia <sub>Cu</sub> -3	Ureia/CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	37,8: 4,0	84,0/16,0
Ureia <sub>B</sub> -1	Ureia/H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	43,68: 0,5	97,06/2,94
Ureia <sub>B</sub> -2	Ureia/H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	42,35: 1,0	94,12/5,88
Ureia <sub>B</sub> -3	Ureia/H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	34,41: 4,0	76,47/23,53
Ureia <sub>Zn+B</sub> -1	Ureia/ZnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O / H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	39,06: 0,5: 2,0	86,80/1,43/11,77
Ureia <sub>Zn+B</sub> -2	Ureia/ZnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O / H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	41,10: 2,0: 0,5	91,34/5,72/2,94
Ureia <sub>Zn+B</sub> -3	Ureia/ZnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O / H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	43,03: 0,5: 0,5	95,63/1,43/2,94
Ureia <sub>Cu+B</sub> -1	Ureia/CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O/ H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	38,80: 0,5: 2,0	86,23/2,0/11,77
Ureia <sub>Cu+B</sub> -2	Ureia/CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O/ H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	40,08: 2,0: 0,5	89,06/8,0/2,94
Ureia <sub>Cu+B</sub> -3	Ureia/CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O/ H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	42,78: 0,5: 0,5	95,06/2,0/2,94
Ureia <sub>SC</sub>	Ureia/CaSO <sub>4</sub>	38,76: 1,94	86,14/13,86
Ureia Pastilhada	Ureia	45:0	100/0

Estes fertilizantes pastilhados foram contrastados com os produtos comerciais Ureia Perolada, Sulfato de Amônio, Super N, FH Micro Total e FH Nitro Mais, como também com tratamento controle (sem aplicação de N). O Super N é um fertilizante contendo inibidor da urease (NBPT) possuindo 45% N. O fertilizante FH Nitro Mais consiste no revestimento de ureia com cobre (0,06%) e boro (0,3%) contendo 44,08% N. FH Micro Total é caracterizado por revestimento de ureia com zinco (0,37%) contendo 45,5% N. A ureia perolada possui 46% N e o sulfato de amônio 21% N e 24% S. Na Tabela 3 é apresentado as quantidades adicionadas dos micronutrientes Zn, Cu e B oriundos da aplicação dos fertilizantes pastilhados e dos produtos comerciais em função da dose de N utilizada.



**Tabela 3.** Quantidades de Zn, Cu e B (kg ha<sup>-1</sup>) adicionados no solo oriundo dos fertilizantes nitrogenados pastilhados e dos produtos comerciais em função da dose de N aplicada.

Produto	Dose de N					
	100 kg ha <sup>-1</sup>			200 kg ha <sup>-1</sup>		
	Zn	Cu	B	Zn	Cu	B
	kg ha <sup>-1</sup>					
UreiaZn-1	1,13	-	-	2,19	-	-
UreiaZn-2	2,29	-	-	4,39	-	-
UreiaZn-3	10,04	-	-	18,13	-	-
UreiaCu-1	-	1,13	-	-	2,22	-
UreiaCu-2	-	2,31	-	-	4,53	-
UreiaCu-3	-	10,58	-	-	20,70	-
UreiaB-1	-	-	1,14	-	-	2,24
UreiaB-2	-	-	2,36	-	-	4,62
UreiaB-3	-	-	11,62	-	-	22,75
UreiaZn+B-1	1,28	-	5,12	2,48	-	9,91
UreiaZn+B-2	4,87	-	1,22	9,15	-	2,29
UreiaZn+B-3	1,16	-	1,16	2,25	-	2,25
UreiaCu+B-1	-	1,29	5,15	-	2,52	10,09
UreiaCu+B-2	-	4,99	1,25	-	9,77	2,44
UreiaCu+B-3	-	1,17	1,17	-	2,29	2,29
Nitro Mais	-	0,14	0,65	-	0,27	1,30
Micro Total	0,81	-	-	1,63	-	-

#### 3.4.4 Ensaio de volatilização

O solo utilizado foi peneirado em malha de 2 mm, em seguida foi colocado um volume de solo conhecido em bandejas plásticas (unidades experimentais) com 0,1 m<sup>2</sup> de superfície. Foram utilizadas duas doses de N, a saber: 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>. Os fertilizantes nitrogenados pastilhados com os micronutrientes e os fertilizantes comerciais foram aplicados de maneira uniforme em toda a superfície do solo contido nas bandejas. Foi realizada uma irrigação antes da aplicação dos fertilizantes para estimular a produção de urease, e imediatamente após, as câmaras coletoras de N-NH<sub>3</sub> foram colocadas para captação da amônia volatilizada.

Foi adotado para este ensaio um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, onde os tratamentos consistiram dos seguintes fatores: ureia + micronutrientes (Cu, Zn e B) em três proporções de cada, como também em três combinações (Zn+ B) e (Cu+B), obtendo-se os produtos Ureia<sub>Cu</sub>, Ureia<sub>Zn</sub>, Ureia<sub>B</sub>, Ureia<sub>Zn+B</sub> e Ureia<sub>Cu+B</sub> que foram contrastadas com Ureia Pura Pastilhada (tratamento que avalia o efeito do tamanho da pastilha), Ureia Perolada, Ureia Pastilhada com Sulfato de Cálcio (objetiva isolar o efeito do íon sulfato acompanhante dos micronutrientes Zn e Cu), Super N, FH Nitro Mais, FH Micro Total e Sulfato de Amônio, além do tratamento controle (sem N) e duas doses de N. Sendo que os fertilizantes comerciais Super N e FH Nitro Mais são tidos como fertilizantes nitrogenados com características de inibir a atividade da urease.

Estes fertilizantes comerciais foram utilizados com o intuito de comparar as diferentes tecnologias utilizadas nestes com a tecnologia de produção dos fertilizantes pastilhados apresentados neste trabalho. O Super N é um fertilizante contendo 45% de N, funciona tornando a enzima urease inativa, através da tecnologia de inibidor da urease Agrotain (NBPT), reduzindo as perdas de N por volatilização. A tecnologia adotada no fertilizante FH Nitro Mais segundo a empresa produtora consiste no recobrimento de grânulos de ureia com os micronutrientes boro e cobre, promovendo uma maior proteção contra as perdas de N.

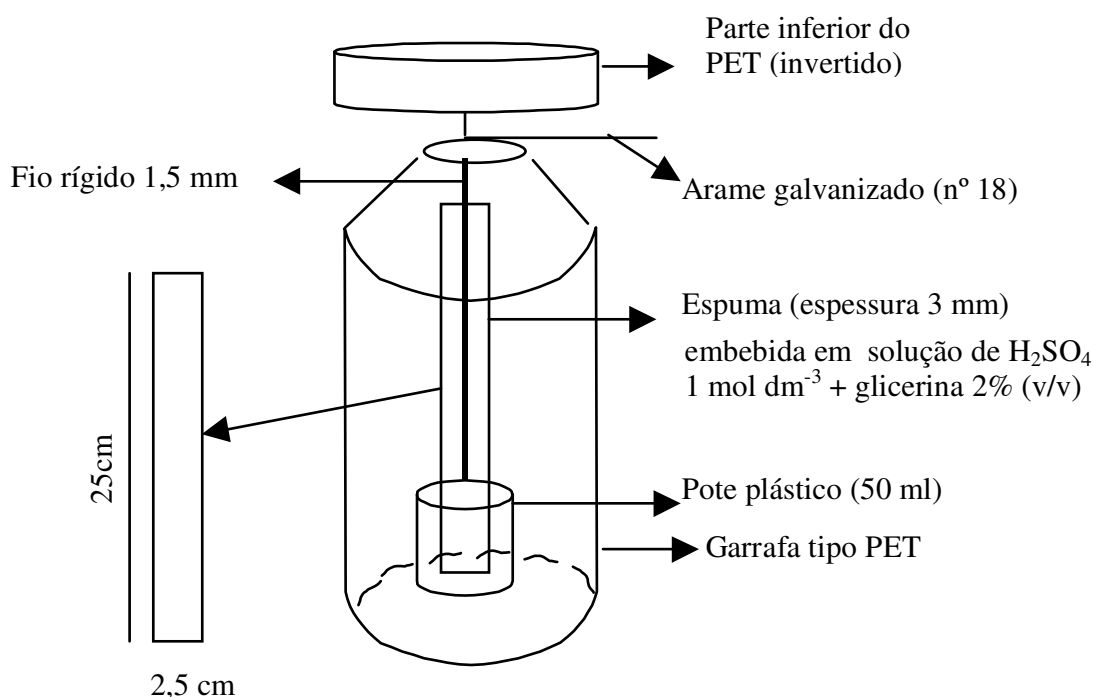
A captação de N-NH<sub>3</sub> volatilizada iniciou dois dias antes da aplicação das fontes nitrogenadas para determinação das perdas por volatilização do N pré-existente no solo (estimulando a atividade da urease), as quais serviram como testemunha das perdas oriundas das fontes nitrogenadas avaliadas. Foram utilizadas duas câmaras coletoras de N-NH<sub>3</sub> em cada unidade experimental, totalizando seis repetições por tratamento. Tal procedimento tem como objetivo reduzir as variações comumente observadas em ensaios de determinação de N-NH<sub>3</sub> volatilizado do solo. Após cada troca das espumas, as câmaras foram colocadas numa posição adiante de forma a percorrer toda a área da bandeja.

O experimento de volatilização foi implantado no dia 10/07/2011, onde os dois primeiros dias consistiram no tempo zero (estimar o N volatilizado proveniente do solo), a aplicação dos fertilizantes pastilhados com ureia + micronutrientes e dos fertilizantes utilizados como testemunha foi realizado no dia 12/07/2011, sendo a última coleta realizada no dia 02/08/2011 totalizando assim 21 dias de avaliação, logo após foi então semeado o milho para determinar o efeito residual dos nutrientes oriundos dos fertilizantes nitrogenados.

As coletas do volatilizado foram realizadas até o vigésimo primeiro dia, de maneira intercalada, da seguinte forma: em intervalos de 24 horas até o sexto dia; e, após, as determinações foram realizadas no oitavo, décimo, décimo quarto, décimo oitavo e vigésimo primeiro dia após aplicação dos fertilizantes. Isso permitiu avaliar a dinâmica das perdas de amônia ao longo do tempo.

O sistema de captação de amônia volatilizada consistiu em câmara coletora semi-aberta livre estática, confeccionada a partir de frasco plástico transparente tipo PET de 2 L sem a base, com diâmetro de 10 cm, abrangendo 0,008 m<sup>2</sup> de área, no interior do frasco foi fixado um frasco de 50 ml contendo 10 ml de solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol + glicerina 2% (v/v), no qual foi adicionada uma lâmina de espuma de poliuretano com 3 mm de espessura; 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento, umedecida na solução, sendo a amônia volatilizada captada na forma de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Araújo et al., 2006) (Figura 2). Cada bandeja recebeu duas câmaras coletoras e as espumas captadoras de N-NH<sub>3</sub> foram trocadas em intervalos de 24 horas, durante período de 6 dias consecutivos, após esse período, foram utilizadas somente uma câmara coletora. A análise da amônia volatilizada e capturada pelas lâminas de espuma foi realizada segundo Araújo et al. (2006).

A análise da amônia volatilizada e capturada pelas lâminas de espuma foi realizada segundo Araújo et al. (2006). A espuma com a solução ácida remanescente no frasco de 50 ml foi transferida para um erlenmeyer de 250 ml, onde foram adicionados 10 ml de água destilada. O erlenmeyer com a solução diluída foi então colocada em agitador horizontal a 250 RPM por 15 minutos. Após agitação foi tomada uma alíquota de 5 ml e transferida para tubo de digestão, sendo então destilada em sistema semi-micro Kjeldhal e titulada com ácido sulfúrico padronizado (Alves et al., 1994).



**Figura 2-** Esquema do sistema coletor de N-NH<sub>3</sub> semi-aberto livre estático – SALE (Araújo et al., 2006, 2009 e Araújo, 2008).

Assim, o experimento de volatilização consistiu de 138 unidades experimentais (considerando os 15 produtos pastilhados com micronutrientes e as 8 testemunhas, 2 doses de N, com três repetições).

### 3.4.5 Efeito residual

Objetivando determinar o efeito residual do nitrogênio e dos micronutrientes zinco, cobre e boro após o período de avaliação das perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização (21 dias), foi semeada então após o término da avaliação do N volatilizado uma gramínea com elevado potencial extratora de N (milho – variedade BRS Sol da Manhã) no solo contido nas bandejas.

A partir do momento que as plantas de milho começaram a apresentar sintomas de deficiência de N foi realizada a coleta da parte aérea e das raízes das plantas de milho, as quais posteriormente foram lavadas e secas em estufa de circulação forçada a 65°C até apresentarem peso constante. Após secas, foram determinadas as massas secas totais (MST) sendo então as partes moídas em moinho de modelo tipo “Willey” com peneira 20 mesh.

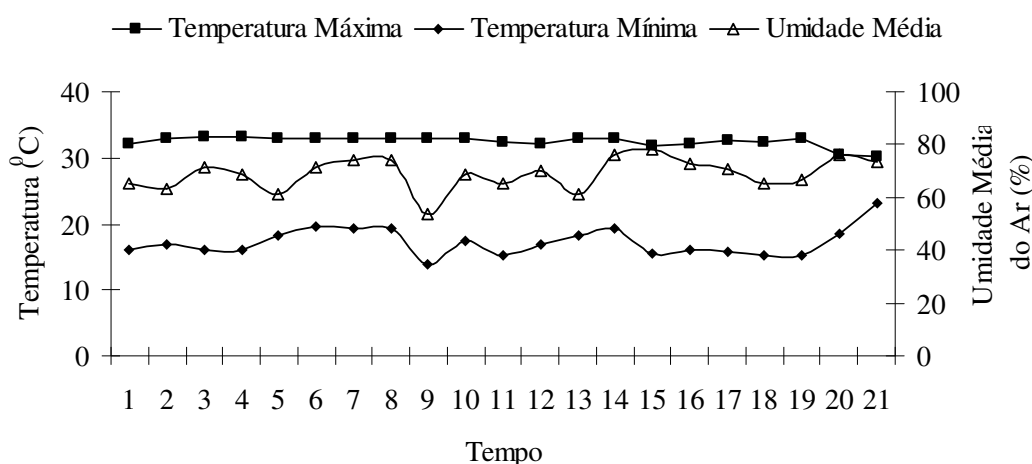
Foram determinados os teores totais de N, Zn, Cu e B nas plantas de acordo com metodologia descrito em Tedesco (1995). A partir dos valores de MST (parte aérea e raiz) e dos teores de N, foi determinada a extração total de N-residual pelas plantas de milho, como também para os micronutrientes Zn, Cu e B. Os solos contidos nas bandejas foram posteriormente coletados para determinação dos teores de N-total, Zn, Cu e B segundo metodologia descrita por Tedesco (1995).

### 3.4.6 Temperatura e umidade do ar relacionado ao ensaio de volatilização.

A umidade e a temperatura na casa-de-vegetação (Figura 3), como também o baixo poder tampão do solo utilizado (Planossolo) influenciaram positivamente as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização. Outros fatores ligados ao solo, como a baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e o baixo teor de matéria orgânica do solo em estudo (Tabela 1) são características que segundo Byrnes (2000) favorecem as perdas de N por volatilização do N-NH<sub>3</sub>. Uma

característica do solo não menos importante é a sua textura arenosa (Tabela 1). Devido à sua baixa capacidade de retenção de água, que quando associada às altas taxas de evaporação ocasionadas pelo uso dos exaustores no interior da casa-de-vegetação, favoreceram o fluxo de água e consequentemente de N-NH<sub>3</sub> para a atmosfera.

A temperatura máxima média e a umidade média na casa de vegetação (Figura 3) onde se instalou o experimento foram de 32,5°C e 70% respectivamente, clima favorável a hidrólise da ureia e as perdas por volatilização de amônia, reflexo da forte corrente de ar e altas temperaturas no interior da casa-de-vegetação. A hidrólise da ureia aumenta com a elevação da temperatura até 40°C (Bremner & Mulvaney, 1978), mas a hidrólise e as perdas por volatilização de amônia decrescem rapidamente com o decréscimo da temperatura. Ernst & Massey (1960) observaram que a 8 e a 16°C as perdas de N-NH<sub>3</sub> foram reduzidas em 71 e 56%, respectivamente, em relação à observada a 32°C.



**Figura 3.** Temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação durante o período de monitoramento das perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização.

Para todos os tratamentos avaliados, durante o período de volatilização de amônia, a umidade do solo foi mantida entre 50 a 70% da capacidade de campo. Portanto, as perdas por volatilização de amônia após aplicação dos diferentes fertilizantes nitrogenados não foram alteradas pela umidade do solo. Uma vez que em solo seco, a ureia pode permanecer estável, pela baixa atividade da urease (Volk, 1966), mas a taxa de hidrólise aumenta conforme o teor de água do solo se eleva, até que este atinja 20%, a partir desse ponto, a taxa de hidrólise é pouco alterada pelo teor de água (Bremner & Mulvaney, 1978).

### 3.4.7 Análise estatística

A análise dos dados foi realizada utilizando-se o programa SAEG (2007). Os dados foram submetidos às pressuposições de normalidade e homogeneidade dos erros, utilizando respectivamente os testes de Lilliefors e Bartlett. Teste F para as variâncias, e o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade para teste de médias.

## 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.5.1 Perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização

De forma geral, a perda total de N-NH<sub>3</sub> mais considerável para ambas as doses de N utilizadas ocorreu no tratamento onde foi aplicado o pastilhado ureia + sulfato de cálcio (ureiaSc), onde 62,3% da dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup> e 56% da dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup> foram perdidas por volatilização, evidenciando que o sulfato presente na matéria-prima utilizada para produzir o fertilizante pastilhado de ureia com micronutrientes não se mostrou efetivo em reduzir as perdas por volatilização da amônia. Porém, para a maior dose de N, este produto (ureiaSc) não diferiu significativamente da ureia pastilhada com 0,5% Zn (ureiaZn-1) e do produto comercial Micro Total (0,37% Zn) (Tabela 4).

Analisando todos os fertilizantes nitrogenados quanto as perdas totais de N-NH<sub>3</sub> por volatilização referente a dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup> (Tabela 4), verifica-se que, a menor perda foi ocasionada pelo uso do sulfato de amônio. Dentre os demais, a ureia pastilhada com 0,5% Zn e 2,0% B (ureiaZnB-1) foi o pastilhado de ureia que resultou nas menores perdas, diferindo significativamente dos demais fertilizantes nitrogenados, apresentando perdas aproximadas de 18% do N aplicado. Este foi seguido dos pastilhados de ureia contendo o micronutriente boro (ureiaB-1, ureiaB-2 e ureiaB-3) e do pastilhado de ureia contendo 0,5% Cu e 2,0% B (ureiaCuB-1), que não diferiram entre si, apresentando perdas de N-NH<sub>3</sub> em torno de 24% do total de N aplicado. Os pastilhados de ureia contendo somente Cu (ureiaCu-1 e ureiaCu-3), ou associado com B (ureiaCuB-2 e ureiaCuB-3), como também a associação de Zn e B na mesma pastilha de ureia (ureiaZnB-2 e ureiaZnB-3) não diferiram entre si, como também do produto comercial Nitro Mais contendo Cu e B revestindo o grânulo de ureia. Estes tratamentos resultaram em perdas de aproximadamente 30% do N total aplicado. A ureia comercial contendo inibidor da urease (NBPT) diferentemente do observado na literatura, resultou em perdas significativamente altas, em torno de 38% do N aplicado, não diferenciando porém da ureia pastilhada com a menor concentração de Zn (ureiaZn-1) e do produto comercial Micro Total, que apresenta 0,37% de Zn em sua composição.

As maiores perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização quando aplicado dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup> foram observados nos pastilhados de ureia contendo apenas Zn (ureiaZn-2 e ureiaZn-3) e no pastilhado de ureia contendo 2,0% de Cu (ureiaCu-2). Estes pastilhados resultaram em perdas de N aproximadas de 47% do total aplicado, não diferindo significativamente da ureia pura pastilhada que visou isolar o efeito do tamanho da pastilha, como também principalmente da ureia comercial (Tabela 4).

Quando aplicado uma dose maior de nitrogênio, isto é, 200 kg N ha<sup>-1</sup>, as menores perdas totais de N-NH<sub>3</sub> foram observadas nos tratamentos referente aos produtos comerciais sulfato de amônio e Super N (contendo inibidor da urease NBPT) que diferiram significativamente dos demais (Tabela 4). Dentre os fertilizantes nitrogenados pastilhados avaliados, a ureia pastilhada com maior concentração de boro (ureiaB-3, 4,0% B) apresentou os melhores resultados, onde apenas 17% do total de N aplicado foi perdido por volatilização de NH<sub>3</sub>, diferindo assim dos demais fertilizantes. A ureia pastilhada com menor concentração de Zn (ureiaZn-1), assim como a ureia pastilhada somente com B (ureiaB-2 e ureiaB-3) ou associada com Zn e Cu (ureiaZnB-1, ureiaZnB-2, ureiaCuB-1 e ureiaCuB-3) não diferiram entre si, contudo apresentaram perdas de N-NH<sub>3</sub> em torno de 28% do total de N aplicado. Com perdas intermediárias de amônia, têm-se a ureia pastilhada somente com Cu (ureiaCu-1, ureiaCu-2 e ureiaCu-3), a associação de Zn e Cu em menores proporções, ou seja, 0,5% de cada micronutriente (ureiaZnB-3), assim como a associação de 2,0% de Cu e 0,5% de B na

mesma pastilha de ureia (ureiaCuB-2), sendo que estes não diferiram do produto comercial Nitro Mais, produto este onde a ureia encontra-se revestida com 0,06% de Cu e 0,3% de B.

Para a dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup> as maiores perdas foram observadas no pastilhado de ureia contendo 1,0% Zn (ureiaZn-2) que não diferiu estatisticamente da ureia pura pastilhada e da ureia comercial. Estes três produtos resultaram em perdas em torno de 45% do total de N aplicado. Entretanto, perdas acima de 53% do total de N aplicado foram observadas na ureiaZn-3 (ureia pastilhada com 4,0% de Zn), no produto comercial Micro Total (0,37% Zn) e na ureia pastilhada com sulfato de cálcio (ureiaSc), que objetivou isolar o efeito do íon sulfato presente na matéria prima utilizada para produzir os pastilhados de ureia com Zn e Cu (Tabela 4).

Comparando as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização em função da dose de N utilizada, verifica-se na Tabela 4 que não houve diferença significativa entre as doses de N utilizada para a maioria dos tratamentos, porém foram observadas maiores perdas de N-NH<sub>3</sub> nos tratamentos referente aos pastilhados de ureiaZn-1, ureiaCu-2 e principalmente a ureia comercial contendo o inibidor da urease NBPT quando se utilizou a menor dose de N (100 kg ha<sup>-1</sup>). Contudo, nos tratamentos referente os pastilhados ureiaZnB-1, ureiaZnB-3, ureiaCuB-2 e no produto comercial Micro Total foram observadas maiores perdas de amônia quando utilizado uma maior dose de N (200 kg ha<sup>-1</sup>). Lijun et al. (2009) encontraram uma maior atividade enzimática da urease em função do incremento da concentração de ureia, acarretando consequentemente em maiores perdas de N.

A maioria dos pastilhados de ureia com micronutrientes reduziram significativamente as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização em relação aos demais produtos comerciais, principalmente quando apresentando o micronutriente B em sua composição tanto de forma isolada e/ou associado com Zn ou Cu, especialmente os pastilhados ureiaZn+B-1 (0,5% Zn e 2,0% B) e ureiaB-3 (4,0% B) que diferenciaram significativamente dos demais pastilhados, apresentando perdas de N superiores apenas ao sulfato de amônio.

A dinâmica de perdas tanto do sulfato de amônio quanto da ureia contendo NBPT (Super N) já foram estudados quanto à quantificação das perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização em diversas condições edafoclimáticas e os resultados observados foram semelhantes aos encontrados no presente estudo (Pereira et al., 2009, Scivittaro et al., 2010), especialmente o NBPT quando utilizados altas doses de N.

As significativas reduções nas perdas de N por volatilização podem ser explicadas pela ação inibitória tanto do Cu quanto do B sobre a atividade da urease. Pesquisas realizadas por Lijun et al. (2009) avaliando o efeito de diferentes concentrações de Cu sobre parâmetros cinéticos da urease, encontraram que o Cu poderia afetar levemente a afinidade entre a urease do solo e o substrato (ureia), ou seja, o Cu não exerceria nenhuma influência sobre a configuração da urease no solo. Assim, a diminuição da atividade da urease no solo pode ser efetuada pela inibição por dissociação dos compostos ureia-urease (Aliyev et al., 1984; Dalal, 1985), revelando que o mecanismo de reação entre o Cu e a urease do solo caracteriza-se por ser uma inibição competitiva não reversível. Segundo Moraes et al. (2010) a inibição ocasionada pelo Cu parece ser da competição deste com o níquel (componente que ativa a enzima urease). De acordo com Benini et al. (2004) o ácido bórico atua como um inibidor competitivo com a urease em relação ao substrato (ureia), uma vez que, a molécula de ácido bórico apresenta conformação semelhante a da ureia, competindo assim pelos mesmos sítios enzimáticos com a enzima urease, conferindo a esse elemento um maior potencial em inibir a atividade da urease. Com isso, o B pode fazer com que a ureia permaneça no solo por um tempo maior sem se dissociar, aumentando assim a eficiência do fertilizante nitrogenado.

**Tabela 4.** Perda total de N-NH<sub>3</sub> por volatilização após 21 dias da aplicação dos diferentes fertilizantes nitrogenados em função da dose de N aplicada.

Produto	Dose N			
	100 kg N ha <sup>-1</sup>		200 kg N ha <sup>-1</sup>	
	-----kg N-NH <sub>3</sub> ha <sup>-1</sup> -----			
UreiaZn-1	37,21	Eb	28,36	Ca
UreiaZn-2	42,67	Fa	45,87	Ea
UreiaZn-3	46,52	Fa	50,70	Fa
UreiaCu-1	33,32	Da	36,92	Da
UreiaCu-2	54,47	Fb	37,55	Da
UreiaCu-3	31,10	Da	33,32	Da
UreiaB-1	25,12	Ca	30,32	Ca
UreiaB-2	26,35	Ca	28,36	Ca
UreiaB-3	21,18	Ca	17,19	Ba
UreiaZn+B-1	18,03	Ba	26,59	Cb
UreiaZn+B-2	29,11	Da	26,50	Ca
UreiaZn+B-3	27,91	Da	34,01	Db
UreiaCu+B-1	23,19	Ca	21,84	Ca
UreiaCu+B-2	30,53	Da	36,56	Db
UreiaCu+B-3	28,81	Da	31,95	Ca
UreiaSC	62,27	Gb	56,08	Fa
Ureia Pastilhada	47,96	Fa	45,87	Ea
Ureia Perolada	42,08	Fa	46,75	Ea
Sulfato de Amônio	5,35	Aa	3,76	Aa
Ureia + NBPT	37,78	Eb	7,51	Aa
FH Nitro Mais	33,38	Da	36,31	Da
FH Micro Total	38,21	Ea	54,71	Fb

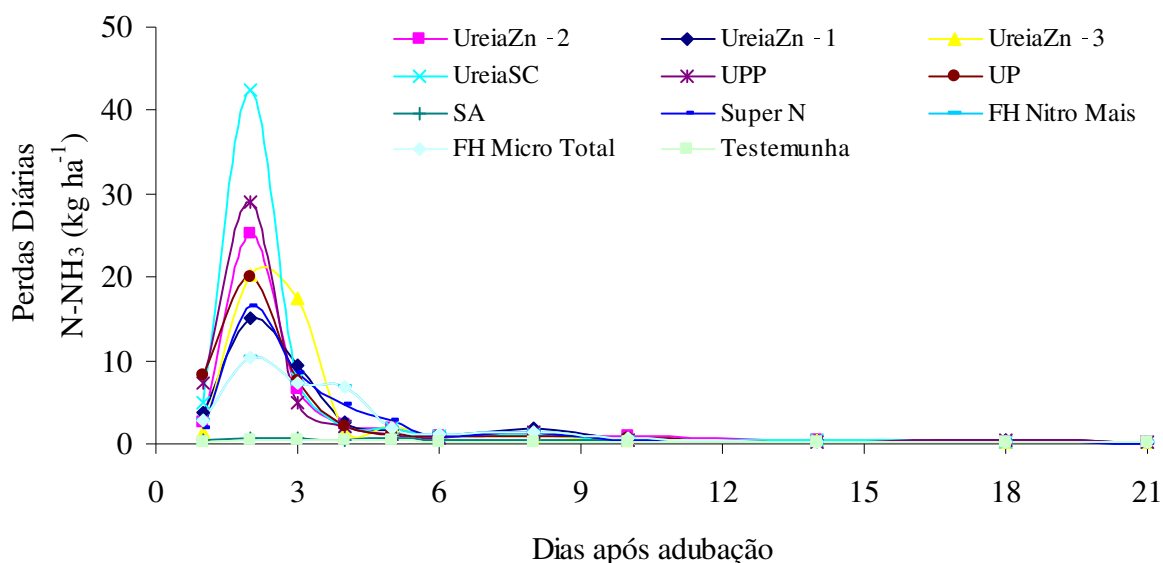
CV% = 10,28

Letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha diferentes indicam que os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Scot-knott ( $p < 0,05$ ). Onde: ureiaZn-1 (44,35% N e 0,5% Zn), ureiaZn-2 (43,71% N e 1,0% Zn), ureiaZn-3 (39,86% N e 4,0% Zn), ureiaCu-1 (44,1% N e 0,5% Cu), ureiaCu-2 (43,2% N e 1,0% Cu), ureiaCu-3 (37,8% N e 4,0% Cu), ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-2 (42,35% N e 1,0% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-2 (41,1% N, 2,0% Zn e 0,5% B), ureiaZnB-3 (43,035N, 0,5% Zn e 0,5% B), ureiaCuB-1 (38,8% N, 0,5% Cu e 2,0% B), ureiaCuB-2 (40,08% N, 2,0% Cu e 0,5% B), ureiaCuB-3 (42,78%N, 0,5% Cu e 0,5% B), ureiaSC (38,76% N e 1,94% S), ureia pastilhada (45% N), ureia perolada (46% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), Super N (45% N + NBPT), FH Nitro Mais (44,08% N, 0,06% Cu e 0,3% B) e FH Micro Total (45,5% N e 0,37% Zn).

As taxas diárias de perdas de N-NH<sub>3</sub> em função da dose de N utilizada referente aos diferentes pastilhados de ureia são apresentados da Figura 4 a Figura 13.

Verifica-se na Figura 4 que tanto os pastilhados de ureia + Zn quanto os demais fertilizantes avaliados, apresentaram pico de perda de N-NH<sub>3</sub> por volatilização 48 horas após adubação equivalente a 100 kg N ha<sup>-1</sup>, e que, após o oitavo dia da adubação a dinâmica das perdas foram praticamente semelhantes entre todos os tratamentos. O pastilhado de ureiaZn-1

reduziu em torno de 11,6% as perdas totais de N quando comparado com as perdas da ureia perolada comercial.

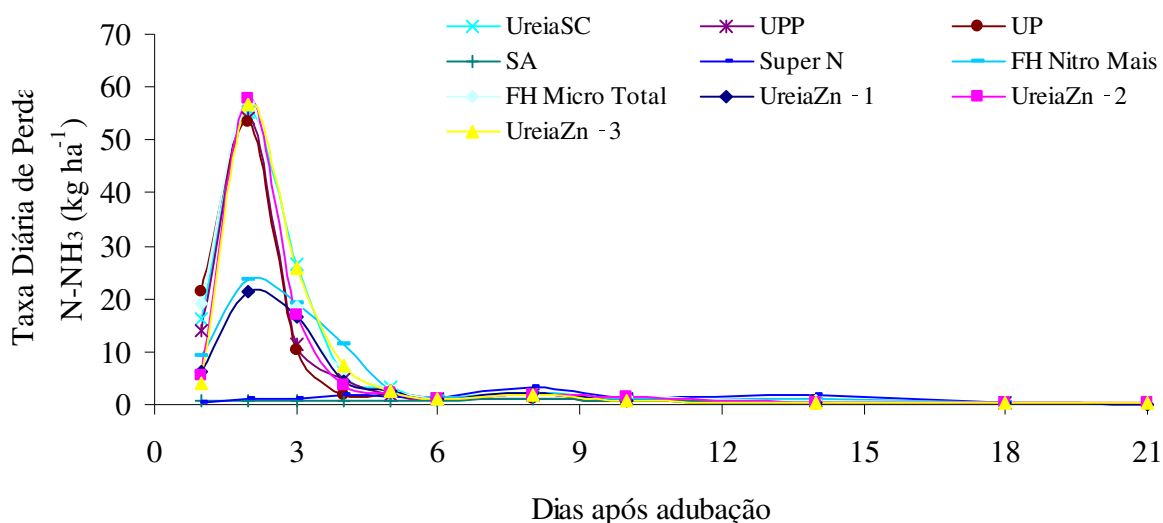


**Figura 4.** Perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup>.

As perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> por volatilização referente a uma dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup> após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e demais produtos são apresentadas na Figura 5. Verifica-se que o pico de perdas por volatilização da amônia deu-se no segundo dia após adubação tanto para os pastilhados de ureia + Zn quanto para os demais produtos, porém as magnitudes volatilizadas foram diferentes, onde a ureiaZn-1 apresentou o menor pico de perdas, refletindo assim em uma menor perda total. O pastilhado ureiaZn-1 com 0,5% de Zn foi o que apresentou o melhor resultado, com perdas totais de 56,72 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> (28,3% de perdas em relação a dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup> aplicada), reduzindo em quase 40% as perdas de N-NH<sub>3</sub> quando comparadas as perdas ocasionadas pela ureia perolada comercial (93,5 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>). O pastilhado ureiaZn-2 apresentou perdas semelhantes ao observado para a ureia perolada e pastilhada, ao passo que, a ureiaZn-3 possuindo maior concentração de Zn (4,0%) resultou em uma das maiores perdas de N, evidenciando que concentrações de Zn no pastilhado de ureia superiores a 0,5% como também adições maiores que 2,20 kg Zn ha<sup>-1</sup> não se mostraram efetivos em reduzir as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização.

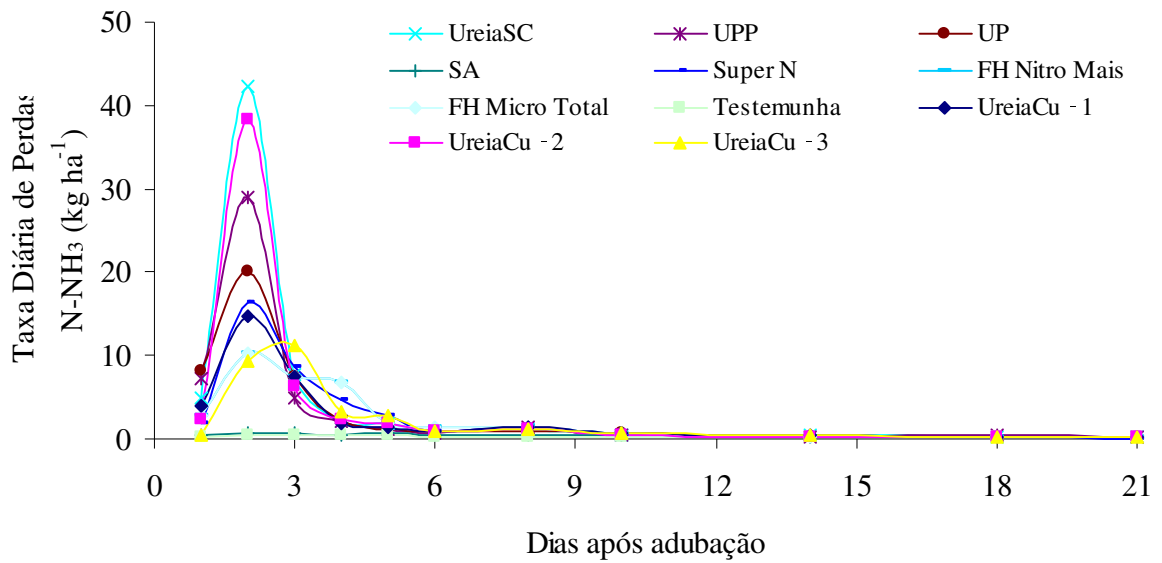
As perdas diárias por volatilização de N-NH<sub>3</sub> dos pastilhados de ureia+Cu e dos demais tratamentos após aplicação de uma dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup> (Figura 6) praticamente apresentaram a mesma dinâmica, onde o pico máximo de perdas observado deu-se 48 horas após adubação, exceto para o pastilhado ureiaCu-3 que apresentou maiores perdas no terceiro dia, enquanto que, o fertilizante comercial Super N (NBPT) resultou em pico de perda no segundo dia. Estes pastilhados quando comparado com as perdas ocasionadas pela ureia perolada, reduziram as perdas de N em torno de 20,8 e 26,1% respectivamente para a ureiaCu-1 e ureiaCu-3, enquanto que o Super N (inibidor da urease) reduziu em apenas 10,2% as perdas de N em relação a ureia perolada.



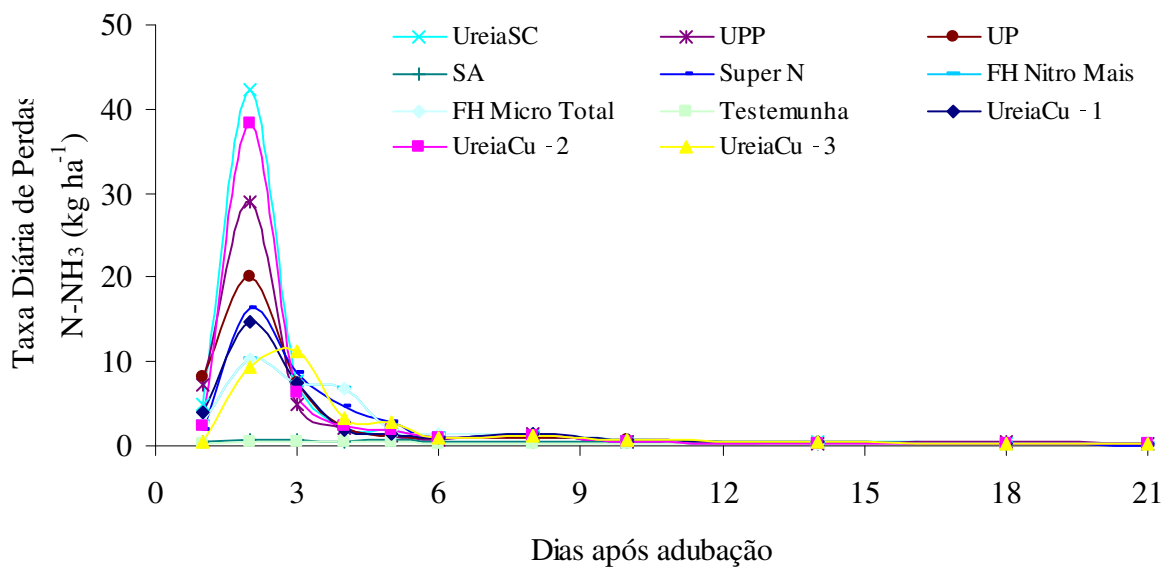


**Figura 5.** Perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup>.

Dentre os fertilizantes avaliados quando aplicado dose equivalente a 200 kg N ha<sup>-1</sup>, verifica-se na Figura 7, que estes apresentaram uma cinética de perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> semelhantes, variando nas magnitudes volatilizadas. Contudo, o pastilhado ureiaCu-3 e o fertilizante comercial Super N apresentaram picos de perdas de N-NH<sub>3</sub> no terceiro e oitavo dia respectivamente, ao passo que, os demais tiveram suas perdas de N-NH<sub>3</sub> máxima no segundo dia após adubação. Os pastilhados ureiaCu-1, ureiaCu-2 e ureiaCu-3 resultaram em perdas de 73,84; 75,1 e 66,64 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>. Quando comparado com as perdas totais de N-NH<sub>3</sub> ocasionado pela ureia perolada comercial (93,5 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>) os pastilhados ureiaCu-1, ureiaCu-2 e ureiaCu-3 reduziram a volatilização em torno de 21; 19,7 e 28,7% respectivamente (Tabela 4). Gong et al. (1997) avaliando a atividade máxima da urease no solo, observaram que esta atividade era máxima na ausência de cobre (Cu), e que posteriormente a atividade da urease diminuiu de acordo com adições crescentes deste elemento, o que foi atribuído ao declínio da síntese da enzima urease em função de uma diminuição da população de microrganismos responsáveis por produzir esta enzima.



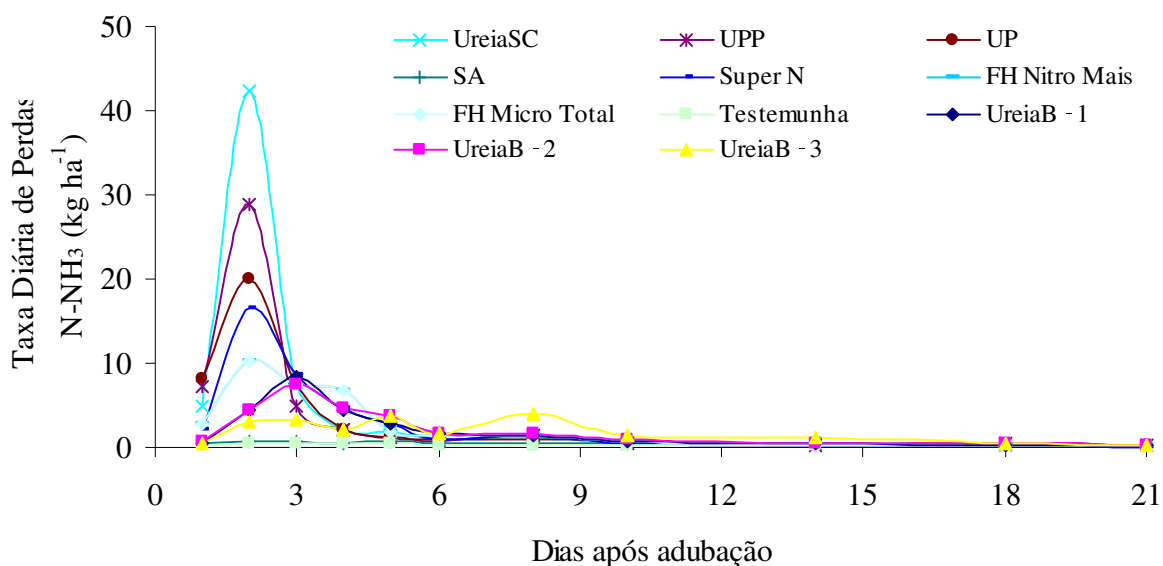
**Figura 6.** Perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Cu e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup>.



**Figura 7.** Perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Cu e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup>.

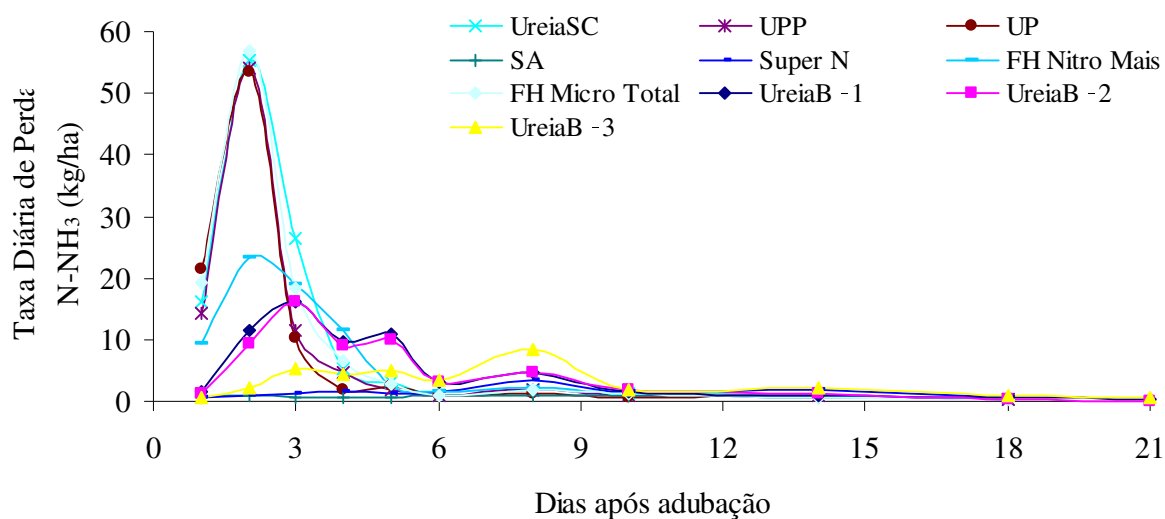
A dinâmica das perdas diárias por volatilização da amônia após aplicação equivalente a uma dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup> referente aos pastilhados de ureia+B e dos demais fertilizantes avaliados (testemunhas) são apresentados na Figura 8. Todos os fertilizantes utilizados para fins de comparação tiveram seus picos de volatilização 48 horas após adubação, especialmente o fertilizante comercial Super N contendo o inibidor da urease NBPT que, no segundo dia, resultou em perdas de 16,4 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> em relação a dose aplicada. No entanto, os pastilhados ureiaB-1 e ureiaB-2 apresentaram picos de volatilização no terceiro

dia, ao passo que, o pastilhado ureiaB-3 com 4,0% B foi o produto que conseguiu “segurar” o N por mais tempo no solo, uma vez que, seu pico de perda de N-NH<sub>3</sub> ocorreu no oitavo dia após adubação, resultando em um pico de perda em torno de 3,8 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>. Em comparação com a perda ocasionada pela ureia perolada comercial, os pastilhados de ureia+B reduziram as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização em 40,3; 37,4 e 49,7% respectivamente para ureiaB-1, ureiaB-2 e ureiaB-3. Enquanto que, os fertilizantes comerciais Super N e FH Nitro Mais reduziram em 10,2 e 20,7% quando comparado com as perdas totais da ureia perolada.



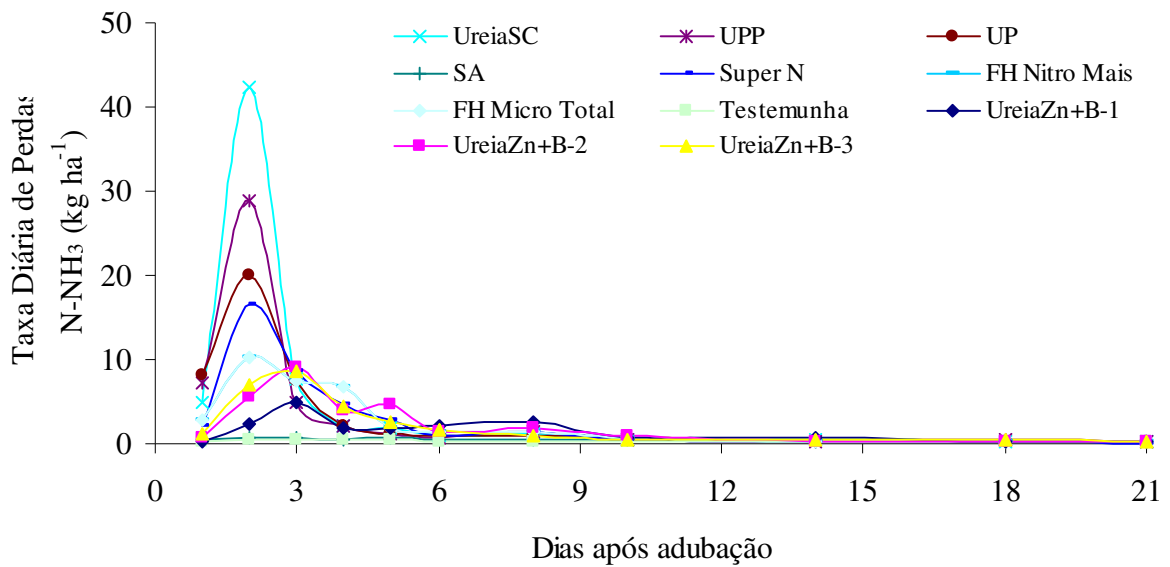
**Figura 8.** Perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + B e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup>.

As perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> por volatilização equivalente a uma aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup> em relação aos pastilhados de ureia+B em comparação com os demais fertilizantes são apresentados na Figura 9. Os fertilizantes utilizados para fins de comparação resultaram em picos de volatilização no segundo dia após adubação, exceto os produtos comerciais Sulfato de Amônio e Super N, que apresentaram picos de perdas no oitavo dia após adubação. Os picos de volatilização observadas nos pastilhados ureiaB-1 e ureiaB-2 ocorreram no terceiro dia após adubação, enquanto que, o pastilhado ureiaB-3 com maior teor de B em sua composição (4,0%) teve sua perda máxima de N-NH<sub>3</sub> semelhante ao encontrado para o sulfato de amônio e ao Super N, ou seja, no oitavo dia após adubação, demonstrando que a presença de B nos pastilhados de ureia poderão se tornar alternativas promissoras em minimizar as perdas por volatilização da amônia. As perdas acumuladas de N-NH<sub>3</sub> ao final de 21 dias proporcionadas pelos pastilhados ureiaB-1, ureiaB-2 e ureiaB-3 foram de 60,64; 56,73 e 34,39 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> em relação a dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup>. Quando comparado às perdas ocasionadas pelos pastilhados de ureia + B em relação às perdas da ureia perolada comercial (93,49 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>), estes conseguiram minimizá-las em 35,1% (ureiaB-1), 39,3% (ureiaB-2) e principalmente o pastilhado ureiaB-3 que reduziu em 63,2% a volatilização da amônia em relação a ureia perolada, ao passo que, o Super N apresentou uma redução de 84 % e o fertilizante comercial FH Nitro Mais reduziu em 22,3% em relação as perdas observadas no tratamento onde foi aplicado a ureia perolada comercial.



**Figura 9.** Perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + B e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup>.

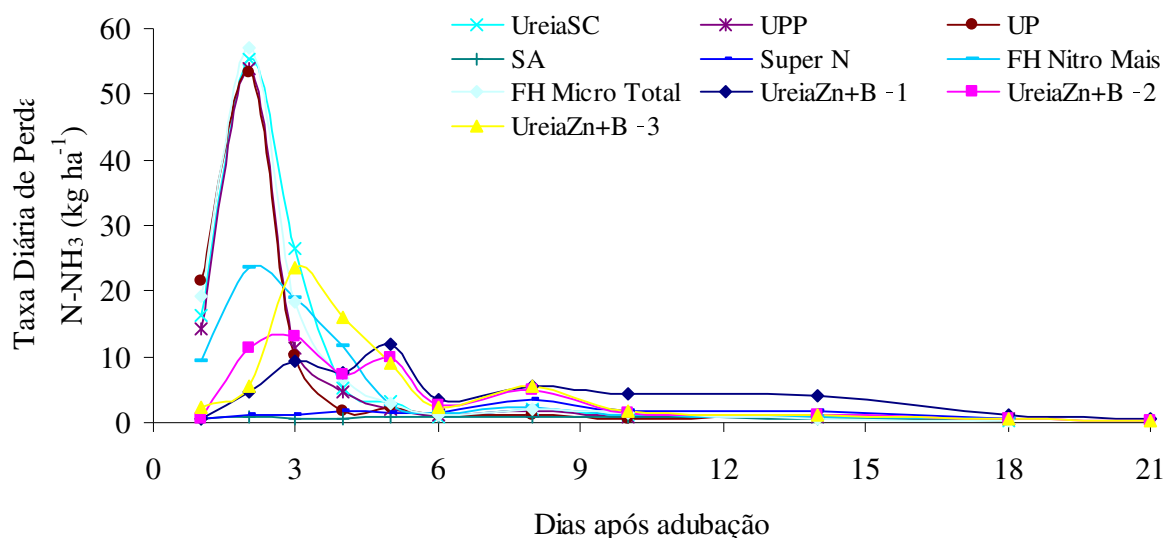
As perdas diárias por volatilização da amônia dos pastilhados de ureia+Zn e B após aplicação de uma dose equivalente a 100 kg N ha<sup>-1</sup> são apresentadas na Figura 10. Os pastilhados de ureia+Zn e B apresentaram perdas máximas de N-NH<sub>3</sub> no terceiro dia após adubação, diferenciando-se apenas nas magnitudes volatilizadas, onde suas perdas máximas foram de 9,1 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> para a ureiaZn+B-2; 8,7 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> para ureiaZn+B-3 e 4,9 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> para a ureiaZn+B-1. O pastilhado ureiaZn+B-1 resultou em um menor pico de perda como também em menores perdas totais de N-NH<sub>3</sub> em relação aos demais pastilhados provavelmente pelo fato deste possuir em sua composição um maior teor de B (2,0%) em relação aos demais pastilhados de ureia+Zn e B, que possuem 0,5% B em sua composição. Dentre os pastilhados, destaca-se a ureiaZn+B-1 (0,5% Zn e 2,0% B), proporcionando perdas em torno de 18,3 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> da dose aplicada, reduzindo assim em 57,2% a volatilização quando comparadas com as perdas oriunda da ureia perolada comercial (42,08 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>). Quanto aos pastilhados ureiaZn+B-2 e ureiaZn+B-3, estes apresentaram perdas de N-NH<sub>3</sub> de 29,11 e 27,91 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>, reduzindo em aproximadamente 30,8 e 33,7% respectivamente as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização quando comparada com as perdas ocasionada pela ureia perolada comercial, que resultou em perdas de 42,08 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>.



**Figura 10.** Perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e B e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup>.

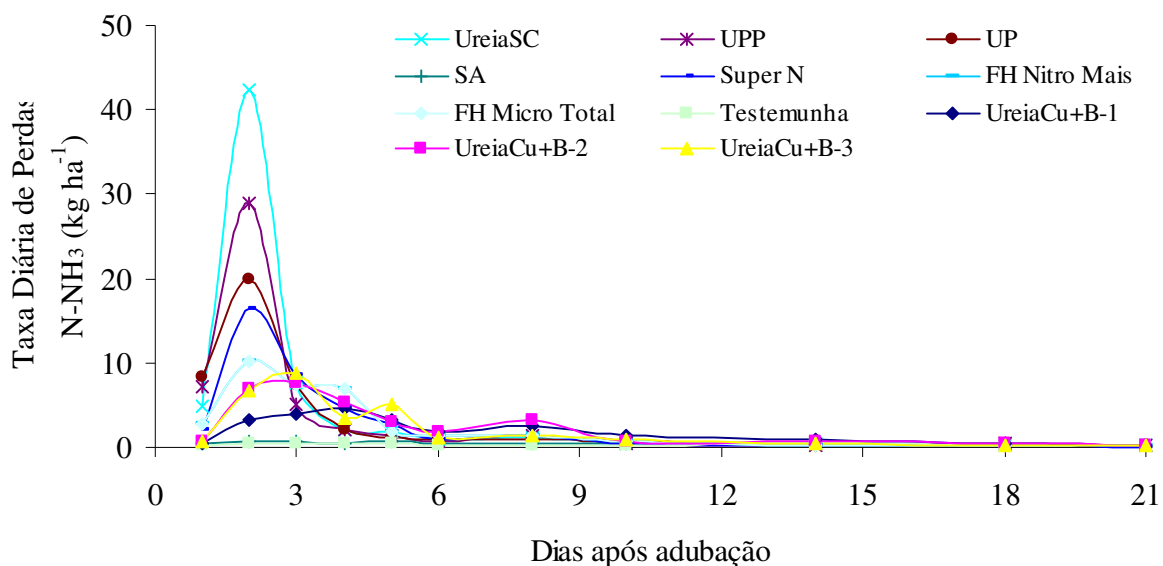
Avaliando as perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> por volatilização dos pastilhados de ureia + Zn e B em dose equivalente a 200 kg N ha<sup>-1</sup>, verifica-se na Figura 11, que o pico de perdas de N-NH<sub>3</sub> dos produtos utilizados para fins de comparação ocorreu no segundo dia após adubação. Os pastilhados ureiaZn+B-2 e ureiaZn+B-3 apresentaram perdas máximas no terceiro dia após adubação, representando 25,2% do N-NH<sub>3</sub> volatilizado total para a ureiaZn+B-2 e 35,2% do N-NH<sub>3</sub> total volatilizado para a ureiaZn+B-3. Quanto ao pastilhado ureiaZn+B-1 que apresentou as menores perdas totais, este resultou em pico de perdas de N-NH<sub>3</sub> no quinto dia após adubação, representando 23,1% das perdas totais ocorridas nesse dia. Entre os pastilhados contendo micronutrientes, a ureiaZn+B-1 e ureiaZn+B-2 resultaram em perdas semelhantes de N-NH<sub>3</sub>, da dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup> aplicada, estes pastilhados apresentaram perdas totais de 53,18 e 53,00 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> para ureiaZn+B-1 e ureiaZn+B-2 respectivamente, reduzindo em média 43% da N-NH<sub>3</sub> volatilizada em comparação com as perdas provocadas pela ureia perolada comercial (93,49 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>).

Portanto, após verificar as perdas de NH<sub>3</sub> oriundas dos pastilhados de ureia + Zn e B para ambas as doses (Tabela 4), observa-se que parece haver um sinergismo entre a dose 1 de zinco com a dose 1 de boro (associação de Zn na maior concentração de B), uma vez que, o pastilhado ureiaZn+B-1 apresentando 0,5% de Zn e 2,0% de B resultou nas menores perdas totais de N por volatilização da amônia, revelando que uma relação 1:4 (Zn:B) mostrou-se mais eficiente em reduzir e/ou inibir a atividade da urease e consequentemente as perdas de NH<sub>3</sub>.



**Figura 11.** Perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e B e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup>.

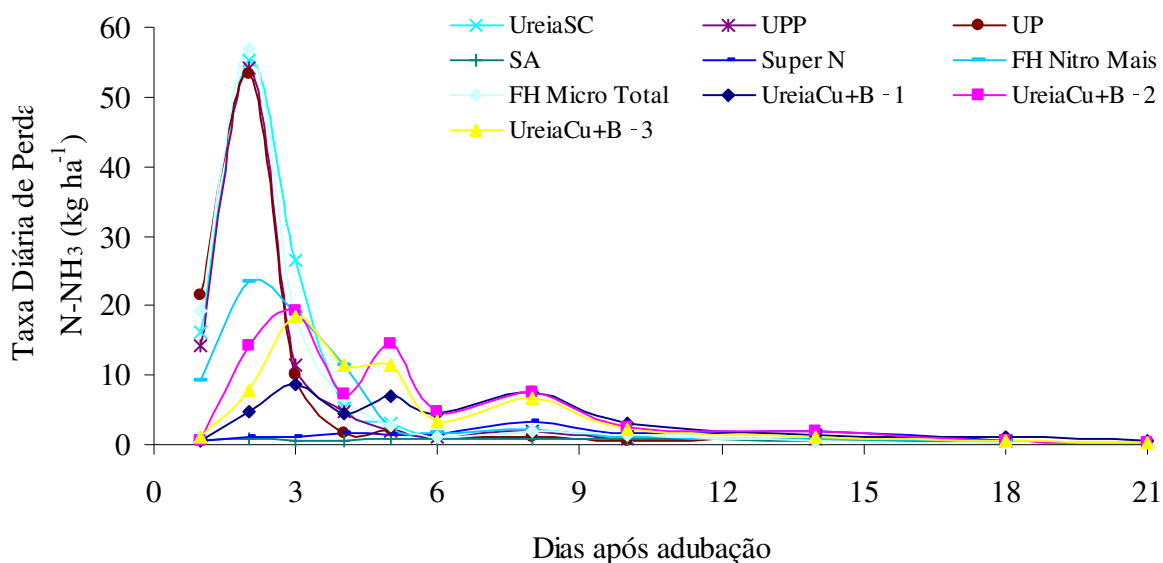
A dinâmica de perdas diárias por volatilização da amônia entre os pastilhados de ureia + Cu e B quando aplicado dose equivalente a 100 kg N ha<sup>-1</sup> são apresentadas na Figura 12. Verifica-se que exceto o sulfato de amônio, todos os demais fertilizantes utilizados para fins de comparação apresentaram perdas máximas de N-NH<sub>3</sub> no segundo dia após adubação. Os pastilhados ureiaCu+B-2 e ureiaCu+B-3 apresentaram picos de N-NH<sub>3</sub> no terceiro dia e a ureiaCu+B-1 no quarto dia após adubação. A partir do décimo dia praticamente não houve diferenças quanto às perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização entre os diferentes tratamentos avaliados. O pastilhado ureiaCu+B-1 que resultou em uma menor volatilização, com perdas totais de 23,2 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>, reduziu em 45% a volatilização quando comparada com a ureia perolada comercial (42,08 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>). Enquanto que, os pastilhados ureiaCu+B-2 e ureiaCu+B-3 com perdas de 30,53 e 28,8 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> respectivamente, minimizaram a volatilização da N-NH<sub>3</sub> em torno de 27,5 e 31,5% em relação as perdas provocadas pela ureia perolada. Estes pastilhados resultaram em perdas semelhantes ao produto comercial FH Nitro Mais (ureia revestida com Cu e B) que resultou em uma redução em torno de 21% das perdas de N-NH<sub>3</sub> em relação às perdas da ureia perolada. O pastilhado ureiaCu+B-1 obteve os melhores resultados quanto a redução das perdas de N-NH<sub>3</sub> provavelmente por possuir em sua composição um maior teor de B (2,0%).



**Figura 12.** Perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e B e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup>.

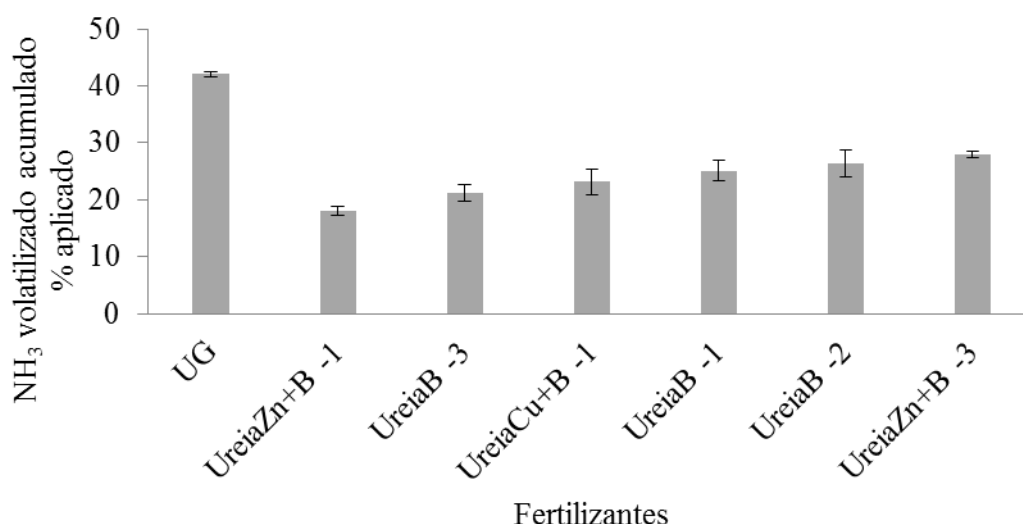
Na Figura 13 são apresentadas as perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> após aplicação equivalente a 200 kg N ha<sup>-1</sup>, entre os pastilhados de ureia + Cu e B e dos demais tratamentos. Os pastilhados de ureia + Cu e B resultaram em picos de volatilização no terceiro dia, diferenciando-se apenas nas magnitudes volatilizada, onde a ureiaCu+B-1 contendo maiores teores de B (2,0%) e 0,5% Cu apresentou perda máxima de 8,5 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>, enquanto os pastilhados ureiaCu+B-2 e ureiaCu+B-3 resultaram em praticamente no dobro das perdas encontrada para ureiaCu+B-1. Nesta maior dose de N, o pastilhado ureiaCu+B-1 resultou em perdas de N em torno de 43,69 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>, minimizando em 53,3% as perdas por volatilização da amônia quando comparada com as perdas ocasionada pela ureia perolada comercial (93,49 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup>). Enquanto que, os pastilhados ureiaCu+B-2 e ureiaCu+B-3 proporcionaram perdas de amônia por volatilização em torno de 73,12 e 63,89 kg N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> respectivamente, reduzindo em comparação com as perdas ocasionadas pela ureia perolada comercial em torno de 21,8% (ureiaCu+B-2) e 31,7% (ureiaCu+B-3).

De forma semelhante ao ocorrido para as perdas de NH<sub>3</sub> oriundas dos pastilhados de ureia + Zn e B para ambas as doses (Figura 10 e Figura 11), que parece haver um sinergismo também entre a dose 1 de cobre com a dose 1 de boro (associação de Cu na maior concentração de B), uma vez que, o pastilhado ureiaCu+B-1 apresentando 0,5% de Cu e 2,0% de B resultou nas menores perdas totais de N por volatilização da amônia, evidenciando que uma relação 1:4 (Cu:B) mostrou-se mais eficiente em reduzir e/ou inibir a atividade da urease e consequentemente as perdas de NH<sub>3</sub>.



**Figura 13.** Perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> (kg ha<sup>-1</sup>) por volatilização após aplicação dos pastilhados de ureia + Zn e B e demais fertilizantes comerciais referentes a uma dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup>.

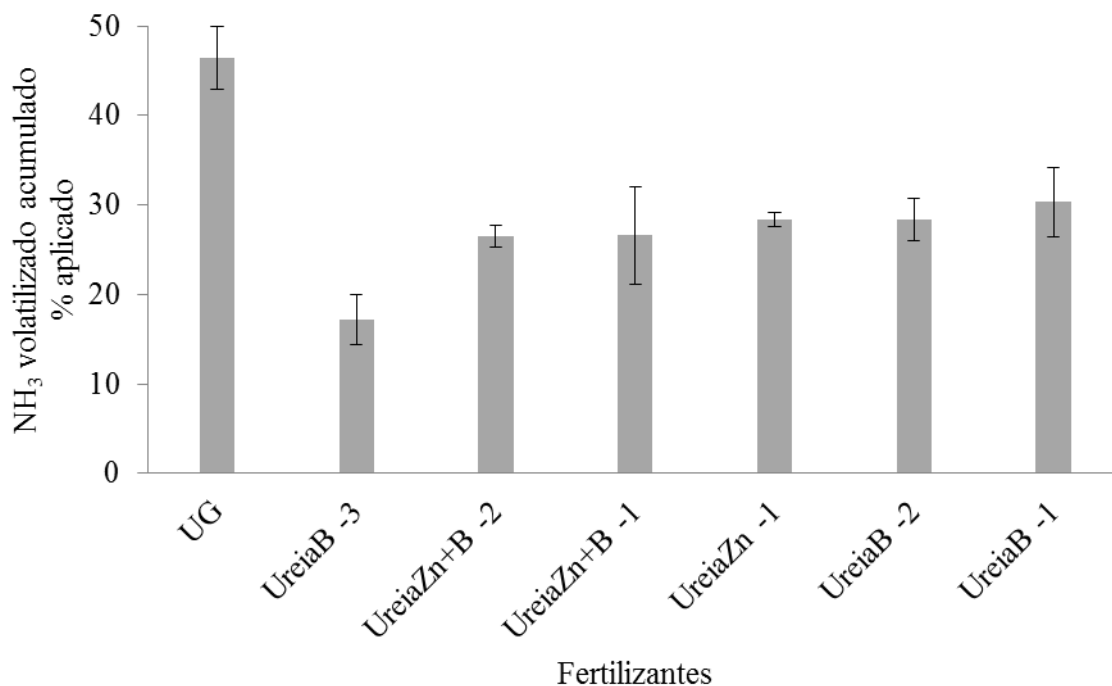
Na Figura 14 e Figura 15 são apresentados os melhores produtos a base de ureia pastilhada com micronutrientes respectivamente para a dose de 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>, que demonstraram serem mais eficientes em minimizar as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização. Comparando os melhores produtos de cada dose de N utilizada, observa-se que dentre os seis melhores, quatro produtos se repetem, ureiaZnB-1, ureiaB-3, ureiaB-1 e ureiaB-2. Dessa forma, verifica-se que o boro (B) é o micronutriente de maior eficiência em minorar as perdas de amônia por volatilização.



**Figura 14.** Melhores produtos a base de ureia pastilhada com micronutrientes quanto a redução das perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização após aplicação de uma dose de 100 kg N ha<sup>-1</sup>.

Onde: ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-2 (42,35% N e 1,0% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-3 (43,035N, 0,5% Zn e 0,5% B), ureiaCuB-1 (38,8% N, 0,5% Cu e 2,0% B), UG (ureia granulada, 46% N).





**Figura 15.** Melhores produtos a base de ureia pastilhada com micronutrientes quanto a redução das perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização após aplicação de uma dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup>.

Onde: ureiaZn-1 (44,35% N e 0,5% Zn), ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-2 (42,35% N e 1,0% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-2 (41,1%N, 2,0% Zn e 0,5% B), UG (ureia granulada, 46% N).

### 3.5.2 N-Residual

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é apresentado os teores residuais de nitrogênio no solo e seu acúmulo na planta de milho ao final de 40 dias de cultivo provenientes dos pastilhados de ureia com micronutrientes e dos demais fertilizantes nitrogenados para ambas as doses de N utilizadas (100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>). Verifica-se que em relação ao N total no solo não houve diferenças significativas entre os tratamentos avaliados para ambas doses de N, onde o tratamento controle (sem aplicação de N) apresentou-se de forma semelhante aos demais tratamentos. De acordo com Raij (1991) a dinâmica de transformação do N no solo ocorre com relativa facilidade e rapidez. Segundo esse mesmo autor, essa dinâmica de transformação do N é a principal causadora da adubação nitrogenada apresentar pouco ou nenhum efeito residual.

Quanto ao acúmulo de massa seca de planta (MSP) verifica-se que para a menor dose de N aplicada (100 kg ha<sup>-1</sup>) que houve diferenças significativas entre os diferentes tratamentos. Os maiores acúmulos de MSP ocorreram nos pastilhados de ureia contendo apenas Zn (ureiaZn-1, ureiaZn-2 e ureiaZn-3), na ureia pastilhada com a menor concentração de Cu (ureiaCu-1) e maior de Cu (ureiaCu-3), na ureia pastilhada com a menor concentração de B (ureiaB-1), na ureia pastilhada associada com concentrações iguais de Zn e B (ureiaZnB-1) e na pastilha de ureia associada com Cu e menores concentrações de B (ureiaCuB-2 e ureiaCuB-3). Estes pastilhados de ureia não diferiram porém da ureia comercial, ureia pura pastilhada, do sulfato de amônio, da ureia contendo inibidor da urease NBPT e do fertilizante comercial Micro Total (ureia com Zn). Entretanto, o pastilhado de ureia contendo 1,0% de Cu (ureiaCu-2), a ureia pastilhada com maiores concentrações de B

isolada ou associada com Zn ou Cu (ureiaB-2, ureiaB-3, ureiaZnB-1, ureiaZnB-3 e ureiaCuB-1) resultaram em menores acúmulos de MSP, contudo estes não diferiram do produto comercial Nitro Mais (ureia revestida com Cu e B) e principalmente do tratamento controle (sem adição de N) (Tabela 5).

Comparando o acúmulo de N pelas plantas de milho ao final de 40 dias de cultivo em função da aplicação da menor dose de N ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ), verifica-se na Tabela 5 que houve diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. Os pastilhados que apresentaram maiores acúmulos de MSP provavelmente reflexo de um maior acúmulo de N pelas plantas, uma vez que, os maiores acúmulos de N pela planta (NP) ocorreram nos tratamentos com maiores MSP. Onde os pastilhados contendo apenas o micronutriente Zn (ureiaZn-1, ureiaZn-2 e ureiaZn-3) a ureia pastilhada com a maior concentração de Cu (ureiaCu-3), a ureia pastilhada com 2,0% de Zn e 0,5% de B (ureiaZnB-2) e a associação de 2,0% de Cu e 0,5% de B (ureiaCuB-2) e a associação de 0,5% de Cu e de B (ureiaCuB-3) na pastilha de ureia resultaram em maiores acúmulos de N pelas plantas de milho, contudo não diferiram da ureia perolada comercial, do sulfato de amônio e do produto comercial Micro Total. Enquanto que os demais pastilhados de ureia contendo micronutrientes (ureiaCu-1, ureiaCu-2, ureiaB-1, ureiaB-2, ureiaB-3, ureiaZnB-1, ureiaZnB-3 e ureiaCuB-1) resultaram em menores acúmulos de N pelo milho, porém não diferindo da ureia pura pastilhada, da ureia comercial contendo inibidor da urease NBPT e da ureia revestida com Cu e B (Nitro Mais).

Comparando os diversos tratamentos quanto ao acúmulo de MSP quando aplicado maior dose de N ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ), verifica-se na Tabela 5 que a maioria dos tratamentos não diferiram entre si. Contudo, o tratamento controle (sem aplicação de N) apresentou-se significativamente superior aos tratamentos que receberam a ureia comercial contendo inibidor da urease NBPT, como também ao sulfato de amônio e aos pastilhados de ureia contendo a maior concentração de B (ureiaB-3) e ao pastilhado de ureia associado com concentrações iguais de Cu e B (ureiaCuB-3).

Quanto ao acúmulo residual de N pelas plantas de milho na maior dose de N, tem-se que os pastilhados de ureia contendo 0,5% Zn (ureiaZn-1), 0,5% Cu (ureiaCu-1), 1,0% Cu (ureiaCu-2), 1,0% B (ureiaB-2), 0,5% Cu e 0,5% B (ureiaCuB-3) resultaram em maiores quantidades de N nas plantas, porém não diferiram do tratamento referente a ureia perolada comercial. Os menores acúmulos de N pelas plantas de milho foram observados no pastilhado de ureia contendo 0,5% de Zn e 2,0% de B (ureiaZnB-1) que não diferiu significativamente do tratamento controle, entretanto, foram superiores significativamente ao pastilhado de ureia contendo a maior concentração de B (ureiaB-3). Os demais tratamentos apresentaram acúmulos intermediários, com diferenças significativas entre eles (Tabela 5).

Em relação ao N residual no solo ao final do ensaio de volatilização (21 dias) e de planta (40 dias), verifica-se na Tabela 5 que o pastilhado de ureia contendo 2,0% de Zn e 0,5% de B (ureiaZnB-2) resultou em maiores quantidades de N no solo, diferindo significativamente dos demais, ao passo que, os demais tratamentos não diferiram entre si, inclusive do tratamento controle.

**Tabela 5.** Acúmulo de massa seca de plantas de milho (MSP) e acúmulos residuais de N na planta (NP) e no solo (NS) pela aplicação de diferentes fertilizantes nitrogenados contendo micronutrientes em função de diferentes doses de N.

Tratamento	100						200					
	-----kg N ha <sup>-1</sup> -----											
	MSP		NP		NS		MSP		NP		NS	
	-----g tratamento <sup>-1</sup> -----											
UreiaZn-1	23,46	a	0,63	a	0,72	a	22,16	a	0,66	a	0,88	b
UreiaZn-2	21,32	a	0,63	a	0,77	a	22,21	a	0,49	c	0,85	b
UreiaZn-3	21,72	a	0,60	a	0,80	a	21,51	a	0,46	c	0,83	b
UreiaCu-1	22,58	a	0,53	b	0,93	a	21,96	a	0,67	a	0,77	b
UreiaCu-2	18,37	b	0,47	b	0,99	a	23,56	a	0,67	a	0,85	b
UreiaCu-3	22,49	a	0,69	a	0,85	a	18,99	a	0,58	b	0,85	b
UreiaB-1	21,37	a	0,53	b	0,80	a	18,81	a	0,54	b	0,93	b
UreiaB-2	16,94	b	0,46	b	0,83	a	19,75	a	0,63	a	0,85	b
UreiaB-3	13,98	b	0,37	b	0,95	a	6,36	d	0,15	e	0,99	b
UreiaZn+B-1	20,00	b	0,50	b	0,83	a	16,62	a	0,35	d	0,91	b
UreiaZn+B-2	23,43	a	0,58	a	0,85	a	22,12	a	0,62	b	2,18	a
UreiaZn+B-3	19,62	b	0,52	b	1,04	a	23,14	a	0,61	b	1,01	b
UreiaCu+B-1	18,18	b	0,48	b	0,88	a	13,79	c	0,42	c	0,93	b
UreiaCu+B-2	23,28	a	0,68	a	0,85	a	20,45	a	0,60	b	1,12	b
UreiaCu+B-3	21,47	a	0,60	a	0,93	a	22,67	a	0,74	a	0,93	b
UreiaSC	21,02	a	0,60	a	0,88	a	21,78	a	0,57	b	0,85	b
Ureia Pastilhada	20,80	a	0,56	b	0,80	a	24,51	a	0,60	b	0,99	b
Ureia Perolada	23,78	a	0,65	a	0,99	a	21,98	a	0,66	a	0,85	b
Sulfato de Amônio	21,36	a	0,78	a	1,01	a	11,79	c	0,57	b	0,83	b
Ureia + NBPT	22,68	a	0,51	b	0,88	a	16,87	b	0,44	c	0,77	b
Nitro Mais	19,82	b	0,51	b	1,04	a	22,59	a	0,60	b	0,83	b
Micro Total	23,93	a	0,65	a	0,91	a	23,42	a	0,45	c	0,89	b
Controle	20,62	b	0,35	c	0,61	a	20,62	a	0,35	d	0,61	b
CV (%)	12,23		12,69		15,36		11,80		10,94		14,72	

Letras minúsculas na coluna diferentes indicam que os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Scot-knott ( $p < 0,05$ ). Onde: ureiaZn-1 (44,35% N e 0,5% Zn), ureiaZn-2 (43,71% N e 1,0% Zn), ureiaZn-3 (39,86% N e 4,0% Zn), ureiaCu-1 (44,1% N e 0,5% Cu), ureiaCu-2 (43,2% N e 1,0% Cu), ureiaCu-3 (37,8% N e 4,0% Cu), ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-2 (42,35% N e 1,0% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-2 (41,1% N, 2,0% Zn e 0,5% B), ureiaZnB-3 (43,035N, 0,5% Zn e 0,5% B), ureiaCuB-1 (38,8% N, 0,5% Cu e 2,0% B), ureiaCuB-2 (40,08% N, 2,0% Cu e 0,5% B), ureiaCuB-3 (42,78%N, 0,5% Cu e 0,5% B), ureiaSC (38,76% N e 1,94% S), ureia pastilhada (45% N), ureia perolada (46% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), Super N (45% N + NBPT), FH Nitro Mais (44,08% N, 0,06% Cu e 0,3% B) e FH Micro Total (45,5% N e 0,37% Zn).

O efeito residual dos diferentes pastilhados de ureia no solo sob o acúmulo de micronutrientes é apresentado na Tabela 6.

Verifica-se que para a menor dose de N (100 kg ha<sup>-1</sup>) os maiores acúmulos de Zn, Cu e B no solo foram observados nos tratamentos que receberam maiores quantidades destes via adição em função da aplicação dos pastilhados de ureia. Para o Zn, a aplicação do pastilhado

ureiaZn-3 resultou em maiores quantidades residuais deste no solo, muito em função deste possuir maior concentração de Zn (4,0%), diferindo significativamente dos demais tratamentos. Este foi seguido pelo pastilhado ureiaZnB-2 com 2,0% de Zn, com quantidades residuais de Zn no solo significativamente inferior somente a ureiaZn-3. A aplicação de ureia pastilhada contendo 0,5 e 1,0% de Zn (ureiaZn-1 e ureiaZn-2), não foram suficientes para aumentar as quantidades deste micronutriente no solo, uma vez que, não diferiram do tratamento controle (sem aplicação de fertilizante). Quanto ao efeito residual em relação ao Cu, verifica-se que todos os tratamentos que receberam adição de Cu via aplicação de ureia pastilhada apresentaram aumento em sua composição no solo, uma vez que diferiram do tratamento controle e dos demais. Onde seus maiores acúmulos ocorreram nos pastilhados ureiaCu-3, ureiaCuB-2 e ureiaCuB-1, com concentrações de 4,0; 2,0 e 0,5% de Cu respectivamente em suas composições. Estes diferiram significativamente entre si, quanto dos demais tratamentos. Quanto ao B, seus maiores acúmulos residuais nas plantas de milho ocorreram nos tratamentos referente aos pastilhados ureiaB-3, ureiaZnB-1 e ureiaCuB-1, que são respectivamente os produtos com maiores concentrações de B, com 4,0; 2,0 e 2,0% de B respectivamente, diferindo dos demais tratamentos. Estes foram seguidos dos pastilhados ureiaB-1 e ureiaB-2 com 0,5 e 1,0% de B, ao passo que, os demais tratamentos não diferiram do tratamento controle (Tabela 6).

Em relação ao acúmulo residual no solo de Zn, Cu e B referente a aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup>, observa-se que os maiores acúmulos no solo ocorreram em função da adubação dos pastilhados de ureia contendo maiores concentrações destes micronutrientes em sua composição (Tabela 6). Para o Zn, os maiores acúmulos residuais no solo foram observados nos tratamentos referentes a ureiaZn-3 e ureiaZnB-2, apresentando 4,0 e 2,0% de Zn respectivamente em suas composições, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Estes foram seguidos pela ureia pastilhada com 0,5% de Zn em sua composição (ureiaZn-1). Os demais pastilhados de ureia contendo Zn em sua composição (ureiaZn-2, ureiaZnB-1 e ureiaZnB-3) apresentaram acúmulo residual de Zn no solo significativamente semelhante aos demais tratamentos que não adicionaram Zn ao solo, como também ao produto comercial Micro Total, com 0,37% de Zn em sua composição. Contudo, foram estatisticamente superior ao tratamento controle e aos pastilhados de ureia com Cu.

Comparando os diversos tratamentos quanto ao acúmulo residual de Co no solo referente a uma aplicação de 200 kg N ha<sup>-1</sup>, verifica-se na Tabela 6 que a aplicação de ureia contendo 4,0% de Cu (ureiaCu-3) diferiu significativamente dos demais, resultando no maior acúmulo de Cu no solo. A associação de Cu e B na mesma pastilha de ureia, contendo 0,5 e 2,0% de Cu (ureiaCuB-2 e ureiaCuB-3) apresentaram acúmulo inferior somente a ureiaCu-3, porém significativamente superiores aos demais tratamentos. Os demais fertilizantes a base de ureia pastilhada com Cu (ureiaCu-1, ureiaCu-2 e ureiaCuB-1) resultaram em respostas semelhantes quanto ao acúmulo de Cu no solo. Contudo, os demais tratamentos que não receberam adições de Co no solo, exceto o produto comercial Nitro Mais, não diferiram significativamente do tratamento controle.

Avaliando os diversos tratamentos quanto ao acúmulo residual de B no solo quando aplicado 200 kg N ha<sup>-1</sup>, tem-se que a adição de B via ureia pastilhada contribuiu para o seu acúmulo no solo, onde a ureiaB-3 com 4,0% de B resultou em maiores quantidades deste no solo, diferindo significativamente dos demais. Concentrações de B na ureia pastilhada acima de 1,0% (ureiaB-2, ureiaCuB-1 e ureiaZnB-1) refletiram em significativo acúmulo de B no solo, diferenciando-se dos demais tratamentos que receberam ureia pastilhada com apenas 0,5% de B (ureiaB-1, ureiaZnB-2, ureiaZnB-3, ureiaCuB-2, ureiaCuB-3) e do produto comercial Nitro Mais (0,3% B). Os demais tratamentos que não receberam adição de B não diferiram significativamente do tratamento controle (Tabela 6).

Existem indícios de que a reversão de fontes de Cu para formas não disponíveis para as plantas é lenta. Com isso de acordo com Abreu et al. (2007) os intervalos de aplicação de fertilizantes contendo Cu podem dependendo da sensibilidade da cultura e da severidade da deficiência serem superiores a cinco anos. Entretanto, Martens & Westermann (1991) verificaram que o efeito residual referente a aplicação de 1,1 e 5,5 kg Cu ha<sup>-1</sup> (CuSO<sub>4</sub>) em solo de textura argilosa aumentou a produção de trigo em até nove e doze anos respectivamente. Contudo, ainda são escassos na literatura, especialmente no Brasil, pesquisas que apontem com mais clareza o efeito residual de micronutrientes no solo e seus possíveis efeitos nas culturas.

De acordo com Abreu et al. (2007) fertilizantes contendo B apresentam maiores efeitos residuais quando aplicados em solos com teores elevados de silte e argila em comparação com solos arenosos. A textura do solo segundo Dechen & Nachtigall (2007) é importante pois influencia na disponibilidade de B, uma vez que, em solos de textura arenosa, o B pode ser facilmente lixiviado, enquanto que em solos de textura argilosa, sua mobilidade é reduzida.

O efeito residual referente a aplicação dos diferentes fertilizantes nitrogenados relacionados ao acúmulo de micronutrientes na planta de milho é apresentado na Tabela 7. Quando aplicado a menor dose de N (100 kg ha<sup>-1</sup>), verifica-se que os maiores acúmulos de Zn nas plantas de milho ocorreram nos tratamentos que receberam maiores adições deste micronutriente, uma vez que, os pastilhados ureiaZn-3, ureiaZnB-2 e ureiaZnB-1 apresentando 4,0; 2,0 e 0,5% de Zn em sua composição resultaram em maiores acúmulos, diferindo significativamente dos demais. Pesquisas demonstram que o Zn está diretamente relacionado ao desenvolvimento da planta, controlando a produção de importantes reguladores de crescimento (Dechen, 1991), o que provavelmente refletiu em maiores crescimento das plantas de milho nestes tratamentos como apresentado na Tabela 5. Contudo estes não diferiram do sulfato de amônio, uma vez que, este fertilizante tem como característica acidificar o solo, o que de acordo com Moraghan & Mascagni Jr. (1991) aumenta a disponibilidade de alguns micronutrientes, como o zinco, manganês, ferro e o cobre, acarretando conseqüentemente em uma maior absorção destes elementos pelas plantas.

Em relação ao acúmulo de Cu nas plantas de milho quando utilizado a menor dose de N (100 kg ha<sup>-1</sup>), verifica-se na Tabela 7 que a maioria dos tratamentos não diferiram entre si, independentemente da adição ou não de Cu via aplicação dos fertilizantes nitrogenados.

Quanto ao acúmulo residual de B nas plantas de milho, para ambas doses de N utilizadas, verifica-se que os tratamentos que receberam adição de B via ureia pastilhada, independentemente da concentração de B na ureia, resultaram em maiores acúmulos, diferindo significativamente dos demais tratamentos (Tabela 7).

Verificando o acúmulo residual de Zn pelas plantas e milho referente a uma dose de 200 kg N ha<sup>-1</sup>, tem-se que os maiores acúmulos ocorreram nos tratamentos que receberam este elemento via aplicação dos fertilizantes nitrogenados. Contudo, a ureia pastilhada com sulfato de cálcio e o sulfato de amônio que não adicionaram este elemento no solo não diferiram dos pastilhados de ureia contendo Zn e do produto comercial contendo Zn em sua composição (Micro Total). Em relação ao acúmulo de Cu pelas plantas quando aplicado maior dose de N, verifica-se que a adição de maiores quantidades de Cu via ureia pastilhada com este micronutriente refletiu em maiores acúmulos, acompanhando assim a concentração de Cu na ureia, ou seja, os maiores acúmulos residuais de Cu foram observados na ureiaCu-3, ureiaCu-2 e ureiaCu-1 com 4,0; 1,0 e 0,5% de Cu respectivamente, estes diferiram significativamente entre si, como também dos demais tratamentos. A exceção da ureiaCu-1 que apresentou-se de forma semelhante a alguns tratamentos, contudo diferindo do tratamento controle (Tabela 7).

**Tabela 6.** Efeito residual de diferentes fertilizantes nitrogenados contendo micronutrientes sobre o acúmulo de zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B) no solo em função de diferentes doses de N.

Tratamento	100						200					
	-----kg N ha <sup>-1</sup> -----											
	Zn		Cu		B		Zn		Cu		B	
	-----g tratamento <sup>-1</sup> -----											
UreiaZn-1	0,007	d	0,001	f	0,005	c	0,011	b	0,001	d	0,005	d
UreiaZn-2	0,006	d	0,001	f	0,004	c	0,006	c	0,001	d	0,004	d
UreiaZn-3	0,017	a	0,001	f	0,005	c	0,015	a	0,001	d	0,005	d
UreiaCu-1	0,007	d	0,003	d	0,004	c	0,005	d	0,005	c	0,005	d
UreiaCu-2	0,006	d	0,003	d	0,004	c	0,005	d	0,005	c	0,005	d
UreiaCu-3	0,007	d	0,021	a	0,005	c	0,005	d	0,070	a	0,005	d
UreiaB-1	0,006	d	0,001	f	0,008	b	0,005	d	0,001	d	0,009	c
UreiaB-2	0,007	d	0,001	f	0,009	b	0,007	c	0,001	d	0,012	b
UreiaB-3	0,007	d	0,001	f	0,013	a	0,007	c	0,001	d	0,019	a
UreiaZn+B-1	0,008	c	0,001	f	0,011	a	0,007	c	0,001	d	0,013	b
UreiaZn+B-2	0,014	b	0,001	f	0,005	c	0,015	a	0,001	d	0,006	c
UreiaZn+B-3	0,008	c	0,001	f	0,004	c	0,008	c	0,001	d	0,006	c
UreiaCu+B-1	0,009	c	0,004	c	0,012	a	0,006	c	0,005	c	0,013	b
UreiaCu+B-2	0,007	d	0,007	b	0,004	c	0,006	c	0,012	b	0,007	c
UreiaCu+B-3	0,008	d	0,002	e	0,004	c	0,006	c	0,014	b	0,007	c
UreiaSC	0,008	c	0,001	f	0,004	c	0,006	c	0,001	d	0,003	d
Ureia Pastilhada	0,007	d	0,001	f	0,004	c	0,006	c	0,001	d	0,003	d
Ureia Perolada	0,006	d	0,001	f	0,004	c	0,006	c	0,001	d	0,004	d
Sulfato de Amônio	0,007	d	0,001	f	0,004	c	0,006	c	0,001	d	0,004	d
Ureia + NBPT	0,007	d	0,001	f	0,004	c	0,007	c	0,001	d	0,003	d
Nitro Mais	0,006	d	0,001	f	0,005	c	0,006	c	0,001	d	0,007	c
Micro Total	0,009	c	0,001	f	0,004	c	0,007	c	0,001	d	0,004	d
Controle	0,005	d	0,001	f	0,002	c	0,005	d	0,001	d	0,002	d
CV (%)	10,84		11,33		17,45		11,46		16,16		19,78	

Letras minúsculas na coluna diferentes indicam que os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Scot-knott (p<0,05). Onde: ureiaZn-1 (44,35% N e 0,5% Zn), ureiaZn-2 (43,71% N e 1,0% Zn), ureiaZn-3 (39,86% N e 4,0% Zn), ureiaCu-1 (44,1% N e 0,5% Cu), ureiaCu-2 (43,2% N e 1,0% Cu), ureiaCu-3 (37,8% N e 4,0% Cu), ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-2 (42,35% N e 1,0% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-2 (41,1% N, 2,0% Zn e 0,5% B), ureiaZnB-3 (43,035N, 0,5% Zn e 0,5% B), ureiaCuB-1 (38,8% N, 0,5% Cu e 2,0% B), ureiaCuB-2 (40,08% N, 2,0% Cu e 0,5% B), ureiaCuB-3 (42,78%N, 0,5% Cu e 0,5% B), ureiaSC (38,76% N e 1,94% S), ureia pastilhada (45% N), ureia perolada (46% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), Super N (45% N + NBPT), FH Nitro Mais (44,08% N, 0,06% Cu e 0,3% B) e FH Micro Total (45,5% N e 0,37% Zn).

**Tabela 7.** Efeito residual de diferentes fertilizantes nitrogenados contendo micronutrientes sobre o acúmulo de zinco (Zn), cobre (Cu) e boro (B) em plantas de milho em função de diferentes doses de N.

Tratamento	100						200					
	-----kg N ha <sup>-1</sup> -----											
	Zn		Cu		B		Zn		Cu		B	
	-----g tratamento <sup>-1</sup> -----											
UreiaZn-1	0,072	c	0,005	c	0,003	b	0,100	a	0,010	c	0,001	b
UreiaZn-2	0,098	b	0,009	a	0,002	b	0,100	a	0,010	c	0,002	b
UreiaZn-3	0,138	a	0,009	a	0,002	b	0,113	a	0,009	c	0,001	b
UreiaCu-1	0,087	c	0,012	a	0,002	b	0,080	b	0,012	c	0,002	b
UreiaCu-2	0,057	c	0,008	a	0,002	b	0,070	b	0,018	b	0,001	b
UreiaCu-3	0,061	c	0,008	a	0,002	b	0,070	b	0,022	a	0,001	b
UreiaB-1	0,060	c	0,006	b	0,004	a	0,083	b	0,008	c	0,004	a
UreiaB-2	0,060	c	0,003	c	0,004	a	0,076	b	0,008	c	0,004	a
UreiaB-3	0,055	c	0,003	c	0,005	a	0,028	c	0,002	d	0,005	a
UreiaZn+B-1	0,116	a	0,006	b	0,005	a	0,082	b	0,008	c	0,005	a
UreiaZn+B-2	0,124	a	0,010	a	0,004	a	0,105	a	0,009	c	0,004	a
UreiaZn+B-3	0,054	c	0,005	c	0,005	a	0,092	a	0,006	d	0,004	a
UreiaCu+B-1	0,077	c	0,007	b	0,005	a	0,071	c	0,009	c	0,004	a
UreiaCu+B-2	0,081	c	0,007	b	0,004	a	0,072	b	0,009	c	0,004	a
UreiaCu+B-3	0,086	c	0,013	a	0,004	a	0,072	b	0,009	c	0,004	a
UreiaSC	0,066	c	0,004	c	0,003	b	0,095	a	0,009	c	0,001	b
Ureia Pastilhada	0,077	c	0,005	c	0,002	b	0,078	b	0,007	d	0,001	b
Ureia Perolada	0,068	c	0,010	a	0,002	b	0,072	b	0,011	c	0,002	b
Sulfato de Amônio	0,126	a	0,010	a	0,002	b	0,127	a	0,004	d	0,001	b
Ureia + NBPT	0,077	c	0,007	b	0,001	b	0,074	b	0,005	d	0,001	b
Nitro Mais	0,067	c	0,010	a	0,002	b	0,070	b	0,007	d	0,002	b
Micro Total	0,082	c	0,009	a	0,002	b	0,086	a	0,006	d	0,002	b
Controle	0,048	c	0,004	c	0,001	b	0,048	c	0,004	d	0,001	b
CV (%)	19,30		23,06		17,54		18,57		24,65		21,30	

Letras minúsculas na coluna diferentes indicam que os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Scot-knott (p<0,05). Onde: ureiaZn-1 (44,35% N e 0,5% Zn), ureiaZn-2 (43,71% N e 1,0% Zn), ureiaZn-3 (39,86% N e 4,0% Zn), ureiaCu-1 (44,1% N e 0,5% Cu), ureiaCu-2 (43,2% N e 1,0% Cu), ureiaCu-3 (37,8% N e 4,0% Cu), ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-2 (42,35% N e 1,0% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-2 (41,1% N, 2,0% Zn e 0,5% B), ureiaZnB-3 (43,35% N, 0,5% Zn e 0,5% B), ureiaCuB-1 (38,8% N, 0,5% Cu e 2,0% B), ureiaCuB-2 (40,08% N, 2,0% Cu e 0,5% B), ureiaCuB-3 (42,78% N, 0,5% Cu e 0,5% B), ureiaSC (38,76% N e 1,94% S), ureia pastilhada (45% N), ureia perolada (46% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), Super N (45% N + NBPT), FH Nitro Mais (44,08% N, 0,06% Cu e 0,3% B) e FH Micro Total (45,5% N e 0,37% Zn).

### 3.6 CONCLUSÕES

Quanto aos resultados é possível inferir que:

Não houve efeito da forma pastilhada de ureia em reduzir as perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização.

O micronutriente que apresentou um efeito mais positivo na redução das perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização foi o boro, tanto de forma isolada na ureia pastilhada ou associado com cobre e zinco, demonstrando ser um elemento eficiente quando incorporado a ureia.

Os pastilhados de ureia que apresentaram os melhores resultados na redução das perdas de  $\text{N-NH}_3$  por volatilização foram: ureiaZnB-1, ureiaB-3, ureiaCuB-1, ureiaB-1, ureiaB-2, ureiaZnB-3, ureiaZnB-2 e ureiaZn-1.

De forma geral, os pastilhados de ureia contendo micronutrientes, principalmente boro de forma isolada e, ou, associado com zinco e cobre demonstraram ser uma alternativa promissora de novos fertilizantes com objetivo de reduzir as perdas de N por volatilização da amônia.

Não houve efeito da aplicação dos diferentes fertilizantes nitrogenados em aumentar as quantidades residuais de N no solo.

A aplicação dos diferentes pastilhados de ureia contendo micronutrientes Zn, Cu e B aumentaram o acúmulo destes elementos no solo.

As maiores adições dos micronutrientes Zn, Cu e B no solo via ureia pastilhada refletiu conseqüentemente em maiores quantidades destes elementos na planta de milho.



## **4. CAPÍTULO II**

### **AVALIAÇÃO DE DIFERENTES FERTILIZANTES NITROGENADOS PASTILHADOS COM MICRONUTRIENTES EM SOLO CULTIVADO COM MILHO (ZEA MAYS)**

#### 4.1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi de avaliar a eficiência dos fertilizantes pastilhados que apresentaram maiores reduções de perdas de N por volatilização, quanto ao seu fornecimento de nitrogênio e micronutrientes para a cultura do milho. O experimento foi instalado em casa de vegetação, o solo utilizado foi proveniente de um horizonte A de um Planossolo Háplico, o qual foi incubado para elevação do seu pH para 6,5. Dentre os 15 fertilizantes pastilhados de ureia com micronutrientes avaliados nos experimentos anteriores, foram escolhidos 9 pastilhados que apresentaram os melhores resultados quanto a redução das perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização e conseqüentemente do seu efeito residual no solo e sua extração pelas plantas de milho. Dessa forma o experimento em questão consistiu em um delineamento completamente casualizado resultando assim em um total de 48 unidades experimentais. Os fertilizantes utilizados foram aplicados no momento do plantio da variedade de milho Sol da Manhã, sendo a dose aplicada foi referente a uma aplicação de 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Foram plantadas 10 sementes/pote, mantendo somente as 2 mais vigorosas após germinação, com o objetivo de homogeneizar os tratamentos. Os vasos utilizados receberam 10 kg cada de terra peneirada em malha de 4mm com auxílio de uma proveta graduada. Ao final de 60 dias de cultivo da planta de milho, foram determinados os seguintes parâmetros morfológicos: massa seca de parte aérea e massa seca de raiz, sendo então determinados os teores totais de N, como também determinado os teores dos micronutrientes (Zn, Cu e B) na parte aérea das plantas como também no solo. A adição de zinco via aplicação de ureia pastilhada não apresentou efeito positivo em incrementar o crescimento da planta de milho como esperado, em virtude das quantidades de zinco no solo terem sido suficientes para suprir a planta adequadamente. Dentre os pastilhados de ureia contendo micronutrientes, a ureiaCuB-1 foi o que apresentou uma tendência em acumular maior quantidade de massa seca de plantas. A presença de boro nos pastilhados de ureia influenciaram o acúmulo de N nas plantas, principalmente quando sua concentração no fertilizante estava acima de 2,0%. A adição de Zn, Cu e B via aplicação de fertilizantes nitrogenados aumentou as quantidades destes no solo. De maneira geral, os pastilhados de ureia com micronutrientes selecionados resultaram em um desenvolvimento inicial das plantas de milho de forma satisfatória quando comparados com os produtos comerciais.

**Palavras-chave:** Boro. Zinco. Cobre.

## 4.2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the efficiency of fertilizers pelletized that had greater reductions in N losses by volatilization, as their supply of nitrogen and micronutrients for the corn crop. The experiment was conducted in a greenhouse, the soil was from a horizon of a Fragiudult, which was incubated for raising its pH to 6.5 . Among the 15 pelletized urea fertilizer with micronutrients assessed in previous experiments, 9 pelletized showed the best results in terms of reduction of N losses by  $\text{NH}_3$  volatilization and consequently its residual effect on the soil and its extraction by corn plants were chosen. Thus the experiment in question consisted of a completely randomized design thus resulting in a total of 48 experimental units. The fertilizers used were applied at planting the maize Morning Sun, with an applied dose was referring to an application of  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Ten seeds/pot were planted, keeping only the 2 stronger after germination, with the aim of homogenizing treatments. The vessels each received 10 kg of sieved soil 4mm mesh with the aid of a measuring cylinder. After 60 days of cultivation of the corn plant, were determined following morphological parameters: dry weight of shoot and root dry weight, and then quantified the total N, as also determined the levels of micronutrients (Zn , Cu and B) in the shoots as well as in the soil. The addition of zinc to the application of pelletized urea did not show positive effect in increasing the growth of corn plant as expected, given the amount of zinc in the soil being sufficient to supply the plant appropriately. Among the pelletized urea containing micronutrients the ureiaCuB-1 was what tended to accumulate higher amount of plant dry matter. The presence of boron in pelletized urea influenced the accumulation of N in plants, especially when its concentration in the fertilizer was above 2.0 %. The addition of Zn, Cu and B via the application of nitrogenous fertilizers increased the quantities of those on the ground. In general, the pelletizing micronutrients selected from urea resulted in an early development of maize plants in a satisfactory manner when compared to commercial products.

**Key words:** Boron. Zinc. Copper.

### 4.3 INTRODUÇÃO

A cultura do milho apresenta grande importância mundial devido aos seus grãos serem utilizados tanto para alimentação humana quanto para alimentação animal, tendo seu uso também como espessantes e colantes, produção de óleos e, ultimamente os Estados Unidos e alguns países da Europa tem incentivado o seu uso para produção de etanol (Silva et al., 2009) acarretando assim em um aumento do custo deste cereal para fins de consumo.

Diversos fatores influenciam o desenvolvimento e produtividade do milho, tais como a própria cultivar de milho utilizada, o solo, o clima, práticas culturais, eficiência da adubação, as pragas e doenças (Fancelli & Dourado Neto, 2000). Dentre esses fatores, torna-se de extrema importância aumentar a eficiência dos fertilizantes, especialmente os nitrogenados, seja através do seu manejo correto (boas práticas de manejo) e/ou por meio de novas tecnologias com o intuito de minimizar as altas perdas que a ureia apresenta, principalmente por volatilização, uma vez que este nutriente é o maior responsável por incrementar as produtividades agrícolas.

O nitrogênio tem um papel de destaque no crescimento e desenvolvimento das plantas de milho, principalmente como constituinte essencial dos aminoácidos, que são os principais componentes das proteínas. Uma vez que a formação dos grãos esta ligada a proteínas na planta, a consequente produtividade do milho encontra-se diretamente relacionada com o fornecimento de nitrogênio (Yamada, 1997). De acordo com Malavolta (1981) a absorção de N pela cultura do milho oscila muito, onde 8% de todo o N absorvido pela planta ocorre no primeiro mês (primeiro estágio), 50% no segundo mês (segundo estágio), 28% no terceiro mês e 14% no quarto mês.

O N encontra-se disponível no solo em diversas formas, incluindo amônio, nitrato, aminoácidos, peptídeos e formas complexas insolúveis. As espécies vegetais diferem na sua preferência por fontes de N, mas o absorvem principalmente sob formas inorgânicas, como  $\text{NO}_3^-$  ou  $\text{NH}_4^+$  (Williams & Miller, 2001). Dada a sua importância e a alta mobilidade no solo, o N tem sido intensamente estudado, no sentido de maximizar a eficiência do seu uso. Para tanto, tem-se procurado diminuir as perdas do N no solo, bem como melhorar a absorção e a metabolização do N no interior da planta. De acordo com Cobucci (1991), o nitrogênio é um dos nutrientes que apresentam os maiores efeitos no aumento de produtividade da cultura do milho, sendo que, aplicações de nitrogênio podem interferir em diversas características da planta que estão relacionadas ao seu crescimento e desenvolvimento afetando a sua produtividade. Entretanto, para Barker & Mills (1980), além da quantidade de nitrogênio disponível, um fator que pode alterar o crescimento das plantas é a proporção  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  presente no solo.

O zinco (Zn) é o micronutriente de efeitos mais significativos na cultura do milho, sendo benéfico para o aumento da altura de plantas, do número de folhas, na produção de forragem e produção de grãos, bem como no aumento no conteúdo total de N e proteína nos grãos (Decaro et al., 1983). As funções básicas do Zn nas plantas estão ligadas ao metabolismo de carboidratos, das proteínas e dos sulfatos e na formação de auxinas, RNA e ribossomos (Borkert, 1989).

Outros micronutrientes que têm merecido especial atenção na nutrição da cultura do milho são: boro (B), manganês (Mn), cobre (Cu) e, mais recentemente, o molibdênio (Mo). Os micronutrientes Cu e B, ultimamente têm sido utilizados como revestimento de ureia por inibir respectivamente de formamônio-competitiva e competitiva a enzima urease, aumentando assim a eficiência deste nutriente. O B é um elemento de baixa mobilidade de redistribuição na planta. Está comprovado que as plantas em estado inicial de crescimento absorvem o B com maior intensidade do que plantas adultas. Comprovou-se também que o B atua em vários

processos biológicos importantes. Considerando que não é possível realizar um processo biológico sem a intervenção de enzimas, chega-se à conclusão de que o B pode atuar em alguns sistemas enzimáticos como constituinte ou como componente ativo e essencial do substrato onde tem lugar à reação biológica (Dechen, 2007).

O cobre está presente em compostos enzimáticos que são de extrema importância no metabolismo vegetal, participa diretamente na fotossíntese, respiração, metabolismo de carboidratos, redução e fixação de N, metabolismo de proteínas e parede celular, sendo que sua deficiência severa ocasiona inibição da reprodução das plantas (Cintra, 2004). De acordo com Tomazela (2006) uma nutrição adequada com Cu, pode atenuar a severidade de doenças, em função do cobre colaborar intensamente com os mecanismos de defesa dos vegetais.

O objetivo deste trabalho foi de avaliar a eficiência dos fertilizantes pastilhados que apresentaram maiores reduções de perdas de N por volatilização, quanto ao seu fornecimento de nitrogênio e micronutrientes para a cultura do milho.

## 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.4.1 Local de realização do experimento

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação (Figura 1) em condições controladas de temperatura e umidade, localizada na área experimental do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia-UFRRJ.

### 4.4.2 Solo utilizado

O solo utilizado para as avaliações foi coletado próximo ao setor de bovinocultura de leite, antiga rodovia RJ-SP, km 47 – UFRRJ. Este foi proveniente de um Planossolo Háptico (textura arenosa), sendo coletado nos primeiros 20 cm de profundidade, após coleta o solo foi peneirado em malha de 4 mm e posteriormente realizado análise química no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos/UFRRJ, segundo os procedimentos descritos pelo Manual de Métodos de Análise de Solo (Embrapa, 1997), a saber: Na = 0,03 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, Ca = 1,0 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, Mg = 0,7 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, H+Al = 1,98 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, Al = 0,1 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, pH (H<sub>2</sub>O) = 5,5, Corg = 1,12 %, P = 13,3 mg/L e K = 88,5 mg/L.

Foi realizada adubação de correção no momento do plantio, sendo aplicado 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na forma de superfosfato triplo (46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 40 kg K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio recomendados de acordo com o Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro (De-Polli et al, 1988).

### 4.4.3 Condução do experimento

Este experimento foi implementado no dia 12/09/2012 sendo coletado no dia 12/11/2012, totalizando assim 60 dias de cultivo da planta de milho (Sol da Manhã).

Dentre os 15 fertilizantes pastilhados de ureia com micronutrientes avaliados nos experimentos anteriores, foram escolhidos 9 pastilhados que apresentaram os melhores resultados quanto a redução das perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização e conseqüentemente do seu efeito residual no solo e sua extração pelas plantas de milho (Capítulo I). Para este experimento foi adotado uma única dose de N: 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Na Tabela 8 são apresentadas as características dos fertilizantes pastilhados utilizados neste ensaio com plantas.

Dessa forma o experimento em questão consistiu em um delineamento completamente casualizado, com 16 fertilizantes (9 pastilhados de ureia com micronutriente + 6 fertilizantes comerciais +1 controle) com 3 repetições, resultando assim em um total de 48 unidades experimentais.

Os fertilizantes pastilhados foram contrastados com os produtos comerciais Ureia Perolada, Sulfato de Amônio, Super N, FH Micro Total e FH Nitro Mais, como também com a testemunha absoluta (sem aplicação de N). O Super N é um fertilizante contendo inibidor da urease (NBPT) possuindo 45% N. O fertilizante Nitro Mais consiste no revestimento de ureia com cobre (0,06%) e boro (0,3%) contendo 44,08% N. Micro Total é caracterizado por revestimento de ureia com zinco (0,37%) contendo 45,5% N. A ureia perolada possui 46% N e o sulfato de amônio 21% N e 24% S.

Os fertilizantes utilizados foram aplicados no momento do plantio da variedade de milho Sol da Manhã responsiva ao N, sendo que a dose aplicada foi referente a uma aplicação de 100 kg N ha<sup>-1</sup>. A aplicação dos diferentes fertilizantes nitrogenados foi realizado superficialmente no solo contido em cada vaso. Foram plantadas 10 sementes/pote, mantendo

somente as 2 mais vigorosas após germinação, com o objetivo de homogeneizar os tratamentos.

**Tabela 8.** Caracterização dos fertilizantes pastilhados com micronutrientes. Quanto as suas concentrações de N, Zn, Cu e B.

Produto	Composição	Proporção N: Micro	Quantidade
			Ureia/Produto (Micro) %
Ureia <sub>Zn</sub> -1	Ureia/ZnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	44,35: 0,5	98,57/1,43
Ureia <sub>Cu</sub> -3	Ureia/CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	37,8: 4,0	84,0/16,0
Ureia <sub>B</sub> -1	Ureia/H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	43,68: 0,5	97,06/2,94
Ureia <sub>B</sub> -3	Ureia/H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	34,41: 4,0	76,47/23,53
Ureia <sub>Zn+B</sub> -1	Ureia/ZnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O / H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	39,06: 0,5: 2,0	86,80/1,43/11,77
Ureia <sub>Zn+B</sub> -3	Ureia/ZnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O / H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	43,03: 0,5: 0,5	95,63/1,43/2,94
Ureia <sub>Cu+B</sub> -1	Ureia/CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O/ H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	38,80: 0,5: 2,0	86,23/2,0/11,77
Ureia <sub>Cu+B</sub> -2	Ureia/CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O/ H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	40,08: 2,0: 0,5	89,06/8,0/2,94
Ureia <sub>Cu+B</sub> -3	Ureia/CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O/ H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	42,78: 0,5: 0,5	95,06/2,0/2,94

A variedade de milho BRS 4157 (Sol da Manhã) utilizada no experimento, caracteriza-se por ser de ciclo precoce, apresentando grãos duros e semi duros. É uma variedade adaptada a solos de baixa fertilidade natural, sendo caracterizada por ser eficiente no uso de nitrogênio (Machado, 1997).

Os vasos utilizados (unidades experimentais) receberam 10 kg cada de terra peneirada em malha de 4 mm. Os solos utilizados foram mantidos entre 50 e 70% da capacidade de campo, a irrigação foi feita diariamente através do método de pesagens diárias dos potes, onde a diferença de peso era adicionada com água destilada por meio de proveta graduada.

#### 4.4.4 Parâmetros avaliados

Ao final de 60 dias de cultivo da planta de milho, foram determinados os seguintes parâmetros morfológicos: massa seca de parte aérea e massa seca de raiz. As plantas de milho foram coletadas e colocadas em estufa de circulação forçada de ar (65°C) até atingirem peso constante, sendo sua massa seca (g) determinada em balança de precisão de 4 casas decimais. Após secas e pesadas as plantas foram moídas em moinho tipo “Willey” com peneira de 20 “mesh”, sendo então determinados os teores totais de N, como também determinado os teores dos micronutrientes (Zn, Cu e B) na parte aérea das plantas, segundo metodologia descrita por Tedesco (1995).

Após a coleta da parte aérea da espécie utilizada foi tomado um volume de solo conhecido utilizado como substrato para o crescimento das plantas para realização das seguintes análises: teores totais de N e dos micronutrientes Zn, Cu e B segundo metodologia descrita por Tedesco (1995).

#### 4.4.5 Análise estatística

A análise dos dados foi realizada utilizando-se o programa SAEG. Os dados foram submetidos às pressuposições de normalidade e homogeneidade dos erros, utilizando respectivamente os testes de Lilliefors e Bartlett. Teste F para as variâncias, e o teste de Scot-Knott a 5% de probabilidade para teste de médias.

## 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.5.1 Quantidade de nutrientes no solo

As quantidades totais de nutrientes no solo ao final de 60 dias de cultivo da planta de milho é apresentada na Tabela 9. Verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis N, Cu e B, ao passo que para o Zn os tratamentos não diferiram entre si.

Para o N no solo, observa-se que a maior quantidade deste elemento ocorreu no tratamento que recebeu o pastilhado ureiaZnB-3, diferindo significativamente dos demais. Os pastilhados ureiaZn-1, ureiaB-1, ureiaZnB-1 resultaram em quantidades de N no solo inferior somente a ureiaZnB-3, contudo foram semelhantes aos fertilizantes comerciais ureia perolada e FH Micro Total. Os pastilhados ureiaB-3 e os pastilhados contendo Cu e B resultaram em quantidades de N no solo semelhante a ureia pura pastilhada, sulfato de amônio e o Super N. As menores quantidades de N no solo ocorreram nos tratamentos que receberam a ureiaCu-3 e o FH Nitro Mais, não diferindo porém do tratamento controle (Tabela 9).

Comparando os diversos tratamentos quanto as quantidades de Cu no solo (Tabela 9), tem-se que a aplicação dos pastilhados de ureia contendo Cu apresentaram as maiores quantidades deste elemento no solo. A ureiaCu-3 com maior concentração de Cu (4,0%), adicionando ao solo  $10,58 \text{ kg Cu ha}^{-1}$ , refletiu em uma maior quantidade de Cu, diferindo dos demais tratamentos, seguido do pastilhado ureiaCuB-3, com quantidades significativamente inferior a ureiaCu-3 e estatisticamente superior aos demais. Os pastilhados ureiaCuB-1 e ureiaCuB-2 apresentaram resultados semelhantes. Os demais pastilhados, assim como os fertilizantes comerciais, inclusive o FH Nitro Mais contendo Cu não diferiram entre si, sendo semelhantes inclusive a testemunha absoluta.

Quanto as quantidades de B no solo em função da aplicação dos diferentes nitrogenados, verifica-se na Tabela 9 que os tratamentos diferiram entre si, onde as maiores quantidades foram observadas nos tratamentos que receberam adição de B superiores a  $5,0 \text{ kg ha}^{-1}$ , onde a ureiaB-3 (4,0% B), ureiaZnB-1 (2,0% de B e 0,5% Zn) e ureiaCuB-1 (2,0% de B e 0,5 Cu) diferiram dos demais tratamentos. Os demais fertilizantes nitrogenados não diferiram entre si, contudo diferiram do tratamento controle, que apresentou a menor quantidade de B no solo.



**Tabela 9.** Quantidades de nutrientes no solo após 60 dias de cultivo da planta de milho, referente a uma aplicação de 100 kg N ha<sup>-1</sup> dos diferentes fertilizantes nitrogenados.

	N		Zn		Cu		B	
	-----g vaso <sup>-1</sup> -----							
UreiaZn-1	2,73	b	0,079	a	0,008	d	0,007	b
UreiaCu-3	1,25	d	0,067	a	0,067	a	0,007	b
UreiaB-1	3,24	b	0,072	a	0,008	d	0,008	b
UreiaB-3	2,18	c	0,076	a	0,010	d	0,012	a
UreiaZnB-1	2,64	b	0,080	a	0,008	d	0,012	a
UreiaZnB-3	4,38	a	0,078	a	0,009	d	0,005	b
UreiaCuB-1	1,95	c	0,079	a	0,014	c	0,011	a
UreiaCuB-2	2,01	c	0,070	a	0,014	c	0,005	b
UreiaCuB-3	2,32	c	0,072	a	0,026	b	0,005	b
UreiaPastilhada	2,27	c	0,071	a	0,009	d	0,006	b
Ureia Perolada	3,24	b	0,079	a	0,007	d	0,004	b
Sulfato de Amônio	2,36	c	0,074	a	0,006	d	0,005	b
Super N	1,74	c	0,072	a	0,008	d	0,005	b
FH Nitro	1,18	d	0,074	a	0,007	d	0,006	b
FH Micro	2,69	b	0,078	a	0,008	d	0,007	b
Controle	0,88	d	0,064	a	0,007	d	0,001	c
CV (%)	25,21		7,92		10,06		17,36	

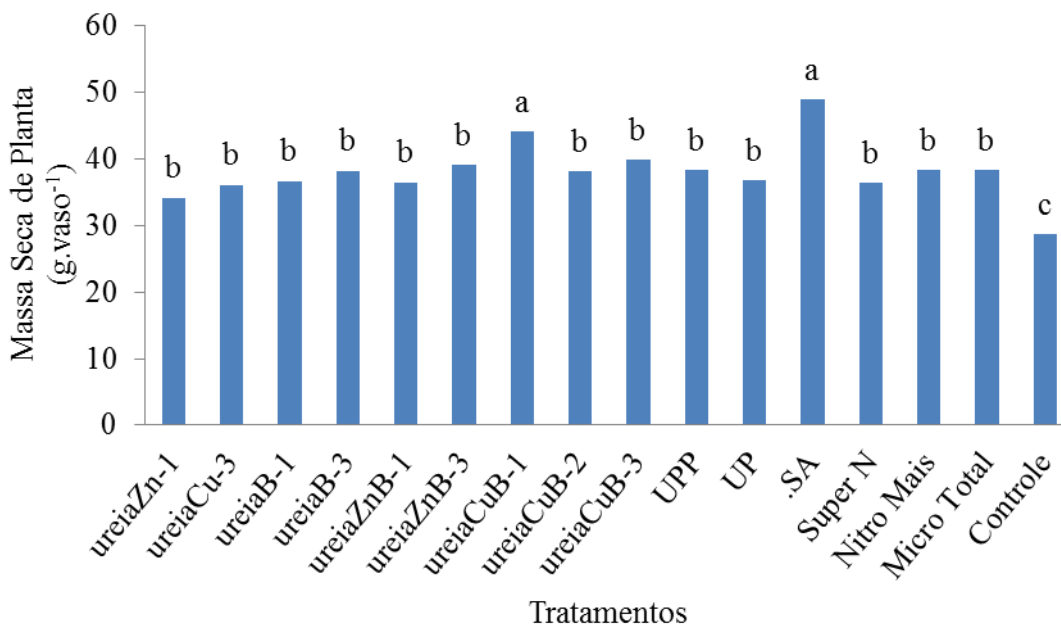
Letras diferentes na colunaindicam que os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Scot -knott ( $p < 0,05$ ). Onde: ureiaZn-1 (44,35% N e 0,5% Zn), ureiaCu-3 (37,8% N e 4,0% Cu), ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-3 (43,035N, 0,5% Zn e 0,5% B), ureiaCuB-1 (38,8% N, 0,5% Cu e 2,0% B), ureiaCuB-2 (40,08% N, 2,0% Cu e 0,5% B), ureiaCuB-3 (42,78%N, 0,5% Cu e 0,5% B), ureia pastilhada (45% N), ureia perolada (46% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), Super N (45% N + NBPT), FH Nitro Mais (44,08% N, 0,06% Cu e 0,3% B) e FH Micro Total (45,5% N e 0,37% Zn).

#### 4.5.2 Acúmulo de massa seca de planta

A massa seca total da planta de milho (parte aérea + raiz) após 60 dias de cultivo referente aos diferentes fertilizantes nitrogenados é apresentado na Figura 16. O tratamento que recebeu o sulfato de amônio foi o que resultou em um maior crescimento e desenvolvimento da planta, diferindo significativamente dos demais, provavelmente em virtude deste fertilizante praticamente não apresentar perdas de N em função das suas características acidificantes do solo, como também ser uma fonte de enxofre para as plantas. Os demais tratamentos que receberam os diferentes tipos de fertilizantes nitrogenados apresentaram um comportamento semelhante quanto ao acúmulo de massa seca total de plantas, diferindo do tratamento controle. Entretanto, o pastilhado ureiaCuB-1 contendo 0,5% de Cu e 2,0% de B mesmo não diferindo dos demais apresentou uma tendência em acumular uma maior quantidade de massa seca (Figura 16).

Ao contrário do encontrado na literatura onde pesquisas mostram resposta positivas a aplicação de Zn na cultura do milho (Galvão & Mesquita, 1981; Ritchey et al., 1986; Galvão, 1994), em função deste micronutriente estimular o desenvolvimento da planta, através da sua atuação na formação de triptofano, precursor do ácido indol acético, que é um fitohormônio promotor do crescimento das plantas. Para este experimento não foi observado um efeito tão evidente do Zn para os tratamentos que receberam os pastilhados ureiaZn-1 e ureiaZnB-1 e ureiaZnB-3 com 0,5 % de Zn cada, sobre um maior desenvolvimento e crescimento das plantas de milho, talvez pelo fato da adição de 1,13 kg Zn ha<sup>-1</sup> ter sido insuficiente para demonstrar o efeito benéfico que esse micronutriente acarreta na planta de milho. Contudo, esta ausência de resposta significativa do milho a aplicação da ureia pastilhada contendo Zn

pode ter sidotambém provocadoem razão da alta disponibilidade natural de zinco no solo utilizado, uma vez que não houve diferença significativa entre os diferentes tratamentos que receberam adição ou não de Zn via aplicação de fertilizantes no solo conforme discutido na Tabela 9. Entretanto, Rosolem & Ferrari (1998) comparando diferentes fontes e modo de aplicação de Zn na cultura do milho, não verificaram maiores efeitos sobre o crescimento da planta no tratamento que recebeu adição de Zn em relação o tratamento controle.



**Figura 16.** Acúmulo de Massa Seca de Planta (MSP – g.vaso<sup>-1</sup>) de milho após 60 dias de cultivo, referente aos diferentes fertilizantes nitrogenados.

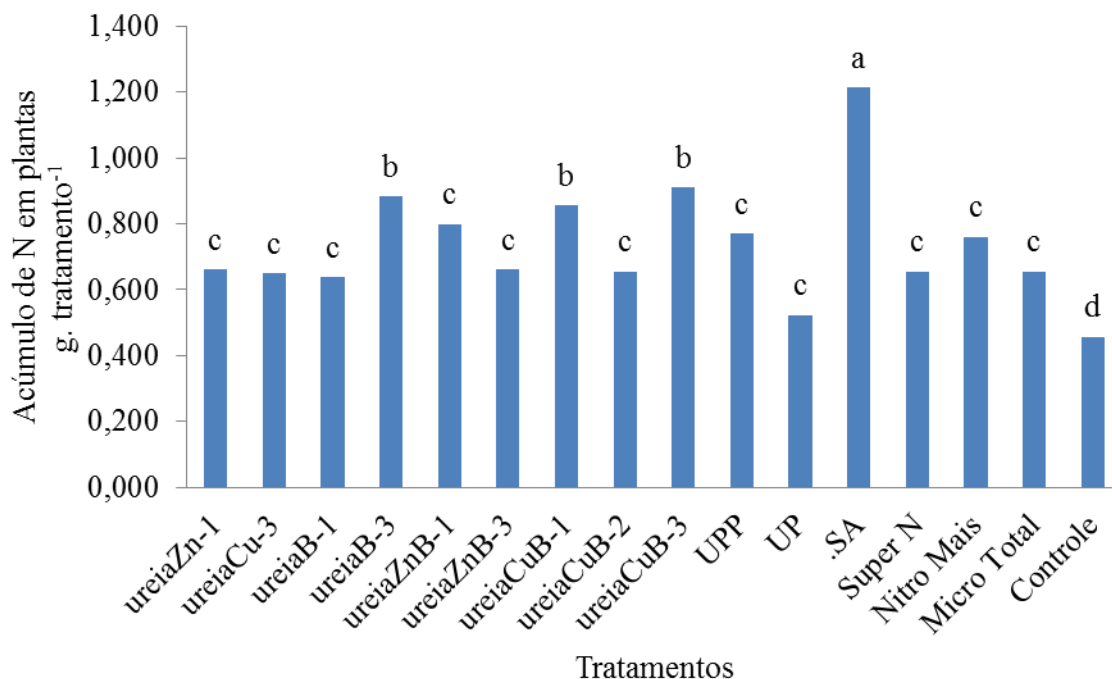
Letras diferentes indicam que os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Scot -knott ( $p < 0,05$ ). Onde: ureiaZn-1 (44,35% N e 0,5% Zn), ureiaCu-3 (37,8% N e 4,0% Cu), ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-3 (43,035N, 0,5% Zn e 0,5% B), ureiaCuB-1 (38,8% N, 0,5% Cu e 2,0% B), ureiaCuB-2 (40,08% N, 2,0% Cu e 0,5% B), ureiaCuB-3 (42,78%N, 0,5% Cu e 0,5% B), ureia pastilhada (45% N), ureia perolada (46% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), Super N (45% N + NBPT), FH Nitro Mais (44,08% N, 0,06% Cu e 0,3% B) e FH Micro Total (45,5% N e 0,37% Zn).

#### 4.5.3 Acúmulo de nutrientes na planta de milho

Comparando os diversos fertilizantes nitrogenados quanto ao acúmulo de N pelas plantas de milho ao final de 60 dias de cultivo, verifica-se que o tratamento referente ao sulfato de amônio foi o que resultou em uma maior extração deste elemento, em virtude deste tratamento ter apresentado um maior crescimento e desenvolvimento das plantas, diferindo dos demais tratamentos. Dentre os pastilhados que resultaram em um maior acúmulo de N na planta destaca-se a ureiaB-3 com 4,0% de B, ureiaCuB-1 com 0,5% de Cu e 2,0% B e ureiaCuB-3 com 0,5% de Cu e B, estes apresentaram resultados semelhantes, contudo resultaram em um acúmulo de N significativamente superior aos demais pastilhados, como também aos fertilizantes comerciais utilizados para fins de comparação, a exceção do sulfato de amônio. Os demais tratamentos não diferiram entre si, contudo diferiram significativamente do tratamento controle (Figura 17).

Embora a planta de milho absorva nitrogênio durante todo o seu ciclo, de acordo com pesquisas realizadas sua máxima absorção ocorre entre 40 a 60 dia após a germinação (Machado et al., 1982). Com isso se espera que os tratamentos que resultaram em um maior acúmulo de N acarrete consequentemente em uma maior produtividade. Dessa forma, os

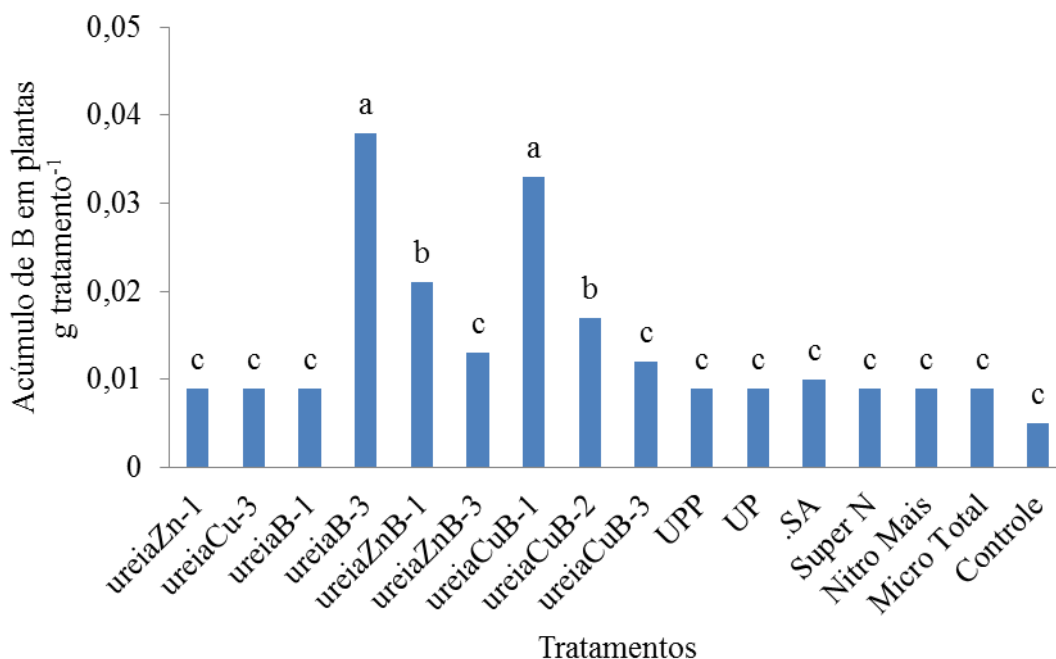
fertilizantes pastilhados que resultaram em maiores acúmulos de N nas plantas de milho, demonstram de certa maneira serem uma alternativa viável para aumentar a eficiência no uso de N-ureia.



**Figura 17.** Acúmulo total de N (g tratamento<sup>-1</sup>) na planta de milho (parte aérea) após 60 dias de cultivo referente aos diferentes fertilizantes nitrogenados.

Letras diferentes indicam que os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Scott -knott ( $p < 0,05$ ). Onde: ureiaZn-1 (44,35% N e 0,5% Zn), ureiaCu-3 (37,8% N e 4,0% Cu), ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-3 (43,035N, 0,5% Zn e 0,5% B), ureiaCuB-1 (38,8% N, 0,5% Cu e 2,0% B), ureiaCuB-2 (40,08% N, 2,0% Cu e 0,5% B), ureiaCuB-3 (42,78%N, 0,5% Cu e 0,5% B), ureia pastilhada (45% N), ureia perolada (46% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), Super N (45% N + NBPT), FH Nitro Mais (44,08% N, 0,06% Cu e 0,3% B) e FH Micro Total (45,5% N e 0,37% Zn).

O acúmulo de B na planta de milho ao final de 60 dias de cultivo referente aos diferentes fertilizantes nitrogenados é apresentado na Figura 18. Observa-se que o maior acúmulo ocorreu nos tratamentos que receberam os pastilhados contendo maiores concentrações deste elemento. Assim, os pastilhados ureiaB-3 com 4,0% de B e a ureiaCuB-1 com 0,5% de Cu e 2,0% de B, que resultaram numa adição de 11,62 e 5,15 kg B ha<sup>-1</sup> respectivamente, foram os tratamentos que apresentaram os maiores extrações de B, contudo estes não diferiram entre si, porém foram significativamente superiores aos demais tratamentos. Diferentemente, a ureiaZnB-1 com 0,5% de Zn e 2,0% de B que resultou em uma adição de B semelhante a ureiaCuB-1 não refletiu em um maior acúmulo de B nas plantas, não diferindo apenas da ureiaCuB-2 (2,0% Cu e 0,5% B). Com isso, parece que o micronutriente Cu influencia a absorção de B. Os demais pastilhados contendo menores concentrações de B (0,5%) não diferiram significativamente dos demais tratamentos, sendo semelhante também ao tratamento controle que não recebeu adição de nutrientes.

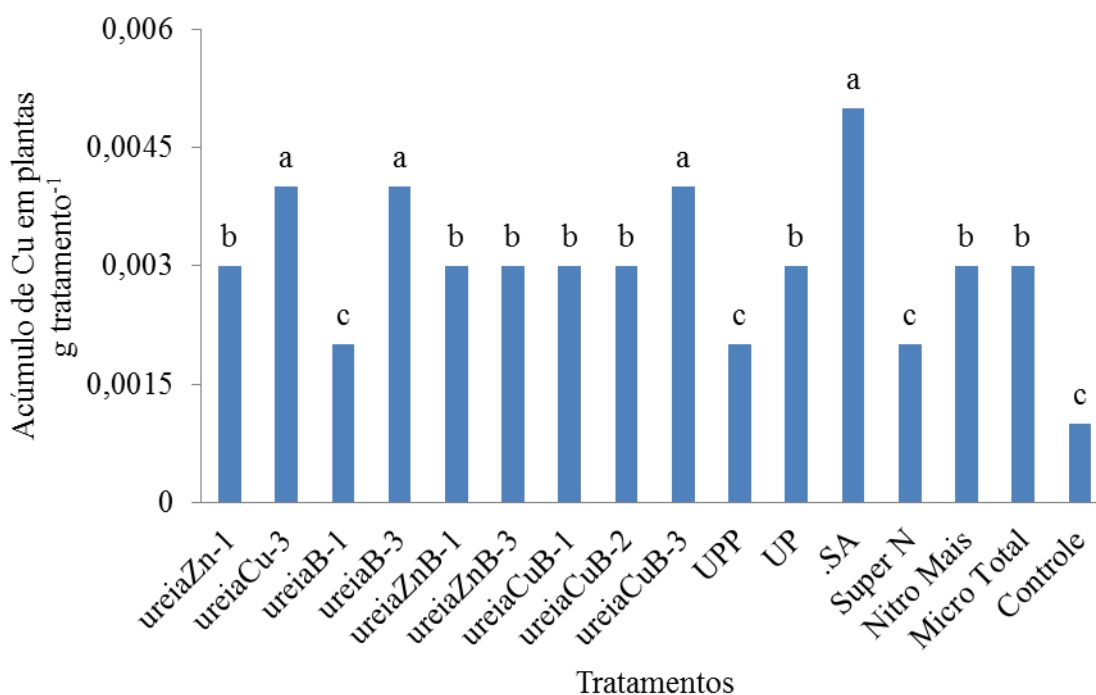


**Figura 18.** Acúmulo total de B (g tratamento<sup>-1</sup>) na planta de milho (parte aérea) após 60 dias de cultivo referente aos diferentes fertilizantes nitrogenados.

Letras diferentes indicam que os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Scot -knott ( $p < 0,05$ ). Onde: ureiaZn-1 (44,35% N e 0,5% Zn), ureiaCu-3 (37,8% N e 4,0% Cu), ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-3 (43,035% N, 0,5% Zn e 0,5% B), ureiaCuB-1 (38,8% N, 0,5% Cu e 2,0% B), ureiaCuB-2 (40,08% N, 2,0% Cu e 0,5% B), ureiaCuB-3 (42,78% N, 0,5% Cu e 0,5% B), ureia pastilhada (45% N), ureia perolada (46% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), Super N (45% N + NBPT), FH Nitro Mais (44,08% N, 0,06% Cu e 0,3% B) e FH Micro Total (45,5% N e 0,37% Zn).

Na Figura 19 é apresentada o acúmulo total de Cu pela planta de milho após 60 dias da aplicação dos diferentes fertilizantes nitrogenados. Os maiores acúmulos ocorreram no pastilhado de ureia contendo a maior concentração de Cu, contudo a ureiaCu-3 com 4,0% de Cu que resultou em uma adição de 10,58 kg Cu ha<sup>-1</sup> não diferiu apenas do tratamento sulfato de amônio. Mesmo o tratamento referente ao sulfato de amônio ter apresentado de acordo com a Tabela 9 em um dos menores teores de Cu na planta, esse maior acúmulo deste elemento pode ser explicado possivelmente em virtude deste fertilizante apresentar como característica uma maior acidificação do solo ocasionada pela nitrificação e/ou absorção do íon amônio, contribuindo não só para uma menor perda de N por volatilização da amônia, mas de acordo com Moraghan & Mascagni Jr. (1991) a acidificação do solo aumenta a disponibilidade de alguns micronutrientes, como o zinco, manganês, ferro e o cobre, acarretando consequentemente em uma maior absorção destes elementos pelas plantas. Além é claro deste tratamento (sulfato de amônio) ter sido o que resultou em um maior acúmulo de massa seca de planta (Figura 19), refletindo assim em uma maior quantidade (efeito diluição) deste elemento nas plantas que recebeu este fertilizante.

A ureiaB-1, a ureia pura pastilhada (UPP) e o Super N foram os tratamentos que resultaram nos menores acúmulos de Cu pelas plantas, não diferindo da testemunha absoluta. Os demais fertilizantes pastilhados contendo de 0,5 a 2,0% de Cu, assim como o FH Nitro Mais (0,06% Cu e 0,3% B) apresentaram resultados intermediários, não diferindo entre si, como também não diferiram dos demais fertilizantes que não possuem Cu em sua composição (Figura 19).

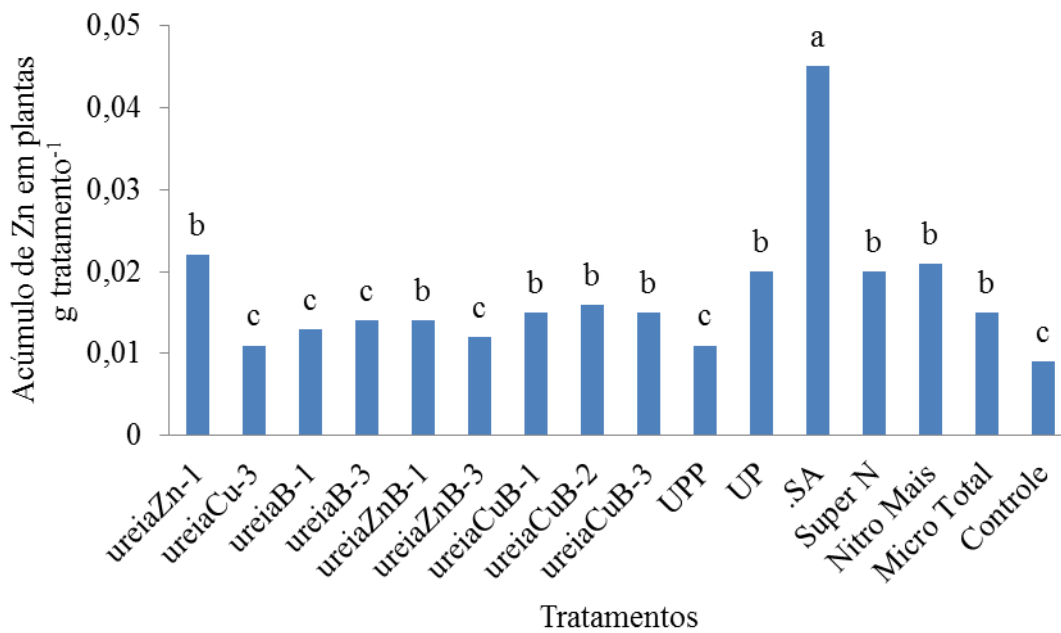


**Figura 19.** Acúmulo total de Cu (g tratamento<sup>-1</sup>) na planta de milho (parte aérea + raiz) após 60 dias de cultivo referente aos diferentes fertilizantes nitrogenados.

Letras diferentes indicam que os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Scot -knott ( $p < 0,05$ ). Onde: ureiaZn-1 (44,35% N e 0,5% Zn), ureiaCu-3 (37,8% N e 4,0% Cu), ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-3 (43,035N, 0,5% Zn e 0,5% B), ureiaCuB-1 (38,8% N, 0,5% Cu e 2,0% B), ureiaCuB-2 (40,08% N, 2,0% Cu e 0,5% B), ureiaCuB-3 (42,78%N, 0,5% Cu e 0,5% B), ureia pastilhada (45% N), ureia perolada (46% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), Super N (45% N + NBPT), FH Nitro Mais (44,08% N, 0,06% Cu e 0,3% B) e FH Micro Total (45,5% N e 0,37% Zn).

Avaliando os diversos tratamentos quanto ao acúmulo de Zn nas plantas de milho ao final de 60 dias de cultivo, observa-se na Figura 20, que o tratamento que resultou em um maior acúmulo deste elemento, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos foi referente ao fertilizante sulfato de amônio. Da mesma maneira para o acúmulo de Cu, o sulfato de amônio em função de provocar uma possível acidificação do solo ocasiona uma maior disponibilidade de micronutrientes, como o Zn, na solução do solo (Moraghan & Mascagni Jr., 1991), fazendo com que a planta consiga absorver de maneira mais eficiente este microelemento.

Os fertilizantes pastilhados que proporcionaram maiores acúmulos de Zn nas plantas foram a ureiaZn-1 (0,5% de Zn), ureiaZnB-1 (0,5% Zn e 2,0% B) e os pastilhados de ureia contendo Cu e B, contudo estes resultaram em acúmulo de Zn semelhante aos fertilizantes comerciais ureia perolada, Super N, FH Nitro Mais e FH Micro Total (0,37% Zn). Estes tratamentos que não receberam adição de Zn foram semelhantes aos pastilhados contendo esse micronutriente (ureiaZn-1 e ureiaZnB-1) devido provavelmente a alta disponibilidade de Zn no solo utilizado. Entretanto, a ureiaZnB-3 (0,5% de Zn e B) resultou no menor acúmulo de Zn nas plantas, não diferindo dos pastilhados ureiaCu-3, ureiaB-1, ureiaB-3 como também do tratamento controle (Figura 20).



**Figura 20.** Acúmulo total de Zn ( $\text{g tratamento}^{-1}$ ) na planta de milho (parte aérea + raiz) após 60 dias de cultivo referente aos diferentes fertilizantes nitrogenados.

Letras diferentes indicam que os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Scot -knott ( $p < 0,05$ ). Onde: ureiaZn-1 (44,35% N e 0,5% Zn), ureiaCu-3 (37,8% N e 4,0% Cu), ureiaB-1 (43,68% N e 0,5% B), ureiaB-3 (34,41% N e 4,0% B), ureiaZnB-1 (39,06% N, 0,5% Zn e 2,0% B), ureiaZnB-3 (43,035N, 0,5% Zn e 0,5% B), ureiaCuB-1 (38,8% N, 0,5% Cu e 2,0% B), ureiaCuB-2 (40,08% N, 2,0% Cu e 0,5% B), ureiaCuB-3 (42,78%N, 0,5% Cu e 0,5% B), ureia pastilhada (45% N), ureia perolada (46% N), sulfato de amônio (21% N e 24% S), Super N (45% N + NBPT), FH Nitro Mais (44,08% N, 0,06% Cu e 0,3% B) e FH Micro Total (45,5% N e 0,37% Zn).

#### 4.6 CONCLUSÕES

A adição de zinco via aplicação de ureia pastilhada não apresentou efeito positivo em incrementar o crescimento da planta de milho, em virtude das quantidades de zinco no solo terem sido suficientes para suprir a planta adequadamente.

Dentre os pastilhados de ureia contendo micronutrientes, a ureiaCuB-1 com uma proporção de B e Cu de 4:1 (2,0% de B e 0,5% de Cu) foi o que apresentou uma tendência em acumular maior quantidade de massa seca de plantas.

A presença de boro nos pastilhados de ureia influenciaram o acúmulo de N nas plantas, principalmente quando sua concentração no fertilizante estava acima de 2,0%.

A adição de Zn, B e Cu via aplicação de ureia pastilhada aumentou a quantidade destes no solo.

De maneira geral, os pastilhados de ureia com micronutrientes selecionados resultaram em um desenvolvimento inicial das plantas de milho de forma satisfatória quando comparados com os produtos comerciais.

## 5. CONCLUSÕES GERAIS

O micronutriente que apresentou um efeito mais positivo em reduzir as perdas de N por volatilização da amônia foi o boro, demonstrando ser um elemento eficiente quando pastilhado a ureia, principalmente quando presente na maior concentração (4,0% B), reduzindo as perdas de N em 50% (dose de 100 kg ha<sup>-1</sup>) e em 64% (dose de 200 kg ha<sup>-1</sup>) as perdas em relação a ureia perolada.

A associação de Zn + Be Cu + B na ureia pastilhada resultou em reduções significativas sob a volatilização da amônia, principalmente quando a proporção destes micronutrientes encontravam-se na relação 1:4 (0,5% Zn ou 0,5% Cu e 2,0% B), reduzindo as perdas de N-NH<sub>3</sub> em média 50% em relação as perdas da ureia perolada, para ambas as doses de N.

De forma geral os pastilhados de ureia contendo micronutrientes, principalmente B de forma isolada e/ou associado com Zn e Cu demonstraram ser uma alternativa promissora de novos fertilizantes com objetivo de reduzir as perdas de N por volatilização.

As maiores adições dos micronutrientes Zn, Cu e B no solo via ureia pastilhada refletiu conseqüentemente em maiores quantidades destes elementos na planta de milho.

De maneira geral, a aplicação dos pastilhados de ureia contendo diferentes concentrações de micronutrientes não apresentaram resultados negativos no crescimento e desenvolvimento da planta de milho.



## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em virtude dos resultados satisfatórios quanto a redução das perdas de N por volatilização da amônia, especialmente nos pastilhados de ureia contendo boro isolado e associado com zinco e cobre terem sido promissores, ainda se faz necessário maiores estudos, com objetivo de avaliar estes fertilizantes a nível de campo, uma vez que estes resultados foram obtidos em ambiente controlado, não estando sujeitos as variações como temperatura, precipitação, percolação da água e incidência de ventos comumente verificadas no campo. Aliado a isso, também se faz necessário maiores pesquisas para avaliar os resultados contraditórios do efeito dos micronutrientes sobre as plantas de milho, principalmente em relação ao boro.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIYEV S.A., GADJIYEV D.A., MIKAILOV F.D. Kinetic and thermodynamic characteristics of enzyme-invertase and urease in Azerbaijan soils [J]. *JIOYBOB*. v. 11, 55–66, 1984.
- AL-RASHIDI, K., AL-JABRI, M.M. Nitrification and urea hydrolysis in amended calcareous saline soils. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. v. 4, n. 4; p. 243-252, 1990.
- ALVES, B.J.R.; SANTOS, J.C.F. dos; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Ed.). *Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola*. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, p. 449-469, 1994.
- ANTIL, R.S., GUPTA A.P. & NARWAL R.P. Effect of substrate concentration, moisture and organic amendments on urease activity of soil containing variable ammonium. *Arid Soil Research and Rehabilitation*. v. 7, n. 4; p. 381-387, 1993.
- ARAÚJO, E. da S. Calibração e validação do modelo NUTMON para o diagnóstico do manejo agrícola: Estudo em duas propriedades familiares do estado do Rio de Janeiro. 2008. 110 p Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamentos de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.
- ARAÚJO, E. da S.; MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; SOARES, L.H.B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; ALVES, B.J.R. Calibração de câmara semiaberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 44, n. 7, p. 769-776, jul. 2009.
- ARAÚJO, E.S.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R. Câmara coletora para quantificação do N-NH<sub>3</sub> volatilizado no solo. *Comunicado Técnico da Embrapa*, n.87, 4p. Seropédica, 2006.
- BAATH, E. Effect of heavy metals in soil on microbial process and populations (a review). *Water, Air Soil Pollution*, v.46, 335p., 1989.
- BARBER, K.L.; PIERZYNSKY, G.M. Ammonium and nitrate source. Effects on field crops. *J. Fert. Issues. Manchester*, v. 8, p. 57-62, 1993.
- BARBIERI, P.A.; ECHEVERRÍA, H.E. Evolucion de las perdidas de amoníaco desde urea aplicada en otoño y primavera a una pastura de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). *RIA*, v. 32, n.1; p. 17-29, INTA, Argentina, 2003.
- BARKER, A.V.; MILLS, H.A. Ammonium and nitrate nutrition of horticultural crops. *Horticultural Review, Westport*, v.2, p.395–423, 1980.
- BARRETO, H.J. & WESTERMAN, R.L. Soil urease activity in winter wheat residue management systems. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, v. 53; p.1455-1458, 1989.
- BARTH, G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H.; VITTI, A.C. Urease and nitrification inhibitors use in sugarcane crop in Brazil. *Abstracts of Nitrogen 4th Conference*, Costa do Saúpe, Bahia, Brasil, p. 21, 2007.
- BELOW, F.E. Physiology, nutrition, and nitrogen fertilization of corn in the United States. In: *SIMPÓSIO SOBRE FISIOLOGIA, NUTRIÇÃO, ADUBAÇÃO E MANEJO PARA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE CITROS*, Piracicaba, 2000. *Anais...* Piracicaba: POTAFOS, 2000. (CD-ROM).
- BENINI, S.; RYPNIEWSKI, W. R.; WILSON, K. S.; MANGANI, S.; CIURLI, S. Molecular details of urease inhibition by boric acid: Insights into the catalytic mechanism. *J. Am. Chem. Soc.*, 126 (12): 3714-3715, 2004.

- BLAYLOCK, A.D.; DOWBENKO, R.D. The future of controlled-release nitrogen fertilizers. Abstracts of Nitrogen 4th Conference, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 21, 2007.
- BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P.C.O. Efficient use of N in conventional fertilizers. Abstracts of Nitrogen 4th Conference, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 33, 2007.
- BOLAN, N.S.; SAGAR, S.; LUO, J.F.; BHANDRAL, R.; SINGH, J. Gaseous emission of nitrogen from grazed pastures: processes, measurements and modelling, environmental implications, and mitigation. *Advances in Agronomy*, v.84, p.37-120, 2004.
- BOLTON H.JR., ELLIOT L.T., PAPENDICK R.I. & BEZDICEK D.E. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biology & Biochemistry*. v.17, n 3; p. 297-302, 1985.
- BORKERT, C. M. Micronutrientes na planta. In: BÜLL, L.T.; ROSOLEM, C.A. *Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação*. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, p.309-329, 1989.
- BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from urea-fertilized soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.49, p.376-381, 1985.
- BOWEN, J.E. Absorption of copper, zinc and manganese by sugarcane tissue. *Plant Physiology*, v.44, p.255-261, 1969.
- BOYD S.A. & MORTLAND M.M. Urease activity on a clay-organic complex. *Soil Science Society of America Journal*. n. 49; v 3; p.617-622, 1985.
- BREMNER, J.M. & MULVANEY, R.L. Urease activity in soils. In: BURNS, R.G. (ed.) *Soil Enzymes*. Academic Press, Londres, p.149-196, 1978.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H., eds. *Cultura do milho: Fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, POTAFOS, p.63- 146, 1993.
- BYRNES, B. H., FRENEY, J. R. Recent developments on the use of urease inhibitors in the tropics. *Fertil. Res.*; v. 42, p.251-259, 1995.
- BYRNES, B.H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. *Fertilizer Manual*. Alabama: Kluwer Academic, cap. 2, p. 20-44, 2000.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. Fertilidade do Solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.L.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. *Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, p. 375-470, 2007.
- CANTARELLA, H.; MATTOS JR, D.; QUAGGIO, J.A.; RIGOLIN, A.T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, v.67, p.215-223, 2003.
- CHAIWANAKUPT, P., FRENEY, J. R., KEERTHISINGHE, D. G., PHONGPAN, S., BLAKELEY, R. L. Use of urease, algal inhibitors, and nitrification inhibitors to reduce nitrogen loss and increase the grain yield of flooded rice (*Oryza sativa* L.). *Biol. Fertil. Soils*. 22(1-2), 89-95, 1996.
- CHEN, D.; LI, Y.; TURNER, D.; DENMEAD, T.; FRENEY, J. Measurement and simulation of ammonia volatilization from urea fertilizer in cropping and pasture system. Abstracts of Nitrogen. 4th Conference, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 52, 2007.
- CHRISTIANSON, C.B.; BYRNES, B.H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. *Fertilizer Research*. v. 26, p. 21-27, 1990.

- COBUCCI, T. Efeitos de doses e épocas de aplicação do adubo nitrogenado no consórcio milho-feijão. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 94p, 1991.
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.C.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.16, n.1, p.61-65, 1992.
- CONRAD J.P. Enzymatic vs. microbial of urceanhcyedprtos lysis in soils. *Agronomy Journal* 34: 1102-1113, 1942.
- DALAL R.C. Urease activity in some Trinidad soils. *Soil Biology & Biochemistry* 7(1): 5-8, 1975.
- DALAL R.C. Distribution, salinity, kinetic and thermodynamic characteristics of urease activity in a vertisol profile [J]. *Aust. J. Soil Res.* 23, 49–60, 1985.
- DASH M.C., MISHRA P.C., MOHANTY R.K & BHATT N. Effects of specific conductance and temperature on urease activity in some Indian soils. *Soil Biology & Biochemistry* 13(1): 73-74, 1981.
- DECARO, S.T.; VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D.; MELO, W.J. Efeito de doses e fontes de zinco na cultura do milho. *Revista Agrícola*, v.58, p.25-36, 1983.
- DECHEN, A.R. Micronutrientes: funções nas plantas. In: FERREIRA, M.E. SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA. Jaboticabal, 1988. Anais, Jaboticabal, FCAV/UNESP, p.111-32, 1988.
- DECHEN, A.R.; haAG, H.P.; CARMELLO, Q.A.C. Mecanismos de absorção e de translocação de micronutrientes. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P., Eds. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, p.79-97, 1991.
- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos à nutrição de plantas.. Fertilidade do Solo. In:NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.L.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 91-132, 2007.
- DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; CUNHA, L. H.; FREIRE, L. R.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; PEREIRA, N. N. C.; EIRA, P. A.; BLOISE, R. M.; SALER, R. C. Manual de adubação para o estado do Rio de Janeiro. Itaguaí: Ed.Universidade Rural, Série Ciências Agrárias, n.2, 1988. 179 p.
- DIXON, M.; WEBB, E.C.. *Enzymes*, 2º., Longmans: London, 1964.
- DIXON, N.E.; GAZZOLA, R.L.; ZERNER, B. Inhibition of jack bean urease (EC 3.5.1.5) by acetohydroxamic acid and by phosphoramidate. An equivalent weight for urease. *Journal of America Chemistry Socitel*, v.97, p.4130-4131, 1975.
- DOUGLAS L.A. & BREMNER J.M. A rapid method of evaluating different compounds and inhibitors of urease activity in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 3(4): 309-315, 1971.
- DOUGLASS, E. A., HENDRICKSON, L. L. Urease inhibition by N-(n-butyl) thiophosphoric triamide and its oxon analog in diverse soils. *Agronomy Abstracts* 214, 1989.
- DUARTE, F.M. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e eficiência da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado. Santa Maria, 2006. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, 1997.

- EMMETT, B.A. Nitrogen saturation of terrestrial ecosystems: some recent findings and their implications for our conceptual framework. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, v.7, p.99-109, 2007.
- ESTERMAN E.F., MCLAREN, A.D. Contribution of rhizosphere organisms to total capacity of plants to utilize organic nutrients. *Plant and Soil* 15(3): 243-260, 1961.
- FAGERIA, N.K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.3, p.390-395, 2000.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Response of common bean, upland rice, corn, wheat, and soybean to soil fertility of an Oxisol. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.20, n.10, p.1279-1289, 1997.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Improving nutrient use efficiency of annual crops in Brazilian acid soils for sustainable crop production. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 32, p. 1303-1319, 2001.
- FRANKENBERGER, JR. W.T., TABATABAI, M.A. Amidase and urease activities in plants. *Plant and Soil*, 64:153-166, 1982.
- FRANKENBERGER, W.T.JR., DICK, W.A. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. *Soil Science Society of America Journal* 47(5): 945-951, 1983.
- GABROVSKA, K.; GODJEVARGOVA, T. Optimum immobilization of urease modified acrylonitrile copolymer membranes: Inactivation by heavy metals ions. *Journal of Molecular Catalysis*, v.60, p.69-75, 2009.
- GALRÃO, E.Z.; MESQUITA FILHO, M.V. Efeitos de fontes de zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.5, p.167-170, 1981.
- GALRÃO, E.Z. Métodos de correção da deficiência de zinco para o cultivo de milho num latossolo vermelho-escuro argiloso sob cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, p.229-233 1994.
- GALRÃO, E.Z. Níveis críticos de zinco para o milho cultivado em latossolo vermelho amarelo, fase cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.255-260, 1995.
- GALRAO, E.Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num latossolo vermelho escuro, argiloso, fase cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.20, p.283-289, 1996.
- GILLER, K.E.; WITTER, E.; MCGRATH, S.P. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils: a review. *Soil Biol. Biochem.*, v.30, 1389p., 1998.
- GOLAB, Z.; BREITENBACH, M.; JEZIEWSKI, A. Sites of copper binding in *Streptomyces pilosus*. *Water Air Soil Pollution*. V.82, 713p., 1995.
- GOLDSTEIN, L.. Kinetic behaviour of immobilized enzyme systems. pp: 397-443. In K. Mosbach (eds.) *Methods in enzymology*. Vol. 44. Academic Press, London, 1976.
- GONG, P.; LI, P.J.; SUN, T.H. Ecotoxicological effects of Cd, Zn, phenanthrene and MET combined pollution on soil microbe. *China Environmental Science*, v.17, p.58-62, 1997.
- GRANT, C.A. Agronomic and environmental benefits of polymer coated urea. *Abstracts of Nitrogen*. 4th Conference, Costa do Saúpe, Bahia, Brasil, p. 94, 2007.

- GUEDES, C.A.B. Volatilização de N e alterações químicas do solo sob cultivo de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça e diferentes formas de colheita. Seropédica, 2002, 77p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002.
- GUOQING, S.; YITONG, L.; JINGBO, H. Combined effect of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons on urease activity in soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.63, p.474-480, 2006.
- HE WENXIANG, ZHU MINGE, ZHANG YIPING. Effects of mercury and cadmium on the activity of urease in soils I . Urea concentrations. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 13, 191–193, 2002.
- HU, X.F.; SUN, Q.Q.; WANG, Z.Y. Study on ammonia volatilization of slow/controlled release compound fertilizer. Nitrogen. 4th Conference, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 114, 2007.
- JUAN, Y.H.; CHEN, L.J.; WU, Z.J.; WANG, R. Kinetics of soil urease affected by urease inhibitors at contrasting moisture regimes. *Journal Soil Science Plant Nutrition*, v.9, n.2, p.125-133, 2009.
- KIEHL, J.C. Distribuição e retenção da amônia no solo após a aplicação de uréia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 13, p. 75-80, 1989.
- KISSEL, D.E.; BREWER, H.L.; ARKIN, G.F. Design and test of a field sampler for ammonia volatilization. *Soil Science Society of America Journal*, v.41, p.1133-1138, 1997.
- KUCHARSKI, J.; WYSZKOWSKA, J. Intern-relationship between numer of microorganisms and spring barley yeld and degree of soil contamination with copper. *Plant Soil Environmental*, v.50, n.6, 243p., 2004.
- KUMAR, V., WAGENET, R.J. Urease and kinetics of urea transformation in soils. *Soil Science* 137(4): 263-269, 1984.
- LAGREID, M.; BOCKMAN, O.C.; KAARSTAD, O. Agriculture fertilizers and the environment. Wallingford, CABI Publishing, 294p., 1999.
- LAI, C. M., TABATABAI, M. A. Kinetic parameters of immobilized urease. *Soil Biol. Biochem.*, v.24, n.3, p.225-228, 1992.
- LAL, R.B., KISSEL, D.E., CABRERA, M.L., SOHWAB, A.P. Kinetics of urea hydrolysis in wheat residue. *Soil Biology & Biochemistry* 25(8): 1033-1036, 1993.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; ARRUDA, M.R.; CANTARELLA, H.; PAULETTI, V. TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A. Imobilização de nitrogênio da uréia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura do milho no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, n.2, p.215-226, 2005.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> 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, n.3, p.481-487, 1997.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH<sub>3</sub> volatilizado da uréia aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.14, p.345-352, 1990.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E. Efeito do tamanho do 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.409-413, 1992.

- LEHNINGER, A.; NELSON, D.; COX, M.M.. Princípios de bioquímica, 3° Ed. Sarvier. São Paulo, 2003.
- LIJUN, F.; YANG, W.; YANGYE, W. Effects of copper pollution on the activity of soil invertase and urease in loquat orchards. *Chinese Journal geochemistry*, v.28, p.76-80, 2009.
- LOPES, A.S.; BASTOS, A.R.S..Fertilizantes nitrogenados no Brasil: um problema de escassez. *Informações Agronômicas*. INPI, v.120, p.4-5 dezembro 2007.
- LOUBET, B.; CELLIER, P.; FLURA, D.; GÉNERMONT, S. An evaluation of the wind tunnel technique for estimating ammonia volatilization from land. PartI. Analysis and improvement accuracy. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.72, p.71-81, 1999.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic Press,. 889p, 1995.
- MARTHA JÚNIOR, G.B. Produção de forragem e transformação do nitrogênio do fertilizante em pastagem irrigada de capim tanzânia. Piracicaba, 2003. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Piracicaba, 2003.
- MARTINELLI, L.A. In: IPNI – International Plant Nutrition Institute, *Informações Agronômicas*, n. 118, p. 8, junho 2007.
- MAY P.B., DOUGLAS L.A. Asosaily u rease afcotri vity. *Plant and Soil* 45(1): 301-305, 1976.
- McCARTY, G. W., BREMNER, J. M., Lee, J. S. Inhibition of plant and microbial urease by phosphoroamides. *Plant and Soil*. 127, 269-283, 1990.
- MCGINN, S.M.; JANZEN, H.H. Ammonia sources in agriculture and their measurement. *Canadian Journal of Soil Science*, v.78, p.139-148, 1998.
- MENGEL, D.B.; BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. *Agronomy Journal*, Madison, v.66, n.3, p.399-402, 1974.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 4.ed. Dordrecht, Kluwer Academic, 687p., 1987.
- MOBLEY, H.L.T.; HAUSINGER, R. P. Microbial ureases: Significant, regulation, andmolecular characterization. *Microbiology Reviews*. v. 53, p. 85-108, 1989.
- MORAES, M. F., ABREU JUNIOR, C. H., LAVRES JUNIOR, J. Micronutrientes. In: PROCHNOW, L. I., CASARIN, V., STIPP, S. R. ed., Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. 2 v. Piracicaba –SP. IPNI – Brasil, p.207-278, 2010.
- MORTVEDT, J.J. Micronutriente fertilizer technology and use in the Unitates States. In: Seminar on Micronutrients in Agriculture. New Dehli, 1977.
- MORTVEDT, J.J. Micronutrients fertilizer technology and use in the United States. In: Seminar on Micronutrients in Agriculture. New Dehli, India, 1979.
- MULVANEY, R. L., BREMNER, J. M. Control of urea transformation in soils. In *Soil Biochemistry*, Vol. 5 (Paul EA, Ladd JN Eds) pp. 153- 196, 1981.
- NANNIPIERI P., MUCCINI L., CIARDI C. Microbial and enzymeactivitie: production and persistence. *Soil Biology & Biochemistry* 15(6): 679-685, 1983.
- NANNIPIERI, P.; CECCANTI, B.; CERVELLI, S.; SEQUI, P.Stability and kinetic properties of humus-urease complexes. *Soil Biol. Biochem.* 10: 143-147, 1978.
- NÔMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soils. *Plant and Soil*, v.39, p.309-318, 1973.
- PALMA, M. P.; CONTI, M. E. Urease activity in Argentine soils: Field studies nainfluence of sample treatment. *Soil Biol. Biochem.*, v.22, p.105-107, 1990.

- PANCHOLY, S. K.; RICE, E. L. Effect of storage conditions on actives of urease, invertase, amylase and dehydrogenase in soil. *Soil Science Soc. Am. Proc.*, v.36, p.536-537, 1972.
- PAULSON, K.N.; KURTZ, L.T. Locus of urease activity in soil. *Soil Science Society American Proc.*, v.33, p.897-901, 1969.
- PEREIRA, H.S.; LEO, A.F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M.A.C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. *R. Bras. Ci. Solo*, 33: 1685-1694, 2009.
- PEREZ-MATOES M. & GONZALEZ-CARCEDO S. Assay of urease activity in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 20(4): 567-572, 1988.
- PETTIT, N.M.; SMITH, A.R.J.; FREEDMAN, R.B.; BURNS, R.G. Soil urease: activity, stability and kinetic properties. *Soil Biol. Biochem.* 8: 479- 484, 1976.
- PORT, O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.857-865, 2003.
- RADEL, R.J.; GAUTNEY, J.; PETERS, G.E. Urease inhibitor developments. In: BOCK, B.R.; KISSEL, D.E., eds. Ammonia volatilization from urea fertilizers. Muscle Shoals, National Fertilizer Development Center, p.111-136, 1988.
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo, Ceres, 343p., 1991.
- RAO, A.C.S. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. *Fertilizer Research*, v. 33, pág. 209-17, 1992.
- RAVEN, J.A.; WOLLENWEBER, B.; HANDLEY, L.L. A comparison of ammonium and nitrate as nitrogen sources for photolithotrophs. *New Phytol.*, 121:19-31, 1992.
- RITCHEY, K.D.; COX, F.R.; GALRÃO, E.Z.; YOST, R.S. Disponibilidade de zinco para as culturas do milho, sorgo e soja em Latossolo Vermelho-escuro argiloso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.21, p.215-225, 1986.
- ROCHETTE, P.; CHANTIGNY, M.H.; ANGRES, D.A.; BERTRAND, N.; COTE, D. Ammonia volatilization and soil nitrogen dynamics following fall application of pig slurry on canola crop residues. *Canadian Journal of Soil Science*, v.81, p.515-523, 2001.
- RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 10, p. 37-43, 1986.
- ROS, C.O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, p. 799-805, 2005.
- ROTINI, O. T. La transformazioni enzimatica dell-urea nell terreno. *Ann. Labor. Ric. Ferm.*, v.3, p.134-154, 1935.
- SAEG. Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, 2007.
- SAHRAWAT, K.L. Effect of temperature-and moisture on urease activity i n semi-acid tropical soils. *Plant and Soil* 78(2): 401-408, 1984.
- SAVANT, N.K., JAMES, A.F.; MCLELLAN, G.H. Effect of soil submergence on urea hydrolysis. *Soil Science* 140(2): 81-88, 1985.
- SCIVITTARO, W.B.; GONÇALVES, D.R.N.; VALE, M.L.C. do.; RICORDI, V.G. Perdas de Nitrogênio por Volatilização de Amônia e Resposta do Arroz Irrigado a Aplicação de Uréia Tratada com o Inibidor NBPT. *Ciência Rural*, 40: 1283-1289, 2010.



- SCHLEGEL, A. J.; NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Field evaluation of urease inhibitors for corn production. *Agronomy Journal*. 78, 1007- 1012, 1986.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho em Latossolo Vermelho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.41, n.3, p.477-486, 2006.
- SMITH, E.; GORDON, R.; BOURQUE, C.; CAMPBELL, A. Comparison of three simple field methods for ammonia volatilization from manure. *Canadian Journal of Science*, v.87, p.469-477, 2007.
- SOMMER, S.G.; OLESEN, J.E. effects of dry matter content and temperature on ammonia loss from surface-applied cattle slurry. *Journal on Environmental Quality*, v.20, p.679-683, 1991.
- STAFANATO, J.B. Aplicação de misturas granuladas NK e NS em cultivar de arroz (*Oryza sativa*). 2009, 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo. Departamento de Agronomia. UFRRJ, Seropédica-RJ), 2009.
- SUMNER, J. B.; HAND, D. B.; HOLLOWAY, R. G. Studies of the intermediate products formed during the hydrolysis of urea by urease. *Journal Biol. Chem.*, v.91, 333p., 1931.
- TABATABAI, M.A. Soil Enzymes. *Methods of Soil Science Society of America, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*, n.5, 1994
- TABATABAI, M.A.; BRENNER, J.M. Assay of urease activity in soils. *Soil Boil. Biochem.*, v.4, p.479-487, 1972.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, UFRGS, 174p., 1995.
- TERMAN, G.L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. *Advances Agronomy*, v.31, p.189-223, 1979.
- THIND, S.S.; TAKKAR, P.N.; BANSAL, R.L. Chemical pools of zinc and the critical deficiency level for predicting response of corn to zinc application in alluvium derived alkaline soils. *Acta Agronômica Hungarica*, v.39, p.219-226, 1990.
- TRENKEL, M.E. Slow- and Controlled-Release Stabilized Fertilizers. An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 160 p.,2010.
- URQUIAGA, S.; VICTÓRIA, R.L.; BUITRÓN, F.; NEYRA, J.C. Perdas por volatilização do 15N-uréia e 15N-sulfato de amônio num solo calcário da parte central da região costeira do Peru. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.24, n.5, p. 607-613, 1989.
- VAN CLEEMPUT, O., WANG, Z. P.Urea transformation and urease inhibitors. *Trends in Soil* 1, 45-52, 1991.
- VARVEL, G.E.; SCHPERS, J.S.; FRANCIS, D.D. Ability for inseason correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Science of American Journal*, Madison, v.61, n.4, p.1233-1239, 1997.
- VELK P.L.G.; CARTER M.F. The effect of soil environment and fertilizer modifications on the rate of urea hydrolysis. *Soil Science* 1360): 56-63, 1983.
- VITTI, G.C.; TAVARES Jr, J.R.; LUZ, P.H.C.; FAVARIN, J.L.; COSTA, C.G. Influência da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v. 26, p. 663-671, 2002.
- VOLK, M.G. Efficiency of urea as affected by method of application, soil moisture and lime. *Agronomy Journal*, v.58, p.249-252, 1966.

- 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.
- WANG, J.H.; TARR, D.A. On the mechanism of the urease action. *Journal of American Chemistry Socite*, v.77, p.6205-6206, 1955.
- WARNCKE, D.D.; BARBER, S.A. Ammonium and nitrate uptake by corn (*Zea mays* L.) as influenced by nitrogen concentration and  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  ratio. *Agronomy Journal*, Madison, v.65, p.950-953, 1973.
- WATSON, C.J. Urease activity and inhibition – Principles and practice. In: THE INTERNATIONAL FERTILIZER SOCIETY MEETING, Londres, 2000. Proceedings, Londres, The International Fertilizer Society, 39p., 2000.
- WENXIANG, H.; MINGE, Z.; YIPING, Z. Recent advances in relationship between soil enzymes and heavy metals. *Soil and Environmental Sciences*, v.9. p.139-142, 2000.
- WYSZKOWSKA, J., KUCHARSKI, J. Biochemical and physicochemical properties of soil contaminated with the heavy metals. *Zesz. Prob. Nauk Rol.* 492, 435, 2003.
- WYSZKOWSKA, J.; KUCHARSKI, J.; LAJSZNER, W. Enzymatic activities in different soils contaminated with copper. *Polish Journal of Environmental Studies*, v.14, n.5, p.659-664, 2005.
- YOUNG, R. Providing micronutrients in bulk-blended, granular fertilizers. *Commercial Fertilizers*. Atlanta, v.118, n.1, p.21-24, 1969.
- ZANTUA M.I.; BREMNER J.M. Production and persistence of urease activity in soils. *Soil Biology & Biochemistry*, (5)3:6 9-374, 1976.
- ZANTUA M.I.; BREMNER J.M. Stability of urease i n soils. *Soil Biology & Biochemistry* 9(2):135-140, 1977.
- ZHAO, X. Y., ZHOU, L. K.. Effect of urease inhibitor hydro quinone on soil enzyme activity. *Soil Biology Biochemistry*, v.23, n.11, p.1089-1091, 1991.