

JOSIMAR RODRIGUES OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO NITROGENADA COM UREIA DE LIBERAÇÃO
CONTROLADA NA SEMEADURA DO MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

O48a
2013
Oliveira, Josimar Rodrigues, 1989-
Adubação nitrogenada com ureia de liberação controlada na
semeadura do milho / Josimar Rodrigues Oliveira. – Viçosa,
MG, 2013.
viii, 65f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Fertilizantes nitrogenados. 2. Fertilidade do solo.
3. Ureia. 4. Polímeros. 5. Amônia. 6. Milho. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22 ed. 631.84

JOSIMAR RODRIGUES OLIVEIRA

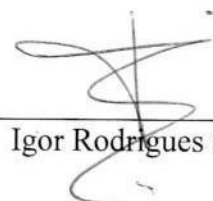
**ADUBAÇÃO NITROGENADA COM UREIA DE LIBERAÇÃO
CONTROLADA NA SEMEADURA DO MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em Solos e
Nutrição de Plantas, para a obtenção do título
de *Magister Scientiae*

APROVADA: 21 de junho de 2013.



Rogério Faria Vieira



Igor Rodrigues de Assis



Edson Marcio Mattiello
(Coorientador)



Reinaldo Bertola Cantarutti
(Orientador)

Toda honra e glória é para ti, Senhor!

Aos meus pais, João Batista Oliveira e Marluce Rodrigues Oliveira,
Por me ensinar os verdadeiros valores da vida.

À minha irmã Josiane Rodrigues Oliveira,
Pelo companheirismo e amizade.

À Thamara Julia dos Santos Lopes,
Pessoa maravilhosa que Deus me presenteou como
companheira.

À todos da minha família,
Pelo carinho e amizade de cada um de vocês.

Ao meu avô Geraldo Lopes Oliveira (in memoriam),
Que sempre viu na educação a oportunidade de uma vida
melhor.

Aos professores que passaram pela minha vida,
Cada um deixou uma marca especial e um aprendizado profundo
na minha vida.

Aos agricultores brasileiros,
Grandes responsáveis pelos avanços do nosso país nos últimos
anos.

DEDI CO

“O solo tem uma importância vital para o ser humano, dele viemos e para ele voltaremos. É do solo fértil que surge os alimentos que conhecemos, a roupa que vestimos, as matérias primas das casas que construímos, as fontes de energia que consumimos e o perfume das mais belas flores que eternizam momentos de nossa caminhada nesse mundo e enfeitam nossos jardins.”

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde e todas as bênçãos que tem realizado na minha vida, sempre guiando minhas escolhas e ajudando a conquistar os meus objetivos.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Solos, pela oportunidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico, Tecnológico e Inovação (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado, tornando possível a realização desse sonho.

Ao Professor Dr. Reinaldo Bertola Cantarutti, pela amizade, paciência e confiança na realização desses projetos e pelo crescimento pessoal e profissional que esse pode me proporcionar durante o período de convívio.

Ao Professor Dr. Edson Márcio Mattiello, pela importante contribuição como co-orientador desse trabalho.

Ao Professor Júlio César de Lima Neves, pelo apoio, amizade e conhecimentos adquiridos com esse grande profissional.

Ao Professor Igor Rodrigues de Assis e ao pesquisador da EPAMIG, Rogério Faria Vieira pela participação na banca de defesa e pelas importantes sugestões e contribuições.

Ao Professor do Departamento de Fitotecnia, Dr. José Eustáquio de Souza Carneiro, pela concessão da área experimental e pela disponibilização do clorofilômetro Minolta SPAD-502 durante a realização desses trabalhos.

Ao professor do Departamento de Engenharia Florestal, Dr. Hélio Garcia Leite pelo auxílio na confecção e interpretação da planilha estatística de identidade de modelos.

Aos Professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Minas Gerais (IFMG) – Campus Bambuí: Dr. Neimar de Freitas Duarte, Dr. Luciano Donizete Gonçalves, Dra. Sheila Isabel do Carmo Pinto e Dr. Paulino da Cunha Leite, pelo apoio e amizade desde a época de graduação. Verdadeiros exemplos de humildade e profissionalismo.

Aos estudantes de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa: Luis Paulo Correa Leite, Matheus Caetano Luz e Matheus André Santos, sem os quais não seria possível a realização desses experimentos.

Ao estudante Gelton Geraldo Fernandes Guimarães pelo auxílio na demarcação da área no campo experimental e pela boa vontade em ensinar-me os procedimentos laboratoriais necessários para a realização das análises de nitrogênio em tecido vegetal.

Ao estudante Odirley Rodrigues Campos que realizou ensaios de coleta de amônia na atmosfera do solo no seu trabalho de iniciação científica de 2010, o qual serviu de base para estruturação do modelo de vasos em casa de vegetação.

À Thamara Julia dos Santos Lopes, pelo auxílio na confecção de planilhas e tabulação de dados.

Aos demais estudantes e colegas que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento dessa dissertação.

Aos técnicos de laboratório do Departamento de Solos e do laboratório de Isótopos Estáveis que foram fundamentais no apoio técnico-operacional das atividades realizadas nesses experimentos.

Às secretárias de graduação do Departamento de Solos: Leiliane Pereira, Sônia do Carmo Almeida e Tatiana Teixeira, que sempre estiveram à disposição quando solicitadas.

Às secretárias da pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas: Luciana de Castro Freitas e Cláudia Gonçalves, pela excelente dedicação e atendimento prestado aos estudantes dessa universidade.

Aos encarregados do Campo Experimental “Professor Diogo Alves de Mello”: Paulo Paiva e Gilberto, que sempre estiveram apoiando as atividades de cultivo e operações de manutenção da cultura durante o período de desenvolvimento desse trabalho.

A todos os funcionários federais e terceirizados que trabalham no campo experimental, a atuação desses profissionais auxiliando a condução operacional da cultura foi de grande importância para que fosse conduzido um trabalho de qualidade.

As empresas parceiras que nos forneceram os fertilizantes de liberação controlada que foram utilizados nesse trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo Enio, pela doação do híbrido de milho BG 7049H, que foi utilizado nesse trabalho.

BIOGRAFIA

JOSIMAR RODRIGUES OLIVEIRA, filho de Marluce Rodrigues Oliveira e João Batista Oliveira, natural de Bambuí – MG, nasceu no dia 09 de fevereiro de 1989.

Entre 2004 e 2006 estudou no Centro Federal de Educação Tecnológica de Bambuí (CEFET), onde cursou o ensino médio e o curso Técnico em Agricultura & Zootecnia.

Em 2007 iniciou o curso de graduação em Agronomia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Minas Gerais (IFMG) – Campus Bambuí, recebendo o título de Bacharel em Agronomia em julho de 2011.

Em agosto de 2011 iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa-MG (UFV), concluindo em junho de 2013.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	01
LITERATURA CITADA.....	05
CAPÍTULO I - UREIA DE LIBERAÇÃO CONTROLADA PODE CAUSAR TOXIDEZ EM PLANTAS DE MILHO?.....	10
RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUÇÃO.....	12
MATERIAL E MÉTODOS.....	14
RESULTADOS.....	18
DISCUSSÕES.....	31
CONCLUSÕES.....	34
LITERATURA CITADA.....	34
CAPÍTULO II - DOSE COMPLETA DE N APLICADA NO SULCO DE PLANTIO DO MILHO COM UREIA DE LIBERAÇÃO CONTROLADA.....	37
RESUMO.....	37
ABSTRACT.....	38
INTRODUÇÃO.....	39
MATERIAL E MÉTODOS.....	41
RESULTADOS.....	47
DISCUSSÕES.....	50
CONCLUSÕES.....	51
LITERATURA CITADA.....	52
APÊNDICE A.....	56
APÊNDICE B.....	58
APÊNDICE C.....	59
APÊNDICE D.....	65

RESUMO

OLIVEIRA, Josimar Rodrigues, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Junho de 2013. **Adubação nitrogenada com ureia de liberação controlada na semeadura do milho.** Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti. Coorientador: Edson Márcio Mattiello.

As perdas de nitrogênio por volatilização, lixiviação e desnitrificação impulsionam as pesquisas por novos fertilizantes que liberem os nutrientes de modo sincronizado com a demanda das culturas. Na literatura ainda são poucos os trabalhos científicos realizados com esses fertilizantes para avaliar sua eficiência técnica e econômica em relação às fontes tradicionais. Nosso objetivo foi: i) avaliar os efeitos tóxicos da ureia de liberação controlada sobre a germinação e crescimento inicial do milho em solo de texturas distintas e ii) avaliar a possibilidade de aplicar a dose integral de nitrogênio com ureia de liberação controlada no sulco de plantio do milho. Para isso, foram desenvolvidos dois experimentos. O primeiro foi realizado em casa de vegetação, utilizando a combinação fatorial de dois solos (argiloso e franco-arenoso), dez fertilizantes (ureia convencional, sulfato de amônio, nitrato de amônio, nitrato duplo de sódio e potássio, ureia revestida com ácido bórico e sulfato de cobre, ureia revestida com enxofre, três formas de ureia revestida por enxofre e polímero e uma ureia revestida somente com polímero) e quatro doses de nitrogênio (20, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹). Nesse estudo foi verificado que os sintomas de toxidez pela aplicação de altas doses de N podem ser causados pela liberação de amônia (NH₃) na atmosfera do solo e uma possível absorção excessiva de amônio (NH₄⁺), que é mais prejudicial do que o aumento da salinidade proporcionado pelo fertilizante. Os sintomas de toxidez são mais acentuados em solo franco-arenoso, causando a estagnação do crescimento e morte de plântulas após a emergência. As formas de ureia revestida com enxofre ou cobre e boro, assim como a ureia revestida com enxofre e polímeros ou apenas com polímeros não possibilitam a aplicação de elevadas doses de nitrogênio no plantio. No segundo estudo, realizado em campo os tratamentos foram formados pela combinação de sete formas de ureia, duas doses de nitrogênio (120 e 240 kg ha⁻¹) e dois modos de aplicação (cobertura ou dose completa no sulco). As formas de ureia utilizadas foram às mesmas aplicadas no primeiro experimento. Não houve redução na germinação, crescimento e desenvolvimento das plantas de milho. Não foi observado diferença de resposta entre as formas de ureia de liberação controlada e a ureia perolada convencional.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Josimar Rodrigues, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, June 2013. **Nitrogen fertilization with controlled release urea in maize planting.** Advisor: Reinaldo Bertola Cantarutti. Co-Advisor: Edson Márcio Mattiello.

The nitrogen losses by volatilization, leaching and denitrification drive research for new fertilizer that release the nutrients synchronized with crop demand. In the literature, the works are still few to evaluate technical and economical efficiency these fertilizes in relation to the traditional sources. We objective were: i) evaluate toxic effects of controlled release urea on the germination and initial growth of maize plant and ii) evaluate the possibility of perform the full nitrogen fertilization at planting with controlled release fertilizers. To this end have been developed two experiments. The first was conducted in greenhouse, using a factorial combination of two soils (clayey and sandy loam). Ten fertilizers (pearly urea, ammonium sulfate, ammonium nitrate and sodium nitrate and potassium double, boric acid and copper sulfate coated urea, sulfur coated urea, three forms of sulfur-polymer urea and one polymer coated urea. In this study was checked that the excessive absorption of nitrogen and its accumulation in the form of NH_4^+ in plant tissues is more harmful than the effects of NH_3 in the soil atmosphere or the increase of salinity provided by the fertilizer. The toxicity symptoms are more pronounced in sandy loam soil, leading to stagnant growth and death of seedlings after emergence. The forms of sulfur coated urea or Cu and B, and urea coated with sulfur and polymers or only polymers not allow the application of high nitrogen levels in the planting. In the second study, conducted in the field treatments were formed by combining seven forms of urea, two doses of N (120 e 240 kg ha^{-1}) and two application modes (installment or full dose in the groove). Forms of urea used were the same as applied in the first experiment. There was no reduction in germination, growth and development of maize plants. There was no difference in response between the forms of controlled release urea and urea pearly conventional.

INTRODUÇÃO GERAL

A ideia de revestir fertilizantes nitrogenados para aumentar a sua eficiência não é nova, as primeiras pesquisas relacionadas com esse tipo de fertilizante são da década de 60. Furuta et al. (1967) empregaram ureia revestida com enxofre elementar. Esses autores observaram que o controle na liberação do N por esse tipo de fertilizante dependia da ruptura do revestimento, e que se utilizado em elevadas doses poderia ocasionar a morte de plantas ornamentais, similar aos fertilizantes convencionais. Blouin et al. (1971) ressaltam a importância do uso de material selante de caráter microbicida para evitar a degradação rápida do revestimento de enxofre no solo. Segundo esses autores, um típico fertilizante revestido com enxofre nessa época era composto por 17% de S, 3% de cera, 0,2% de alcatrão de carvão e 1,8% de um condicionador (terra de diatomáceas). Outros tipos de condicionadores como caolin, argila, talco e vermiculita são sugeridos pelos autores. A taxa de liberação da ureia revestida por enxofre foi de 15% em uma semana na temperatura de 38 °C e 0,5% por dia na segunda semana (Blouin et al., 1967). Naquela época, apesar do pouco estudo relacionado a esse tipo de material, estes autores propuseram uma planta piloto para a produção de ureia revestida com enxofre nos EUA, descrevendo os processos e a estrutura necessária para a sua fabricação. De 1970 até o final dos anos 80 foram intensificadas as pesquisas sobre ureia revestida com enxofre (Allen et al, 1971; Locascio et al., 1973; Wilcox, 1973; Shirley & Meline, 1975; Liegel & Walsh, 1976; Sharma et al., 1976; Shelton, 1976; Locascio et al., 1978; Locascio & Fiskell, 1979; Jarrell & Boersma, 1980; Locascio et al., 1981; Clay et al., 1984; McArdle & McClurg, 1986; Brown et al., 1988). A vantagem dessa ureia seria suprir a demanda de forma sincronizada com as necessidades de nitrogênio das plantas e reduzir as perdas por volatilização de amônia e lixiviação de nitrato (Oertli, 1980).

Os fertilizantes conhecidos como “osmocotes” são utilizados de forma eficiente por viveiricultores há muitas décadas para a produção de mudas florestais, nativas e ornamentais. As empresas que comercializam esse tipo de produto garantem que a liberação completa dos nutrientes pode variar de 3 a 9 meses, dependendo do modo como o produto é formulado. Existem diversas formulações de “osmocotes” no mercado que incorporam macro e micronutrientes

em diferentes proporções. Esse tipo de fertilizante, geralmente é revestido por uma resina que funciona como cápsula de sistema osmótico onde, na medida em que entra água em seu interior, há liberação lenta do nutriente para o meio.

Nas últimas décadas, novos fertilizantes nitrogenados foram lançados no mercado para culturas perenes e de ciclo curto. Esses fertilizantes são denominados como fertilizantes de eficiência aumentada (Trenkel, 1997; Cantarella et al., 2007). As pesquisas relacionadas com esse tipo de fertilizante visam aumentar a eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes. No caso do N, o foco principal é reduzir as perdas por volatilização de NH_3 e lixiviação de NO_3^- .

A melhor caracterização e entendimento desses fertilizantes podem ser dados dividindo-os em três grupos:

1) Fertilizantes Estabilizados: os grânulos são recobertos com produtos que agem sobre a urease, inibindo a rápida hidrólise da ureia e reduzindo as perdas por volatilização de NH_3 . Existem também aqueles que são considerados “inibidores” da nitrificação, uma vez que atuam sobre os organismos nitrificadores (*Nitrossomonas*) assim, esses produtos reduzem a transformação de NH_4^+ para NO_3^- . Há fertilizantes que agregam os dois tipos de tecnologia (inibidores da urease e inibidores de nitrificação). Segundo Trenkel (2010) os fertilizantes estabilizados contêm estabilizadores que mantêm o nutriente na forma em que foram aplicados. Cantarella (2007) destaca que entre os inibidores de urease, o tiofosfato de N-n-butiltriamida (NBPT) tem proporcionado os melhores resultados em campo, ao passo que entre os inibidores de nitrificação os mais usados são o fosfato de 3,4-dimetilpirazole (DMPP), a dicianodiamida (DCD) e a nitrapirina.

2) Fertilizantes de liberação lenta: A expressão “liberação lenta” define um determinado grupo de fertilizantes de eficiência aumentada e não deve ser utilizado como sinônimo de “liberação controlada”, pois as características físicas, os mecanismos e princípios de eficiência desses fertilizantes são diferentes. Define-se fertilizante de liberação lenta o que apresenta propriedade de atrasar a disponibilidade para absorção e uso pelas plantas após a aplicação ou que prolongue de maneira significativa o tempo de liberação do nutriente no solo, em relação as fontes solúveis tradicionais (Trenkel, 1997; Nascimento et al., 2012). Além dessas características, esse tipo de fertilizante é liberado de acordo com a

velocidade de degradação química e biológica ao qual é submetido no solo. Enquadrando-se, nesse caso, os compostos de condensação de ureia como a ureia formaldeído, isobutilaldeído e crotonaldeído (Civardi, 2009; Zavashi, 2010). A ureia formaldeído foi comercializada como fertilizante pela primeira vez em 1955. No processo de fabricação a ureia era submetida a uma reação com formaldeído na presença de um catalisador de modo a formar um grânulo sólido, branco e inodoro com cerca de 38% de N (Clark et al. 1956; Olson, 1971).

3) Fertilizantes de liberação controlada: Nesse grupo estão os fertilizantes “super-grânulos”, “osmocotes”, os fertilizantes revestidos ou recobertos e os fertilizantes encapsulados com polímeros. Esses fertilizantes liberam, gradativamente, o N no solo. A idéia de liberação gradativa também levou muitos autores a utilizarem a nomenclatura de fertilizantes de liberação gradativa. Silva et al. (2012) trabalharam com Uremax (uréia encapsulada com polímero) e Uremax Plus (ureia revestida com uma camada de polímero e uma camada de carbonato) e as denominaram uréia de liberação gradual. Outros autores também denominam fertilizantes revestidos ou encapsulados como liberação gradual ou gradativa (Valderrama et al., 2009; Magalhães 2009; Melo Júnior et al., 2010; Gomes et al., 2011; Queiroz et al., 2011). A própria indústria tem adotado a sigla LGU (Liberação Gradual de Ureia) para identificar os fertilizantes nitrogenados revestidos com polímero ou outros materiais. Algumas empresas são ousadas na sua estratégia de marketing e denominam esse tipo de produto como “fertilizantes inteligentes” ou “smart release”. A denominação “fertilizante inteligente” passa a ideia de que o produto libera o nutriente no momento adequado que a planta necessitar. O recobrimento desses fertilizantes pode ser realizado com polímeros inorgânicos, orgânicos e sintéticos. Essas substâncias são derivadas de poliamidas, enxofre elementar (Ferreira, 2012), micronutrientes como cobre e boro, ácidos húmicos, carvão oxidado (Guimarães, 2011; Paiva et al., 2012) ou outros aditivos. Portanto, as denominações “liberação controlada”, “liberação gradual” e “fertilizantes inteligentes” são utilizadas como sinônimo e designam um mesmo grupo de fertilizantes que seriam os revestidos, encapsulados e super-grânulos.

A velocidade de liberação dos fertilizantes de liberação controlada acontece por causa da hidrólise lenta de compostos hidrossolúveis de baixo peso molecular, os mecanismos que controlam a solubilidade do material em água, da qualidade do revestimento, do tipo de material utilizado para revestir, do método

empregado para confecção do fertilizante ou por outros meios pouco conhecidos patenteados pelas empresas detentoras da tecnologia. Fatores como a espessura da resina, presença de microfissuras em sua superfície e o tamanho do grânulo influenciam a durabilidade e intensidade de liberação do N. A liberação total de nutriente pode variar de alguns meses até 20 meses (Oertli, 1980; Girardi & Mourão Filho, 2003).

Segundo Chitolina (1994), a disponibilidade de água adequada no solo e a temperatura na faixa de 21 °C aumentam a eficiência dos fertilizantes de liberação controlada. O aumento da temperatura do solo expande os materiais encapsulados com polímero e cria fissuras no revestimento, o que facilita a liberação do nutriente. Concomitantemente, a água presente no solo penetra no grânulo e atua na dissolução e carreamento da ureia para a solução do solo. Em solo com temperaturas menores que 21 °C a liberação do nutriente do fertilizante é reduzida. Os polímeros são biodegradáveis, ou seja, quando vazios, são consumidos por microrganismos.

No caso de revestimentos com S elementar, Cu, B, etc, esses ainda são utilizados como nutrientes pelas plantas. O uso dos fertilizantes de eficiência aumentada nos diferentes sistemas de manejo da adubação nitrogenada pode reduzir o estresse da planta provocado pela concentração salina ou a toxicidade causada pela concentração de amônia na atmosfera do solo. Além disso, Shaviv (2000) destaca outros benefícios como a possibilidade de suprir a demanda de N das culturas nas formas preferencialmente absorvidas (NO_3^- ou NH_4^+).

Por causa dos benefícios apresentados, as perdas de N podem ser reduzidas com o uso de fertilizantes de liberação controlada, pois, a recuperação de N pelas plantas é maior quando comparado com as fontes convencionais (Bahar et al., 2006; Cole et al., 2007; Sato & Morgan, 2008; Medina et al., 2008).

Ferreira (2012) destaca que para o milho ainda são poucos os trabalhos que demonstram os benefícios da aplicação de fertilizantes nitrogenados revestidos com polímeros. Bono et al. (2008) estudaram ureia revestida com polímero. Observaram melhor qualidade fisiológica das sementes de milho com uso de ureia revestida. Além disso, a dose completa aplicada no sulco de plantio aumentou a utilização do N na produção de sementes de milho, comparado com a parcela que recebeu adubação em cobertura. Experimento com milho de safrinha mostrou redução de 50% na volatilização de amônia com o uso da ureia de liberação lenta e inibidores de urease (Pereira et al., 2009). Leão (2008) também observou

resultados similares ao realizar adubação de cobertura do milho com ureia revestida por polímero. Além da redução da volatilização de amônia observada por esses autores, a ureia de liberação lenta e gradual tem sido mais eficiente para reduzir a nitrificação (Mikkelsen et al., 1994; Wang & Alva, 1996; Wilson et al., 2009).

Em muitas circunstâncias o uso desse tipo de fertilizante é limitado devido ao alto custo quando comparado com a ureia comum (Cantarella, 2007). Esse elevado custo pode ser compensado se a adoção desse tipo de fertilizante viabilizar uma única operação de adubação durante o ciclo de vida da cultura.

Essa dissertação foi redigida em dois capítulos que abordam aspectos relacionados com a aplicação de elevadas doses de N no sulco de plantio com o uso de ureia de liberação controlada. O Capítulo I apresenta um trabalho conduzido em casa de vegetação que teve por objetivo avaliar os efeitos tóxicos da ureia de liberação controlada sobre a germinação e crescimento inicial da planta de milho em solo de texturas distintas. No Capítulo II é apresentado um experimento conduzido em campo, em uma safra com distribuição de chuva irregular. Nesse caso, nosso objetivo foi avaliar a possibilidade de aplicar a dose integral de nitrogênio no sulco de plantio do milho com ureia de liberação controlada.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, S. E.; HUNT, C. M.; TERMAN, G. L. Nitrogen Release from Sulfur-Coated Urea, as Affected by Coating Weight, Placement and Temperature. *Agron. J.*, 63: 529–533, 1971.
- BAHAR, A.A. ZEIDAN, M.S.; HOZAYN, M. Yield and quality of Maize (*Zea mays* L.) as affected by slow-release nitrogen in Newly reclaimed sandy soil. *Am-Eur. J. Agri. & Env.*, 1: 239-242, 2006.
- BLOUIN, G.M.; RINDT, D.W.; MOORE, O.E.; Sulfur-Coated fertilizers for controlled release: Pilot plant production. *J. Agr. Food Chem.*, 19: 801-808, 1971.
- BONO, J.A.M.; RODRIGUES, A.P.D.A.C.; MAUAD, M.; ALBUQUERQUE, J.C.; YAMAMOTO, C.R.; CHERMOUTH, K.S.; FREITAS, M.E. Modo de

- aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. *Agrarian*, 1: 91-102, 2008.
- BROWN, B.D., HORNBACHER, A.J.; NAYLOR, D.V. Sulfur-coated urea as a slow-release nitrogen source for onions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 113:864–869, 1988.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 375-470.
- CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Ad. In Agron.*, 102: 267-322, 2009.
- CHITOLINA, J.C. Fertilizantes de lenta liberação de N: conceitos. Ureia coberta com enxofre. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 16 p.
- CIVARDI, E.A. Adubação nitrogenada em cobertura do milho em Neossolo Quartzarênico em Jataí-Goiás. 2009. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UFG-Campus Jataí, Jataí, GO, 2009.
- CLARK, K.G., LEE, J.Y.; LOVE, K.S. BOYD, T.A. Solubility relationships and nitrification characteristics of ureaform. *J.Agr. Food Chem.* 4:135–140, 1956.
- CLAY, D.E., MAHLER, R.L.; MENSER, H.A. The influence of N sources and rates on soil N parameters related to strawberry production in northern Idaho. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 15:819–832, 1984
- COLE, J.C.; DOLE, J.M. Temperature and phosphorus source affect phosphorus retention by a pine bark-based container medium. *Hort Sci.*, 32: 236-240, 1997.
- FERREIRA, Danilo Alves. Eficiência agronômica da ureia revestida com polímero na adubação do milho. 2012. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- FURUTA, T.; SCIARONI, R.H.; BREECE, J.R. Sulfur-Coated urea fertilizer for controlled -release nutrition of container-grown ornamentals. *Cal. Agri.*, p. 4-5, Set, 1967.

- GOMES, C.A.; LIMA DIAS, K.G.; COGO, F.D.; ORFÃO, P.A.S.; CEREDA, G.J.; TOLEDO, G.C. Fertilizante de liberação gradativa em cafeeiros em produção. *Tecn. & Ciênc. Agrop.*, 2:35-39, 2011
- GUIMARÃES, G.G.F. Substâncias húmicas como aditivos para o controle da volatilização de amônia proveniente da ureia. 2011. 26 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – UFV, Viçosa, MG, 2011.
- JARRELL, W.M.; BOERSMA, L. Release of urea by granules of sulfur-coated urea. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 44:418–422, 1980.
- LEÃO, A.F. Volatilização de amônia resultante da aplicação de ureia na cultura de milho. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí, 2008.
- LIEGEL, E.A.; WALSH, L.M. Evaluation of sulfur-coated urea (SCU) applied to irrigated potatoes and corn. *Agron. J.*, 68:457–463, 1976.
- LOCASCIO, S.J.; FISKELL, J.G.A.; LUNDY, H.W. Watermelon response to sulfur-coated urea, mulches and nitrogen rate. *Proc. Florida State Hort. Soc.*, 86:201–204, 1973.
- LOCASCIO, S.J.; FISKELL, J.G.A.; ELMSTROM, G.W. Comparison of sulfurcoated and uncoated urea for watermelons. *Proc. Soil Crop Sci. Soc., Florida* 37:197–200, 1978.
- LOCASCIO, S.J.; FISKELL, J.G.A. Pepper response to sulfur-coated urea, mulch and nitrogen rate. *Proc. Florida State Hort. Soc.*, 92:112–115, 1979.
- LOCASCIO, S.J.; FISKELL, J.G.A.; MARTIN, F.G. Responses of bell pepper to nitrogen sources. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 106:628–632, 1981.
- MAGALHÃES, P.C.R. Gestão de fertilizantes de liberação gradual de nutrientes em relvados municipais. 2009. 35 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, SP, 2009.
- McARDLE, R.N.; McCLURG, C.A. Effects of sulfur-coated urea fertilizer regimes on production of processing tomatoes on a sandy loam. *Fert. Res.*, 8:259–262, 1986.
- MEDINA, L.C.; OBREZA, T.A.; SARTAIN, J.B.; ROUSE, R.E. Nitrogen release patterns of a mixed controlled-release fertilizer and its components. *Horttech.*, 18: 475-480, 2008.

- MELO JÚNIOR, H.B.; DUARTE, I.N.; SILVA, A.A.; LANA, R.M.Q. Uso de fontes revestidas com polímeros de liberação gradual e ureia convencional. *Enc. Bio.*, 6: 1-12, 2010.
- MIKKELSIN, R.L.; WILLIAMS, H.M.; BEHEL JR, A.D. Nitrogen leaching and plant uptake from controlled-release fertilizers. *Fert. Res.*, 37: 43-50, 1994.
- NASCIMENTO, C.A.C. Ureia recoberta com S^o, Cu e B em soca de cana-de-açúcar colhida sem queima. 2012. 71 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 2012.
- OERTLI, J.J. Controlled release fertilizers. *Fert. Res.*, 1: 103-123, 1980.
- OLSON, R.A. (ed.). *Fertilizer technology and use*. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, WI., 1971.
- PAIVA, D.M.; CANTARUTTI, R.B.; GUIMARÃES, G.G.F.; SILVA, I.R. Urea coated with oxidized charcoal reduces ammonia volatilization. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:1221-1229, 2012.
- PEREIRA, H.S.; LEÃO, A.F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M.A.C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 33: 1685-1694, 2009.
- QUEIROZ, A.M.; SOUZA, C.H.E.; MACHADO, V.J.; LANA, R.M.Q.; KORNDORFER, G.H.; SILVA, A.A. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea Mays* L.). *Rev. Bras. Milho e Sorgo.*, 10: 257-266, 2011.
- SATO, S.; MORGAN, K.T. Nitrogen recovery and transformation from a surface or sub-surface application of controlled-release fertilizer on a sandy soil. *J. Plant. Nut.*, 31: 2214-2231, 2008.
- SHARMA, G.C.; PATEL, A.J.; MAYS, D.A. Effect of sulfur-coated urea on yield, N uptake, and nitrate content in turnip greens, cabbage, and tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 101:142–145, 1976.
- SHAVIV, A. Advances in controlled release of fertilizers. *Ad. In Agro.*, 71: 1-49, 2000.
- SHELTON, J.E. An evaluation of sulfur-coated urea as a preplant total season nitrogen supply for trellised tomatoes. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 40:126–129, 1976.

- SHIRLEY, A.R., MELINE, R.S. Sulfur-coated urea from a 1 ton-per-hour pilot plant, p. 33–54. In: WEST, J.R. (ed.). New uses of sulfur. Adv. Chem. Ser. n. 140. Amer. Chem. Soc., Washington, DC., 1975
- SILVA, A.A.; SILVA, T.S.; VASCONCELOS, A.C.P.; LANA, R.M.Q. Aplicação de diferentes fontes de ureia de liberação gradual na cultura do milho. Biosc. J., 28: 104-111, 2012.
- TRENKEL, M. E. Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.
- TRENKEL, M.E. Improving fertilizer use efficiency. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris, 1997.
- VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C.G.S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M.E. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema de plantio direto. Pesq. Agrop. Trop., 39: 191-196, 2009
- WANG, F.L.; ALVA, A.K. Leaching of nitrogen from slow-release urea sources in sandy soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 60: 1454-1458, 1996.
- WILCOX, G.E. Muskmelon response to rates and sources of nitrogen. Agron. J., 65:694–697, 1973.
- WILSON, M.L.; ROSEN, C.J.; MONCRIEF, J.F. Potato response a polymer-coated urea on na irrigated, Coarse-Textured Soil. Agro. J., 101: 897-905, 2009
- ZAVASHI, E. Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros. 2010. 71 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 2010.

CAPÍTULO I

UREIA DE LIBERAÇÃO CONTROLADA PODE CAUSAR TOXIDEZ EM PLANTAS DE MILHO?

RESUMO

A ureia de liberação controlada pode ser alternativa que viabilize o aumento da dose ou a aplicação da dose completa no sulco de plantio, visto que o conceito desse tipo de fertilizante é liberar no solo de forma gradual o nutriente. Nosso objetivo foi avaliar os efeitos tóxicos da ureia de liberação controlada sobre a germinação e crescimento inicial da planta de milho em solo com texturas distintas. Para isso, foi conduzido experimento em casa de vegetação, utilizando 10 fertilizantes, 4 doses de N (20, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹) e 2 tipos de solo (argiloso e franco-arenoso). Aos dez dias após a semeadura realizou-se a contagem das plântulas emergidas. Foi avaliado o nível de toxidez das plantas atribuindo-se notas de 0 a 5, conforme a caracterização dos sintomas visuais. Foi avaliado a matéria seca de raiz, matéria seca da parte aérea, nitrogênio total absorvido, NH₃ acumulada na atmosfera do solo até o 14º dia após a semeadura, pH e condutividade elétrica do solo. Os fertilizantes não comprometeram a germinação das sementes, pois, mais de 90% das plântulas emergiram. Os efeitos de toxidez foram intensificados aos dez dias após a semeadura. As formas de ureia de liberação controlada podem causar toxidez às plantas, quando aplicados em doses maiores que 120 kg ha⁻¹, especialmente em solos arenosos. A liberação de NH₃ na atmosfera do solo aparentemente é mais prejudicial ao crescimento das raízes e da planta do que os efeitos da salinidade.

Palavras-Chave: ureia revestida, polímero, liberação de amônia, salinidade.

CONTROLLED RELEASE UREA MAY CAUSE TOXICITY IN MAIZE?

ABSTRACT

The controlled release urea may be alternative that make possible increase the apply dose or make possible apply full dose in planting, because the concept of this fertilizer is a slow release of nutrient to soil. We objective are evaluate the toxic effect of controlled release urea on the germination and initial growth of maize in soil with different textures. For this, the experiment was conducted in greenhouse. There are in this experiment 10 fertilizers, 4 doses of N (20, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹) and 2 soils (clayey and sandy loam). Ten days after planting we perform the count of emerged plants. We assessed the level of toxicity of plants assigning grades 0-5, as characterization of visual symptoms. Was evaluated for root dry matter, shoots dry matter, total nitrogen absorbed, NH₃ accumulated in the soil atmosphere to the 14th day after planting, pH and electrical conductivity of the soil. The fertilizers did not affect seed germination, because more than 90% of the seedlings have emerged. Plant toxicity were intensified to ten days after planting. Controlled release fertilizers could cause plant toxicity, when applied in dosages greater than 120 kg ha⁻¹, especially in sandy soils. The release of NH₃ in the soil atmosphere most affected growth of roots and of the plant as the salinity.

Key-Words: coated urea, polymer, ammonia release, salinity

INTRODUÇÃO

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no país, devido a sua característica física que facilita o manejo de aplicação e principalmente pelo fato de apresentar cerca de 440 a 460 g kg⁻¹ de N. Na safra de 2011/2012 foram comercializados cerca de 4,37 milhões de toneladas de ureia (ANDA, 2012). A maior desvantagem desse fertilizante está na possibilidade de ser perdido por meio de volatilização de amônia (NH₃), principalmente quando é aplicado em cobertura e em sistemas como plantio direto. Segundo Oliveira et al. (2007), tais perdas podem chegar a 80%.

De um modo geral, culturas como o milho, feijão e olerícolas demandam doses elevadas de nitrogênio para alcançar o seu máximo potencial produtivo. Entende-se como doses elevadas àquelas superiores a 100 kg ha⁻¹ de N. No caso do milho, por exemplo, há uma demanda de 240 kg ha⁻¹ de N para uma produtividade esperada de 12 t ha⁻¹ de grãos (Souza e Lobato, 2004). A incorporação da ureia ao solo pode proporcionar maior eficiência agrônômica, pois reduz as perdas por volatilização e pode melhorar o aproveitamento da cultura. Deste modo, torna-se necessário realizar a adubação completa no sulco de plantio junto a semeadura. Altas doses de nitrogênio aplicados no plantio sob a forma de ureia, no entanto, podem levar a toxidez de sementes e danos radiculares, comprometendo sua germinação e crescimento.

Kikuti et al. (2005) observaram redução na emergência de feijão em quatro safras consecutiva e atribuíram tal efeito à salinidade causada pela ureia no solo. Apesar das significativas reduções no estande observadas por esses autores, em todas as safras o aumento da dose de N elevou o rendimento de grãos. Sob outro ponto de vista, Cantarella (2007) afirma que a concentração de NH₃ na atmosfera do solo advindo da ureia pode ser a causar de tal toxidez. Sangoi et al. (2009) observaram menor germinação quando aplicou doses de N maiores que 50 kg ha⁻¹ em Nitossolo Vermelho, Argissolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico. Esse efeito de inibição só não se repetiu no Cambissolo Húmico álico. Os autores, também afirmam que a menor germinação de sementes pode ter sido causada pela volatilização de NH₃, pois à medida que se aumentou a dose dos fertilizantes houve um aumento na condutividade elétrica, porém o aumento foi menor quando utilizou a ureia do que o sulfato de amônio que é menos salino. Afinal, a toxidez

das plantas é causada pela liberação da NH_3 na atmosfera do solo, que entra em contato com a semente ou devido à salinidade do fertilizante?

Visando responder essa questão, nosso objetivo por meio desse trabalho foi avaliar os efeitos tóxicos da ureia de liberação controlada sobre a germinação e crescimento inicial da planta de milho em solo com texturas distintas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Os tratamentos foram formados pela combinação de 10 tipos de fertilizantes nitrogenados, quatro doses de nitrogênio e dois solos.

Os fertilizantes utilizados foram: nitrato de amônio (NA: 32% de N), nitrato duplo de sódio e potássio (NNAK: 15% de N e 14% de K₂O), sulfato de amônio (SA: 20% de N), ureia perolada (U46: 46% de N), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB: 44,6% de N, 0,4% de B e 0,15% de Cu), ureia revestida com enxofre (US: 37% de N e 17% de S), ureia revestida com enxofre e polímero (USP34: 34 % de N e 24% de S; USP37: 37 % de N e 16% de S; USP39: 39 % de N e 8,3% de S) e ureia revestida com camada tripla de polímero (UP43: 43% de N).

As doses de N foram equivalentes a 20, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹, que correspondem a aplicação de 1,0; 3,0; 6,0 e 12 g m⁻¹ de sulco considerando-se um espaçamento entre linhas de 0,5 m. Assim, em cada vaso foram aplicados 380, 1.140, 2.280 ou 4.560 mg de N.

Foram utilizadas amostras de solo com granulometria menor do que 4 mm de um Latossolo Vermelho de textura muito argilosa e de um Latossolo Amarelo de textura franco-arenosa. As características físicas e químicas na TFSA dos dois solos são apresentadas no Quadro 1. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições.

Quadro 1 – Características física e química dos solos utilizados no experimento

Características	Latossolo Vermelho	Latossolo Amarelo
Argila (kg kg^{-1}) ^{1/}	0,62	0,16
Capacidade de campo (kg kg^{-1}) ^{2/}	0,34	0,15
pH em água ^{3/}	6,50	6,00
P (mg dm^{-3}) ^{4/}	1,50	0,50
K (mg dm^{-3}) ^{4/}	47,00	5,00
Ca ²⁺ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ^{5/}	0,59	0,22
Mg ²⁺ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ^{5/}	0,16	0,01
S (mg dm^{-3}) ^{6/}	49,70	11,50
H+Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ^{7/}	2,60	1,00
CTC ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ^{7/}	3,69	1,25
P-remanescente (mg L^{-1}) ^{8/}	10,50	23,10
Matéria orgânica (dag kg^{-1}) ^{9/}	1,04	0,39

^{1/}EMBRAPA (1999) modificado por Ruiz (2005); ^{2/}Ruiz (2004). ; ^{3/}Relação solo:solução 1:2,5; KCl 1 mol L⁻¹; ^{4/}Extrator Mehlich 1.; ^{5/}Extrator KCl 1 mol L⁻¹.; ^{6/}Hoeft et al. (1973) Extrator Fosfato Monocálcico em Ácido Acético.; ^{7/}Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0.; ^{8/}Equilíbrio do solo com solução (relação 1:10) de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹ com 60 mg L⁻¹ de P e ^{9/}Walkley-Black, de acordo com Defelipo & Ribeiro (1997):

A unidade experimental foi um vaso plástico com capacidade para 3 dm³. O vaso recebeu uma camada de 6 cm de solo, sobre a qual foi distribuído o fertilizante nitrogenado em um círculo com perímetro de 38 cm (Figura 1). Junto ao fertilizante nitrogenado aplicou-se 2,28 g de P₂O₅ (superfosfato simples), equivalendo a 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Sobre os fertilizantes acrescentou-se uma camada de 1,5 cm de solo e sobre essa se instalou no sentido do diâmetro do vaso, um tubo plástico com diâmetro interno de 3 mm e 19 cm de comprimento, com a parede perfurada. Em uma das extremidades do tubo, externa ao vaso (1 cm), foi acoplada uma agulha hipodérmica. Adicionou-se mais uma camada de 1,5 cm de solo, sobre a qual foram distribuídas, também de forma circular, 10 sementes de milho (híbrido triplo precoce BG 7049H[®]), que foram cobertas por uma camada de 3 cm de solo.

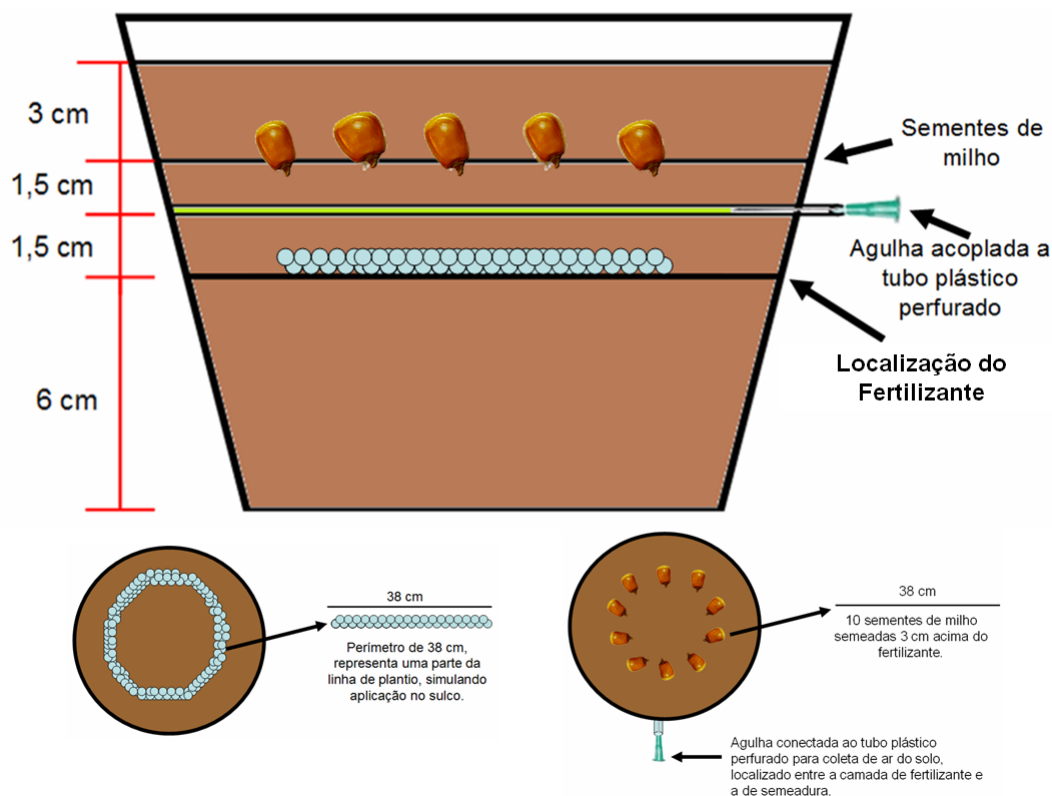


Figura 1 – Esquema da estruturação de uma unidade experimental e em detalhe a forma de distribuição do fertilizante e da semente.

Após a sementeira, o teor de água foi elevado a 70 % da capacidade de campo, o qual foi monitorado pela variação de massa das unidades experimentais com a aplicação de água deionizada. A partir da sementeira e a cada dois dias, foram obtidas amostras de ar da atmosfera da camada de solo entre o fertilizante e a semente até o 14º dia. Para tal, succionaram-se 600 mL de ar por meio de uma seringa com capacidade de 60 mL, acoplada à extremidade do tubo inserido no solo. O ar extraído foi injetado em 25 mL de solução de H_3BO_4 20 g L^{-1} . O teor de NH_3 foi determinado, indiretamente, por meio de titulação potenciométrica com HCl $0,1522 \text{ mol L}^{-1}$ em pH 4,0.

No décimo dia após a sementeira, contaram-se as plântulas emergidas, isto é, as que apresentaram o cotilédone sobre a superfície do solo. No décimo sexto dia avaliou-se a intensidade do dano causado às plantas pelos fertilizantes, com notas de 0 a 5 de acordo com a severidade dos sintomas de toxidez, conforme os critérios descritos no quadro 2.

Quadro 2 – Alterações no crescimento das plantas caracterizando as notas e níveis dos sintomas de toxidez

Sintoma de toxidez		Descrição das alterações
Notas	Nível	
0	Sem sintoma	Plantas com crescimento normal, sem danos perceptíveis.
1	Muito leve	Plantas com crescimento normal, mas folhas com pontos amarelados.
2	Leve	Plantas com menor crescimento e com clorose foliar.
3	Média	Plantas com crescimento reduzido, clorose generalizada das folhas com início de necrose.
4	Intensa	Plantas com crescimento reduzido, folhas com clorose generalizadas e intensa necrose.
5	Severa	Plântulas não emergidas, ou emergidas com intensa necrose ou plântulas mortas.

Aos dezoito dias após a semeadura realizou-se o corte das plantas rente ao solo, e as raízes foram removidas e lavadas. Todo o material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada de ar (65 ± 1 °C até massa constante) e pesado. Depois de moído até granulometria menor que 1 mm, o material vegetal foi analisado para determinação do teor de N total por meio do método Kjeldahl (Galvani & Gaertner, 2006). Com base nos teores de N e das massas de matéria seca estimaram-se os conteúdos de N total absorvido pelas plantas. Foram coletadas amostras da camada de solo entre o fertilizante e a semente (18 dias após a semeadura), que depois de secas e peneiradas (< 2,0 mm) foram utilizadas para a determinação de pH e da condutividade elétrica na relação solo:água de 1:2,5.

Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o software SISVAR 6.0 (Ferreira, 2011). As variáveis respostas foram relacionadas aos fatores por meio de regressão, que foram selecionadas de acordo com o maior valor do coeficiente de determinação e significância ($p < 0,05$) dos coeficientes da regressão. As equações foram comparadas por meio do teste de identidade de modelos ($p < 0,05$) para aferir sua significância. Para os casos onde não houve ajuste de regressão, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS

Aos 10 dias após a semeadura no LV argiloso constatou-se, em média, $96 \pm 3,2$ % plantas emergidas, enquanto no LA franco-arenoso foram $93 \pm 5,2$ %. No entanto, desde a emergência observou-se a evolução de sintomas visuais de toxidez, que intensificou-se por volta dos dez dias após a semeadura. A severidade dos sintomas de toxidez intensificou com o aumento das doses de N, sobretudo no solo franco-arenoso. No solo argiloso o maior índice de toxidez foi 3, caracterizado como toxidez média (Quadro 3). Esse nível foi observado com a aplicação de UCuB, US, UP43, NA e SA na dose de 240 kg ha^{-1} de N. Os demais fertilizantes, com essa dose de N, proporcionaram uma toxidez leve (nota 2). A aplicação desses fertilizantes, com a exceção da UCuB, no solo franco-arenoso causaram às plantas uma toxidez média com a dose de apenas 20 kg ha^{-1} de N. Os fertilizantes US, UP43, NA e o SA na dose de 240 kg ha^{-1} de N causaram toxidez severa (nota 5) e levaram a morte das plântulas. O nitrato duplo de sódio e potássio (NNaK) causou os menores níveis de toxidez em ambos os solos (Quadro 3).

Quadro 3 – Níveis de toxidez caracterizado visualmente 16 dias após a semeadura de milho de acordo com quatro doses de N, utilizando ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA), em solo argiloso ou franco-arenoso

Dose (kg ha ⁻¹ de N)	-----Fertilizantes nitrogenados-----									
	U46	UCuB	US	USP34	USP37	USP39	UP43	NA	NNaK	S A
Latossolo Vermelho argiloso.....									
20	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1
60	2	2	2	1	2	2	2	2	1	3
120	2	2	2	1	2	2	2	2	1	3
240	2	3	3	2	2	2	3	3	1	3
Latossolo Amarelo franco-arenoso.....									
20	2	2	3	2	2	2	3	3	0	3
60	2	3	3	3	2	3	3	3	1	3
120	3	4	3	3	3	5	4	4	2	3
240	4	5	5	4	3	5	5	5	2	5

¹Notas de toxidez: 0: plantas com crescimento normal, sem danos perceptíveis; 1: plantas com crescimento normal, mas folhas com pontos amarelados; 2: plantas com menor crescimento, mas com clorose foliar; 3: plantas com crescimento reduzido e clorose generalizadas das folhas com início de necrose; 4: plantas com crescimento reduzido, folhas com clorose generalizada e intensa necrose; 5: plantas não emergida ou emergidas com necrose intensa ou plântulas mortas.

No solo argiloso, independentemente da dose, a U46 proporcionou uma toxidez leve (nota 2) às plantas, enquanto no solo franco-arenoso a toxidez foi leve com dose inferior a 60 kg ha⁻¹ de N. No entanto, nas doses de 120 ou 240 kg ha⁻¹ de N a toxidez foi média (nota 3) ou intensa (nota 4), respectivamente. Na figura 2 são apresentados os aspectos visuais das plantas de milho que receberam notas de 0 a 5, conforme a severidade visual da toxidez.

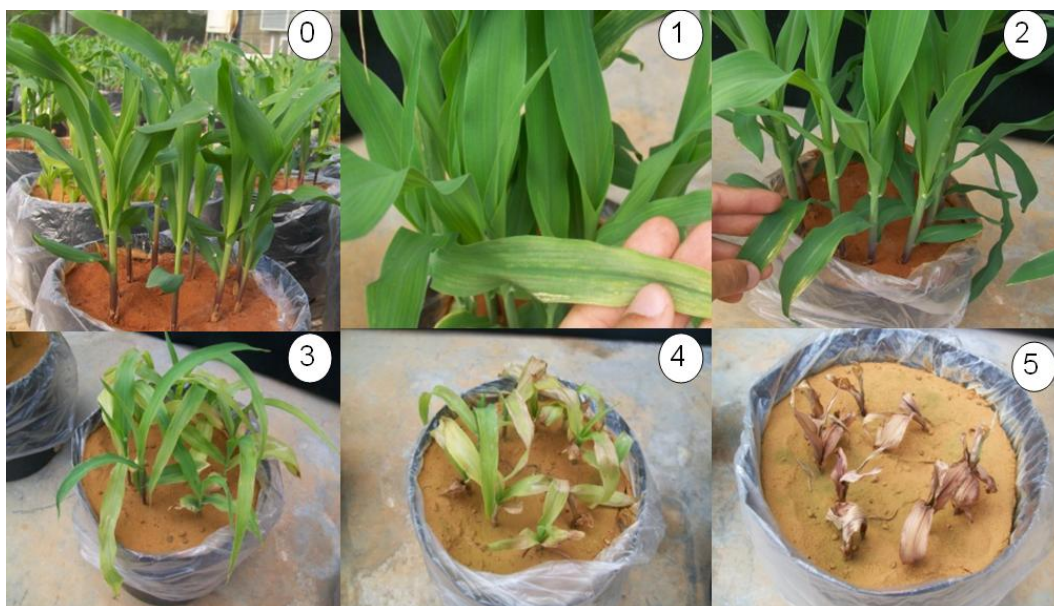


Figura 2 – Notas atribuídas aos sintomas de toxidez: 0: plantas com crescimento normal, sem danos perceptíveis; 1: plantas com crescimento normal, mas folhas com pontos amarelados; 2: plantas com menor crescimento, mas com clorose foliar; 3: plantas com crescimento reduzido e clorose generalizadas das folhas com início de necrose; 4: plantas com crescimento reduzido, folhas com clorose generalizada e intensa necrose; 5: plantas não emergida ou emergidas com necrose intensa ou plântulas mortas.

A aplicação de 20 kg ha^{-1} de N na forma de U46 no solo argiloso foi o suficiente para limitar o crescimento das raízes, que independentemente da dose de N, acumulou, em média, $2,86 \text{ g/vaso}$ de matéria seca (Figura 3). Observou-se uma redução linear significativa ($p < 0,05$) no acúmulo de matéria seca na raiz com o aumento das doses de USP34, NA e NNaK, (Figura 3). Para os outros fertilizantes a redução na matéria seca acumulada nas raízes decresceu de forma curvilínea com o aumento da dose, especialmente até a dose de 60 kg ha^{-1} de N. No entanto, as plantas adubadas com a UP43 e, sobretudo, a USP37 e o NNaK produziram maior massa de raiz do que a U46 em toda a amplitude de doses aplicadas (Figura 3). A USP37, na dose de 20 kg ha^{-1} de N proporcionou o maior acúmulo de matéria seca nas raízes ($7,35 \text{ g vaso}^{-1}$).

No solo franco-arenoso o acúmulo de matéria seca na raiz foi de um modo geral menor em relação ao argiloso (Figura 3). Os fertilizantes U46, UCuB, US, USP39, UP43, NA e SA proporcionaram as menores quantidades de matéria seca nas raízes (de $1,09$ e $1,28 \text{ g/vaso}$), independentemente da dose (Figura 3). Não há diferenças significativas ($p < 0,05$) de matéria seca de raiz produzida com a aplicação desses fertilizantes. Com a aplicação da ureia convencional (U46) acumularam-se, em média, $1,27 \text{ g/vaso}$ de matéria seca nas raízes. Nesse solo com a aplicação de 20 kg ha^{-1} de N com USP37, o acúmulo de matéria seca na raiz foi

de 2,92 g/vaso, isto é, bem inferior ao observado no solo argiloso. Contrariando o que foi constatado no solo argiloso as formas de ureia USP34, USP37 e UP43 nas doses superiores a 60 kg ha⁻¹ de N apresentaram no LA franco-arenoso menor acúmulo de matéria seca na raiz do que a U46.

Assim como as diferentes formas de ureia, o NA e o SA, também, causaram no solo argiloso decréscimo na massa de raízes de acordo com o aumento da dose. O SA deprimiu ainda mais o crescimento das raízes do que o NA com doses de N entre 60 e 240 kg ha⁻¹ (Figura 3). Nesse solo, as raízes das plantas adubadas com NA tiveram significativamente ($p < 0,05$) maior produção de massa do que as das plantas adubadas com U46 até a dose de 120 kg ha⁻¹ de N. No LA franco-arenoso os acúmulos de matéria seca nas raízes pouco se diferenciam com aplicação do NA ou SA, obtendo-se 1,23 e 1,28 g vaso⁻¹, respectivamente, que foram estatisticamente similares àquele obtido com a U46 (1,28 g vaso⁻¹).

Em geral, o aumento das doses de fertilizantes nitrogenados reduziu o acúmulo de matéria seca da parte aérea, seguindo a mesma tendência verificada para as raízes (Figura 4). No LV argiloso, a US e a UCuB proporcionaram maior matéria seca na parte aérea do que a U46 com doses de N inferiores a 142 e 217 kg ha⁻¹, respectivamente.

As doses de N reduziram o acúmulo de matéria seca na parte aérea do milho no LA franco-arenoso, como observado para as raízes. Esse acúmulo foi menor, porém, há diferenças significativas na resposta obtida com a aplicação dos fertilizantes, visto que as equações ajustadas são significativamente diferentes ($p < 0,05$) (Figura 4). Apenas com a aplicação do NNaK é que se obteve produção similar àquela observada no solo argiloso.

A menor produção de matéria seca de raízes reduziu de forma marcante a absorção do N que foi, expressivamente, menor no LA franco-arenoso (Figura 5). Para os fertilizantes US, UCuB, USP39 no LV argiloso e o NNaK em ambos os solos, as quantidades de N absorvida com a dose de 20 kg ha⁻¹ variaram entre 381 e 442 mg que indicou recuperações de N similares ou superiores à quantidade aplicado por unidade experimental (380 mg). No entanto, com a dose de 240 kg ha⁻¹ as quantidades de N acumulada nas plantas variaram entre 200 e 300 mg, que corresponde de 4 a 7 % da quantidade aplicada (4.560 mg/vaso). A USP34 e a UP43, no solo argiloso, proporcionaram aumento na quantidade de N absorvido até a dose de 90 kg ha⁻¹, apesar de terem comprometido o crescimento das raízes mesmo com a aplicação das menores doses de N.

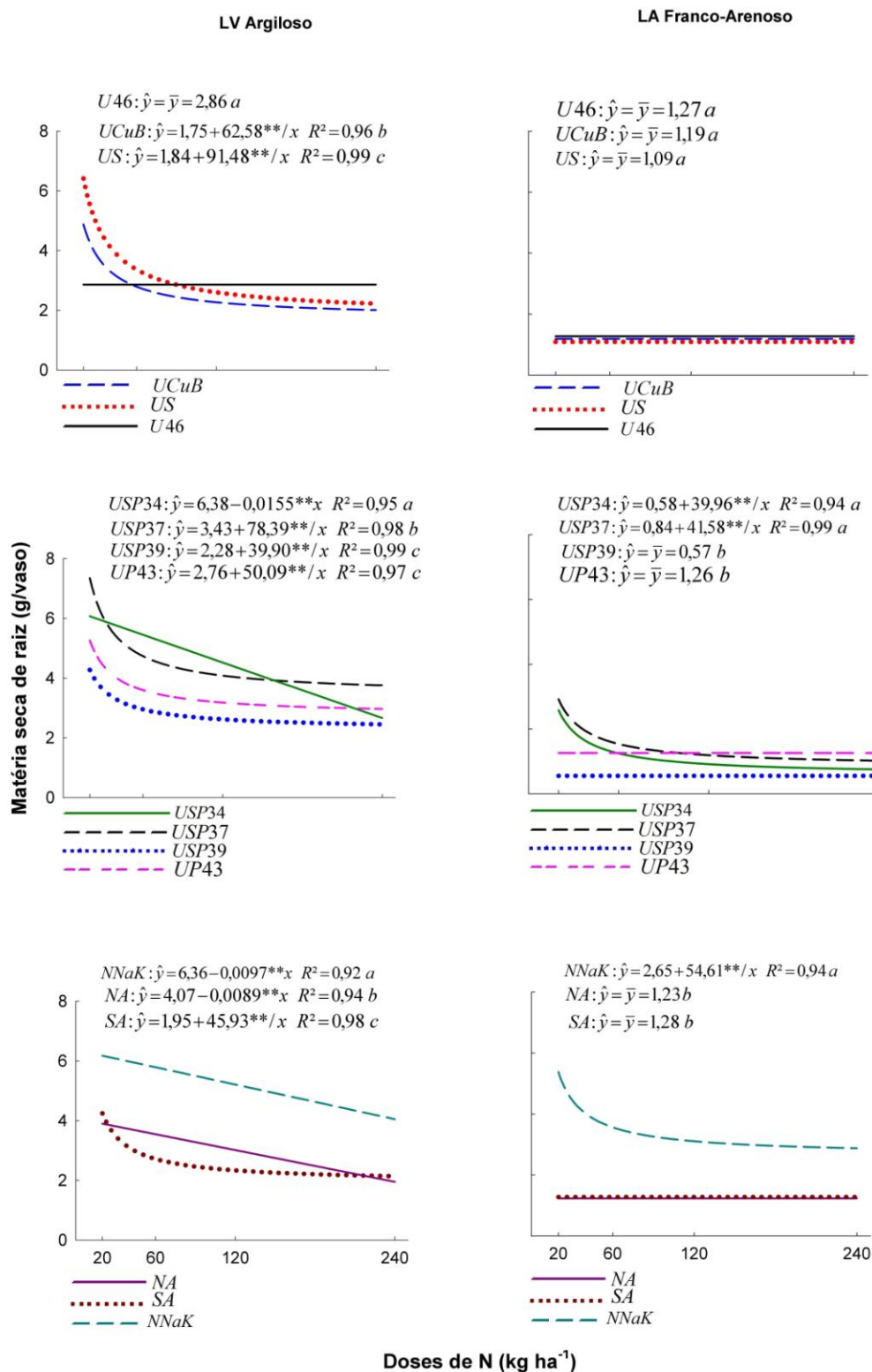


Figura 3 – Matéria seca de raiz das plantas de milho aos 18 dias após a semeadura, de acordo com as doses de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA). ** significativos ao nível 1 % de probabilidade. Equações seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si dentro do mesmo gráfico de acordo com o teste de identidade de modelo com $p \leq 0,05$. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si dentro do mesmo gráfico ao nível de $p \leq 0,05$ com teste de Tukey.

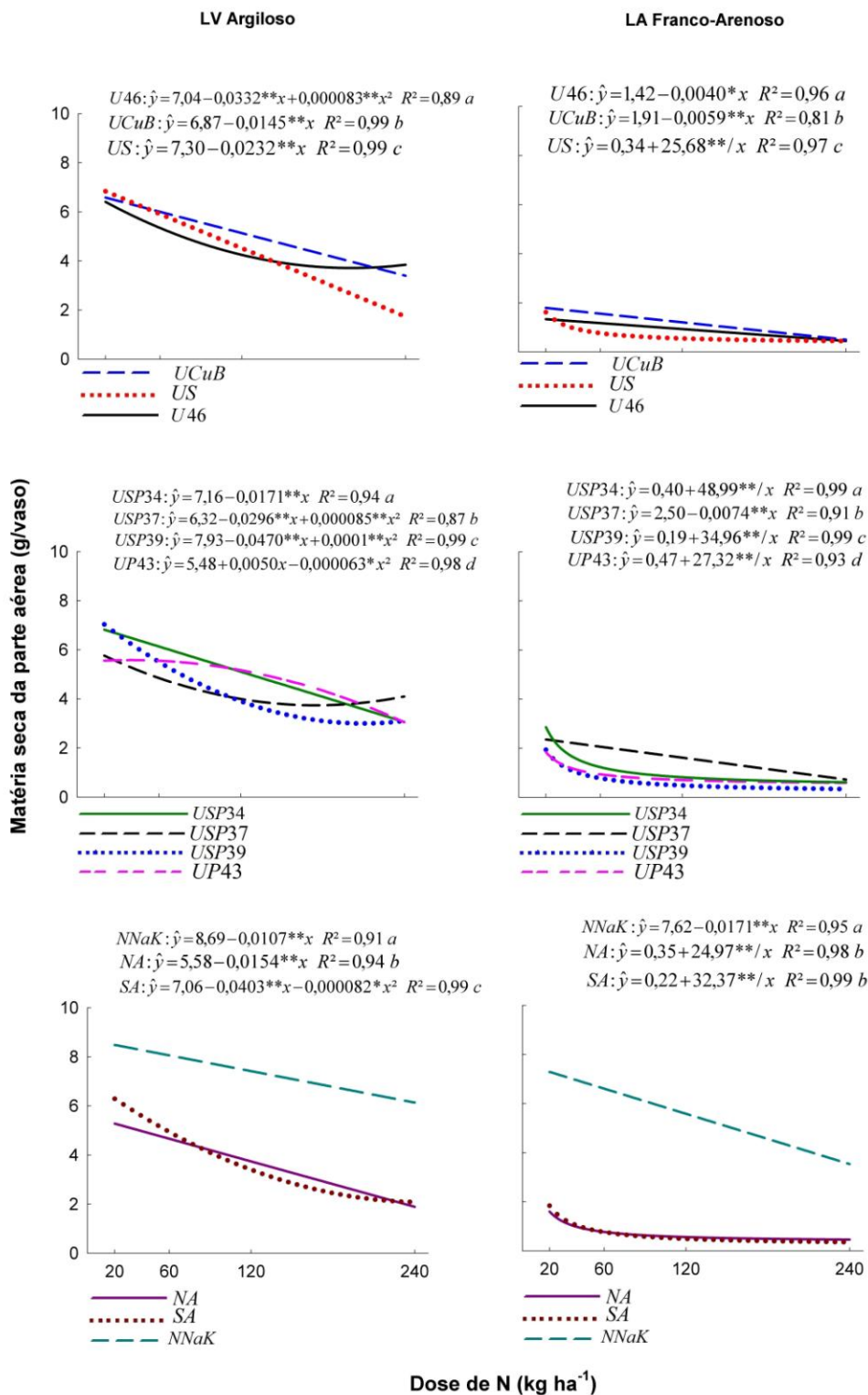


Figura 4 – Matéria seca da parte aérea das plantas de milho aos 18 dias após a semeadura, de acordo com as doses de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA). **, * significativos ao nível 1 e 5 % de probabilidade. Equações seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si dentro do mesmo gráfico de acordo com o teste de identidade de modelos a $p \leq 0,05$.

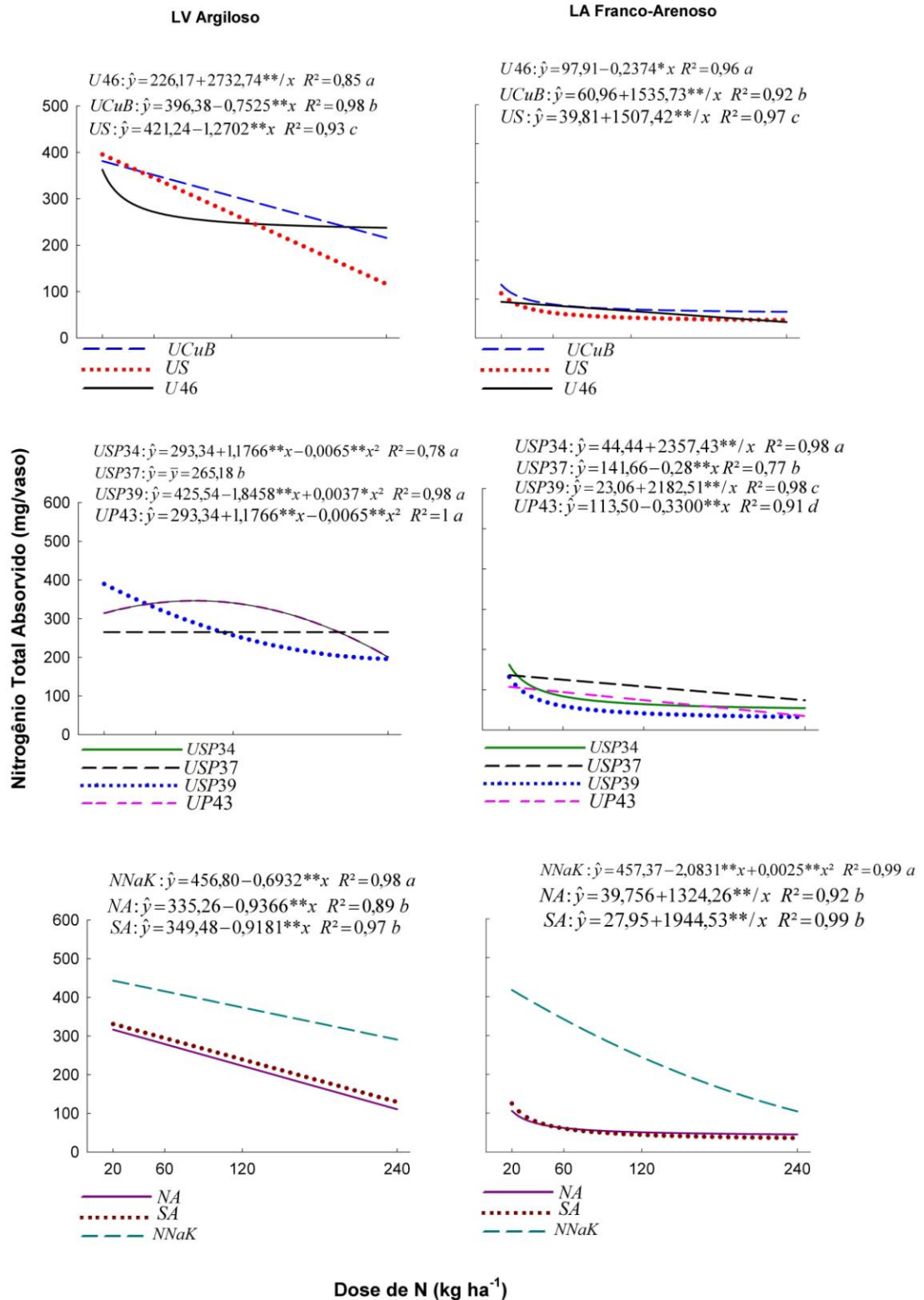


Figura 5 – Nitrogênio total absorvido pelas plantas de milho aos 18 dias de cultivo de acordo com as doses de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA). **, * significativos ao nível 1 e 5% de probabilidade. Equações seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si dentro do mesmo gráfico de acordo com o teste de identidade de modelos com $p \leq 0,05$.

A quantidade acumulada de N-NH₃ na atmosfera do solo argiloso aumentou linearmente com o aumento da dose de N quando se utilizou U46, US, USP37, UP43, NA e SA, enquanto, no solo franco-arenoso apenas US e USP39 ocasionaram aumento linear significativo (Figura 6).

No solo argiloso a UCuB proporcionou 1,9 mg de N-NH₃ na atmosfera do solo, independentemente da dose. A U46 proporcionou maiores quantidades de N-NH₃ do que a UCuB em doses superiores a 120 kg ha⁻¹ de N, alcançando 2,9 mg de N-NH₃ na dose de 240 kg ha⁻¹ (Figura 6). No entanto, no solo franco-arenoso a US foi a que condicionou maior quantidade de N-NH₃, alcançando com a maior dose 3,2 mg.

Entre as formas de ureia revestidas com enxofre e/ou polímeros, a USP34 foi a que condicionou independentemente da dose a menor quantidade de N-NH₃, que corresponderam a 1,44 e 1,65 mg no solo argiloso e franco-arenoso, respectivamente (Figura 6). Ela também foi a única que no solo argiloso liberou menor quantidade de N-NH₃ do que a U46 em dose superior a 50 kg ha⁻¹, embora no solo franco arenoso ela tenha liberado mais N-NH₃ do que a ureia convencional.

A USP39 proporcionou 3,36 mg de N-NH₃, independentemente da dose de N no solo argiloso e incrementos crescentes, atingindo 6,75 mg na dose de 240 kg ha⁻¹ de N no solo franco-arenoso, que corresponde a apenas 0,15 % do N aplicado (4.560 mg). No solo argiloso a USP37 e a UP43 ocasionaram incrementos lineares na quantidade de N-NH₃, sendo o aumento significativamente ($p < 0,05$) mais intenso com a UP43. Por outro lado, no solo franco-arenoso a USP37 e a UP43 produziram, independente da dose, 2,42 e 2,86 mg de N-NH₃, respectivamente.

O SA e o NNaK liberaram entre 1,29 e 2,40 mg de N-NH₃ no solo argiloso, diferindo-se significativamente ($p < 0,05$). No solo franco-arenoso, as médias de N-NH₃ não se diferem significativamente quando foram aplicados SA e NNaK. As doses de NA propiciaram aumentos significativos ($p < 0,05$) na quantidade de N-NH₃ produzida no solo argiloso, alcançando-se 4,10 mg de N-NH₃ com a maior dose de N. No solo franco-arenoso essa quantidade foi igualmente expressiva (3,17 mg), independente da dose. Destaca-se que, em termos gerais, o sulfato de amônio e as formas nítricas propiciaram maiores quantidades de NH₃ do que a ureia convencional.

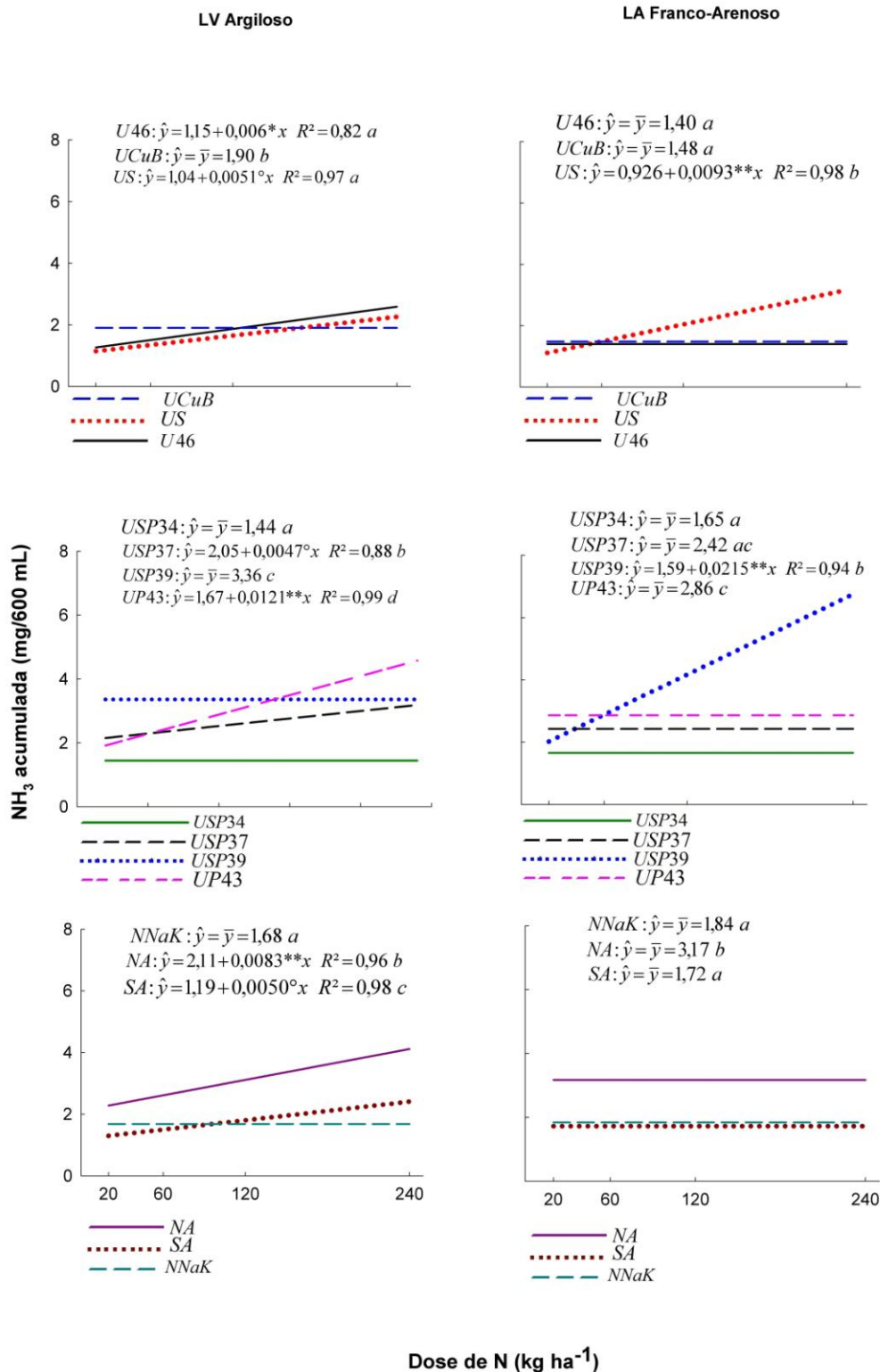


Figura 6 – Quantidade acumulada de NH₃ até o 14º dia após a semeadura do milho na atmosfera do solo de acordo com as doses de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA). **, *, ° significativos ao nível 1, 5 e 10 % de probabilidade. Equações seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si dentro do mesmo gráfico de acordo com o teste de identidade de modelos com $p \leq 0,05$. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si dentro do mesmo gráfico ao nível de $p \leq 0,05$ com teste de Tukey.

No LV argiloso, o aumento das doses de U46, UCuB e US elevaram linearmente a condutividade (CE), com pequena amplitude de variação, de modo que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as equações de regressão ajustadas para essas três formas de ureia. No LA franco-arenoso a U46 favoreceu incremento na CE na mesma ordem de grandeza daquela verificada no solo argiloso, mas o incremento foi mais intenso até a dose de 60 kg ha^{-1} de N, tendendo a se manter estável com aplicação de doses mais elevadas. Nesse solo as doses de UCuB favoreceram aumento linear mais intenso na CE e a US não proporcionou aumento em função do aumento das doses de N.

No LV argiloso houve ajuste de regressão significativo na CE apenas com as doses de USP34 e de USP37, sendo que o incremento foi significativamente ($p < 0,05$) mais expressivo com a USP37. No LA franco-arenoso o USP34 e USP39 apresentaram respostas similares às aquelas observadas no solo argiloso, entretanto, os valores de CE desses fertilizantes no solo franco-arenoso foram mais elevados. A CE com a UP43 apresentou incremento linear significativo ($p < 0,05$), ocasionando, também, CE estimada mais elevada no solo franco-arenoso ($1,31 \text{ mS cm}^{-1}$) do que aquela no solo argiloso ($1,09 \text{ mS cm}^{-1}$). O menor nível de CE foi observado com o uso de USP39 no LV argiloso e UP43 no LA franco-arenoso.

O maior valor de CE foi obtido com a aplicação do NNaK na maior dose no solo argiloso (3 mS cm^{-1}) e com a dose de 210 kg ha^{-1} ($2,20 \text{ mS cm}^{-1}$) no solo franco-arenoso (Figura 7). O incremento da CE de acordo com as doses do SA também foram maiores no LV argiloso. As doses do NA proporcionaram incrementos lineares significativos na CE em ambos os solos, mas com intensidade menos expressiva que o SA e o NNaK.

A figura 8 apresenta a variação do pH na camada de solo entre a semente e os fertilizantes aplicados. No solo argiloso, a U46 manteve o pH do solo estável, não apresentando variação de acordo com o aumento da dose. Nesse mesmo solo, a US causa um ajuste curvilíneo com tendência de manter o pH em 6,8 nas doses maiores. O pH do solo aumentou linearmente, de maneira significativa, com o aumento das doses de UCuB. No solo franco-arenoso a U46 apresenta um ajuste linear inverso, onde é observado um intenso aumento do pH, principalmente entre as doses de 20 e 60 kg ha^{-1} de N, com tendência de manter valores próximo a 6,3 em doses maiores que 120 kg ha^{-1} de N. O pH não se elevou no solo franco-

arenoso com o aumento das doses de US e a UCuB proporcionou um incremento no pH, com ajuste quadrático.

A USP34, USP39 e UP43 elevam o pH para valores entre 6,5 e 7,0 no solo argiloso, nesse caso, não há diferença significativa ($p < 0,05$) entre os modelos ajustados para esses três fertilizantes. No franco-arenoso, a USP34 aumenta o pH de 5,56 para 5,83 entre as doses de 20 e 60 kg ha⁻¹ de N, apresentando pequena escala de variação em doses maiores, sendo que valor máximo alcançado foi de 5,93 na dose de 240 kg ha⁻¹ de N. O fertilizante USP37 causou aumento linear significativo ($p < 0,05$) do pH de acordo com o aumento da dose, em ambos os solos.

Os nitratos não alteraram o pH do LV argiloso com o aumento das doses de N, entretanto, diferem entre si significativamente ($p < 0,05$), sendo que o pH foi de 6,94 quando se utilizou NA e de 5,96 quando aplicou NNaK. No solo franco-arenoso o NA aumentou o pH para 6,17, independentemente da dose de N. Ao contrário do que foi observado no solo argiloso, o pH do LA franco-arenoso decresceu linearmente de acordo com o aumento da dose de NNaK. O SA causou diminuição do pH de 5,65 a 5,10 no solo argiloso e manteve em 5,28 para o solo franco-arenoso, independentemente da dose de N.

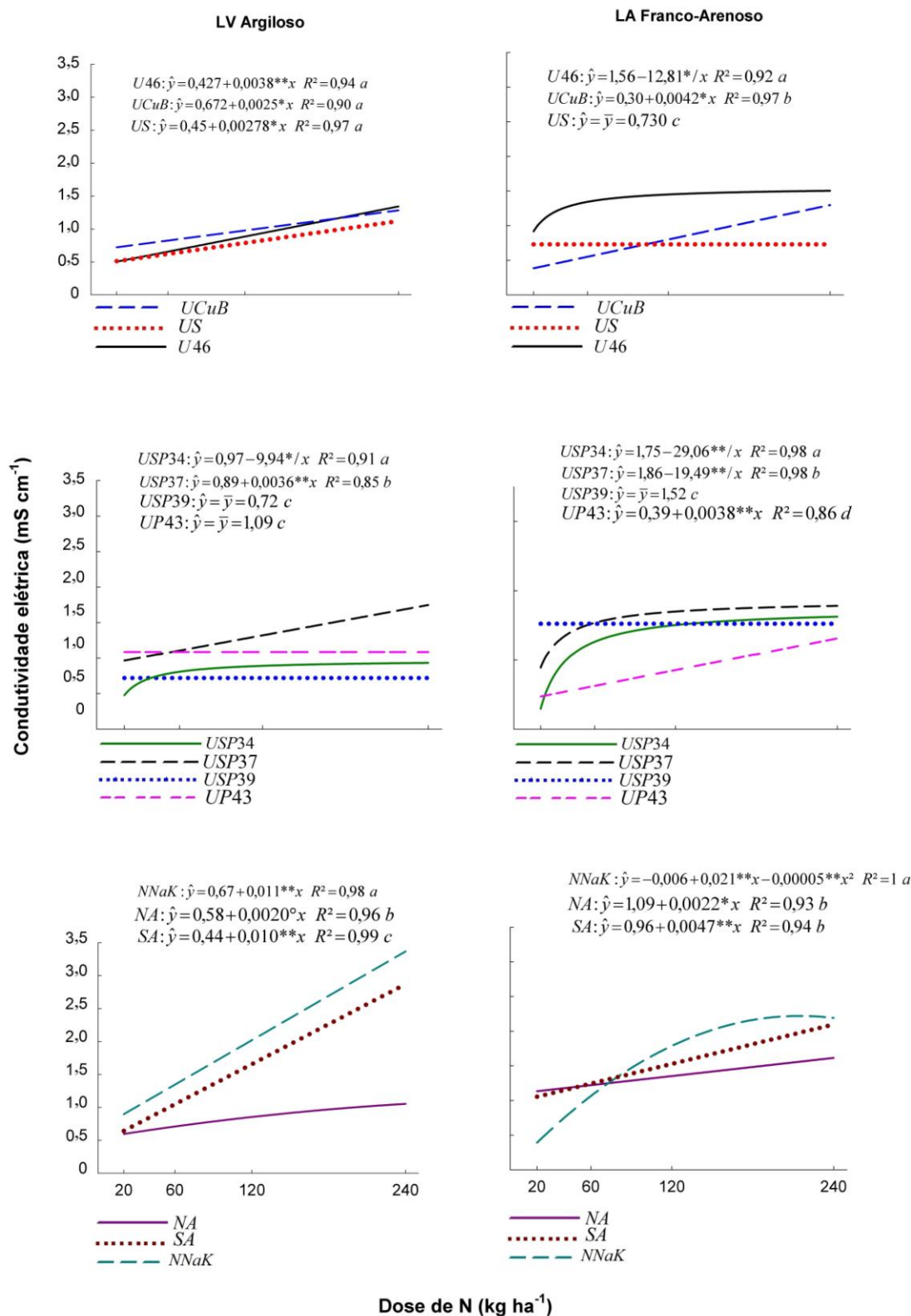


Figura 7 – Condutividade elétrica da camada de solo entre a semente e o fertilizante aos 18 dias após a semeadura do milho de acordo com as doses de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA). **, *, ° significativos ao nível 1, 5 e 10 % de probabilidade. Equações seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si dentro do mesmo gráfico de acordo com o teste de identidade de modelos com $p \leq 0,05$. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si dentro do mesmo gráfico ao nível de $p \leq 0,05$ com teste de Tukey.

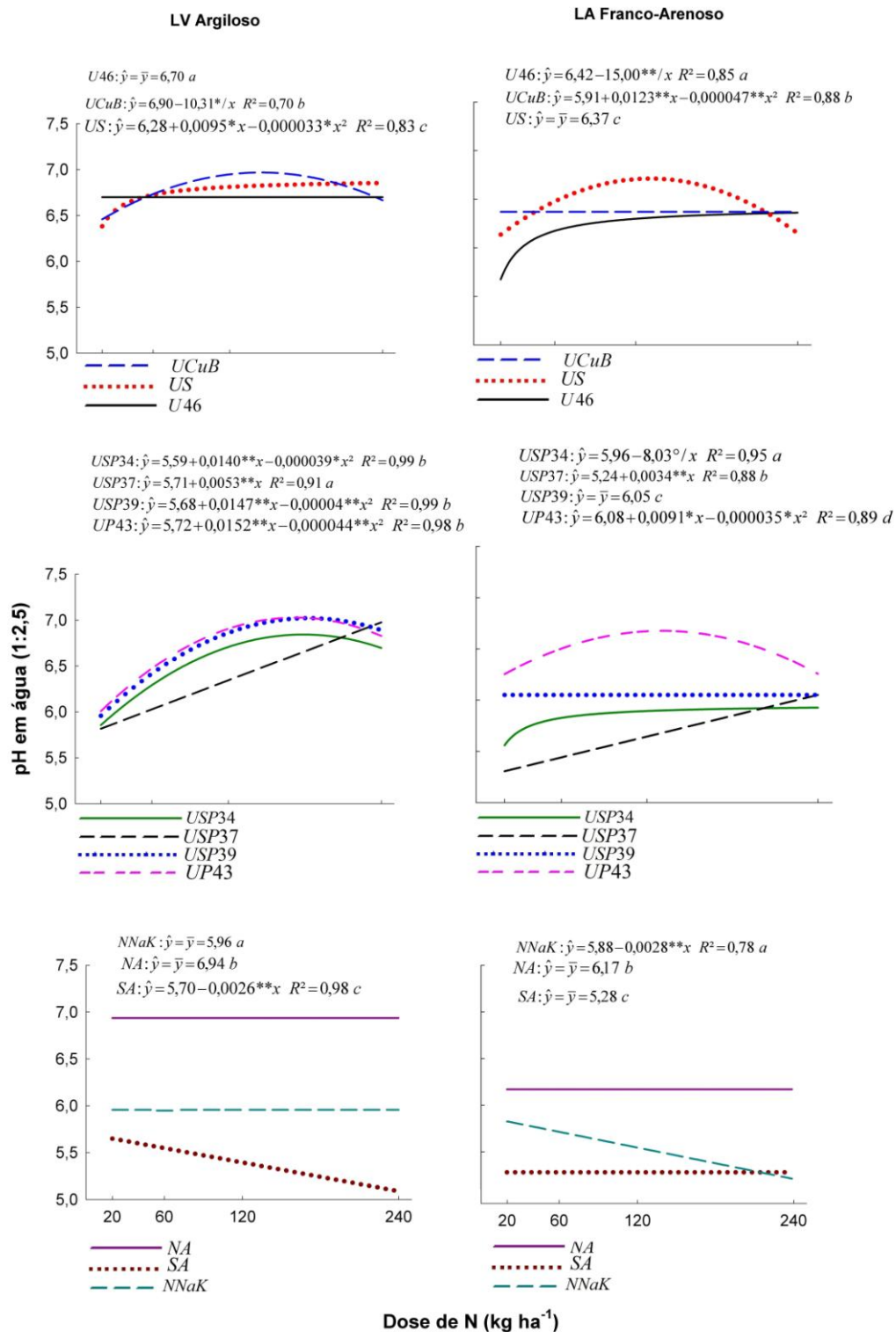


Figura 8 – Acidez ativa (pH) da camada de solo entre a semente e o fertilizante aos 18 dias após a semeadura do milho de acordo com as doses de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA). **, *, ° significativos ao nível 1, 5 e 10 % de probabilidade. Equações seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si dentro do mesmo gráfico de acordo com o testes de identidade de modelos com $p \leq 0,05$. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si dentro do mesmo gráfico ao nível de $p \leq 0,05$ com teste de Tukey.

DISCUSSÃO

Os fertilizantes não comprometeram a germinação das sementes, pois, mais de 90 % das plântulas emergiram. No entanto, a toxidez causada pelos fertilizantes evidenciou-se pelos sintomas perceptíveis nas plantas desde a emergência, e que culminaram aos dez dias após a semeadura. Ficou evidente que o solo de textura mais grosseira favoreceu a toxidez dos fertilizantes e que essa intensificou-se com o aumento da dose de N. Plantas cultivadas em solo de textura fina, por exemplo, apresentaram sintomas visuais de toxidez mais relevantes quando se aplicou a maior dose de N na forma de uréia (até mesmo com as revestidas) e de fertilizantes amoniacais (NA e SA), enquanto que no solo franco-arenoso, o mesmo sintoma ocorreu quando se aplicou a menor dose (20 kg ha^{-1} de N).

A expressão da toxidez concretizou-se, de fato, no sistema radicular das plantas, considerando que, de modo geral, ocorreu redução no crescimento das raízes com o aumento das doses dos fertilizantes. O menor crescimento das raízes comprometeu a absorção do N e, por conseguinte, o crescimento das plantas de milho.

Apesar dos efeitos negativos terem se intensificado com o aumento das doses dos fertilizantes, a dose equivalente a 20 kg ha^{-1} de N já foi suficiente para evidenciar diferenças entre os fertilizantes nitrogenados. Ressalta-se que essa é a dose usualmente aplicada na semeadura das culturas anuais, como na do milho. A limitação no crescimento das raízes aparentemente está mais relacionada à toxidez das concentrações de amônia do que à salinidade, pois, as fontes nítricas (nitrato de amônio e nitrato duplo de sódio e potássio) proporcionaram maior crescimento de raízes do que a ureia e o sulfato de amônio. Enquanto o índice salino da ureia é de 75 e o sulfato de amônio é de 69, o índice salino desses fertilizantes nítricos é da ordem de 100 (Alcarde, 2007).

De modo geral, o crescimento radicular das plantas de milho no solo argiloso na menor dose de N (20 kg ha^{-1}) foi maior, o que favoreceu a absorção de N. A quantidade de N absorvida, nessa dose variou entre 381 e 442 mg, valores superiores à quantidade inicialmente aplicada (380 mg). Quando essa dose de N é de 60 kg ha^{-1} , os efeitos negativos no sistema radicular são mais severos, de modo que a quantidade de N absorvida torna-se bem menos expressiva em relação à quantidade aplicada. No solo franco-arenoso, esse fato não ocorre, visto que a

menor dose já causou injúria radicular suficiente para afetar a capacidade de absorção de N.

A hipótese de que a salinidade foi menos relevante do que concentração de amônia na atmosfera do solo se confirma com os resultados obtidos com as maiores doses, em que o nitrato duplo de sódio e potássio, apesar de ser o que mais elevou a salinidade do solo, comprometeu menos o desempenho da planta (crescimento das raízes, absorção de N, síntese de compostos fotossintéticos e produção de biomassa) do que a ureia convencional e as formas de ureia revestidas.

As formas de ureia utilizadas nesse trabalho, a princípio, se enquadram no conceito de liberação controlada (Trenkel, 1997; Cantarella, 2007; Trenkel, 2010). Contrariando esse conceito, o comportamento desses produtos no solo e seus efeitos no crescimento e desenvolvimento do milho foram similares ao observado quando se utilizou a ureia convencional. Grande parte dos produtos liberou quantidades de amônia na atmosfera dos solos similares ou mesmo superiores às da uréia convencional. Deve-se destacar que os teores relativos de amônia na atmosfera do solo são desprezíveis quando comparados aos teores comumente encontrados em trabalhos cuja aplicação de uréia é realizada na superfície do solo. Quando incorporada, a ureia convencional pode apresentar eficiência agrônômica similar às formas revestidas e as fontes amoniacais.

Apesar de serem teores relativamente baixos, essas concentrações de NH_3 na atmosfera do solo, aparentemente, foram suficientes para causar redução do crescimento das plântulas, causando inclusive a morte poucos dias após a emergência. Devido à complexa dinâmica do N no solo, uma segunda hipótese seria que a NH_3 liberada pelos fertilizantes na atmosfera do solo transformou-se em NH_4^+ . Deste modo, a planta pode absorver quantidades excessivas desse íon, que pode ser acumulado nos tecidos e causar a toxidez. De um modo geral, as plantas absorvem NH_4^+ em maior quantidade nas fases iniciais de desenvolvimento e conforme vai se desenvolvendo, a absorção na forma nítrica é aumentada (Brown et al., 1983a; Brown et al., 1983b; Blackmer, 2000). Heinrichs et al. (2006) observaram que essa preferencialidade em relação ao íon absorvido pode variar conforme a cultura, sendo que, para o milho a maior absorção de N proveniente do fertilizante ocorreu sob a forma de NH_4^+ em aplicação de cobertura aos 10 dias após a semeadura, por outro lado, quando aplicados em semeadura não houve preferência.

O acúmulo de NH_4^+ nos tecidos causa toxidez, conforme relatam Marques et al. (1983). De acordo com Marenco & Lopes (2005) o excesso de NH_4^+ reduz a produção de ATP nos cloroplastos e nas mitocôndrias, por isso, deve ser rapidamente transformado em formas orgânicas ou armazenado nos vacúolos. Esses autores ainda salientam que o NH_4^+ , seja ele advindo do processo de absorção de nutrientes ou produzido em qualquer órgão da planta deve ser metabolizado para que evite o seu acúmulo nos tecidos vegetais.

O fato é que parte do nitrogênio liberado pela ureia por meio de sua hidrólise assume a forma gasosa de NH_3 , enquanto na solução do solo a planta encontra disponível o NH_4^+ advindo dessa reação. Em um solo bem drenado e com boa porosidade, esse íon é rapidamente transformado em nitrato pela ação microbiana, portanto, seria menos provável assumir essa segunda hipótese de que o NH_4^+ seja o responsável pela toxidez. Stark e Hart (1997) e Britto e Kronzucker (2002) reforçam que a predominância de NH_4^+ na solução do solo ocorre quando há o acúmulo de matéria orgânica, pH ácido, baixas temperaturas e condições de redução, ou seja, condições completamente contrárias às quais o experimento foi conduzido. É possível que a toxidez tenha sido causada por ambas as formas de N ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) e não somente pela sua forma gasosa de maneira isolada.

A USP34 e USP37, entre as formas de ureia revestidas, foram as que proporcionaram os menores teores de amônia na atmosfera do solo, o que sugere algum controle sobre a dissolução e, conseqüentemente, sobre a hidrólise da ureia. No entanto, esse controle não foi suficiente para evitar que a aplicação de altas doses de N na semeadura comprometessem o crescimento das plantas.

CONCLUSÕES

A liberação de NH_3 na atmosfera do solo e a presença de íons NH_4^+ advindos da hidrólise são os possíveis responsáveis pela redução do crescimento das raízes e morte de plântulas.

Os sintomas de toxidez são mais acentuados em solo franco-arenoso, levando a estagnação do crescimento e morte de plântulas após a emergência.

O nitrato duplo de sódio e potássio proporciona menor redução no crescimento do milho do que os fertilizantes amoniacais, portanto a toxidez em razão da salinidade é menor do que a toxidez pela NH_3 .

A ureia convencional incorporada apresenta eficiência agrônômica similar às formas de ureia revestida com enxofre ou Cu e B, assim como a ureia revestida com enxofre e polímeros.

LITERATURA CITADA

- ALCARDE, J.C. Fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 375-470.
- ANDA. Evolução do consumo aparente de N, P, K e Total de NPK no Brasil/Consumo aparente de fertilizantes e matérias-primas. 2012. Disponível em: <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>. Acesso em 2013.
- 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. Society*, 126: 3714-3715, 2004.
- BLACKMER, A. M. Soil fertility and plant nutrition: bioavailability of nitrogen. In: SUMMER, M. E. (Ed.). *Handbook of soil science*. New York: CRC Press, 2000.
- BRITTO, D.T.; KRONZUCKER, H.J. NH_4^+ toxicity in higher plants: A critical review. *J. Plant Phys.*, 159: 567-584, 2002.
- BROWN, R. H.; BOUTON, J. H.; RIGSBY, L. L.; RIGLER, M. Photosynthesis of grass species differing in carbon dioxide fixation pathways. VII. Ultrastructural characteristic of panicum species in the laxa group. *Plant Phys.*, 71: 425-431, 1983a.

- BROWN, R. H.; RIGSBY, L. L.; AKIN, D. E. Enclosure of mitochondria by chloroplasts. *Plant Phys.*, 71: 437-439, 1983b.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 375-470.
- DEFELLIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. *Análise química do solo*. Viçosa, MG: UFV, 1981. 17 p.
- EMBRAPA. *Manual de Análises Químicas, Plantas e Fertilizantes*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ci. & Agro.*, 35: 1039-1042, 2011.
- GALVANI, F. & GAERTNER, E. Adequação da Metodologia Kjeldahl para determinação de Nitrogênio Total e Proteína Bruta. Corumbá, MS: Embrapa. 2006. (Circular Técnica 63)
- HEINRICHS, R.; GAVA, G.J., CORAZZA, E.J., DUETE, R.R.C., VILLANUEVA, F.C.A.; MURAOKA, T. Forma preferencial de absorção de nitrogênio ($^{15}\text{NH}_4^+$ ou $^{15}\text{NO}_3^-$) pelas culturas de soja, feijão, arroz e milho. *Científica*, 34: 25-30, 2006.
- HOELFT, R.G.; WALSH, L.M. & KEENEY, D.R. Evaluation of various extractants for available sulfur. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37: 401-404, 1973.
- KIKUTI, H.; BASTOS DE ANDRADE, M.J.; GUEDES DE CARVALHO, J.; MORAIS, A.R. Nitrogênio e fósforo em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade cultivada BRS MG Talismã. *Ac. Scientiarum*, 27: 415-422, 2005.
- MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. *Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral*. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005, 451 p.
- MARQUES, I. A.; OBERHOLZER, M.J.; ERISMANN, K.H. Effects of different nitrogen sources on photosynthetic carbon metabolism in primary leaves of nonnodulated *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Phys*, 71: 555-561, 1983.
- NASCIMENTO, C.A.C. Ureia recoberta com S^o, Cu e B em soca de cana-de-açúcar colhida sem queima. 2012. 71 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 2012.

- OLIVEIRA, P.A.P.; ALVES, A.C.A.; MACEDO, F.B.; BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA, P.P.A.; ROCHETTI, R.C. Adição da Zeólita para redução da volatilização de amônia em solo fertilizado com uréia. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 55)
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005.
- RUIZ, H.A. Métodos de análises físicas do solo. UFV/DPS:Viçosa, MG, 2004, 22 p.
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; BIANCHET, P. Desenvolvimento inicial do milho em função de doses e fontes de nitrogênio aplicadas na semeadura. Biotemas, 22:53-58, 2009.
- SOUZA, D.M.G. & LOBATO, E. Adubação com Nitrogênio. In: SOUZA, D.M.G. & LOBATO, E. (Eds.). Cerrado: Correção do solo e adubação. 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.
- STARK J.M., HART S.C. (1997). High rates of nitrification and nitrate turnover in undisturbed coniferous forests. Nature, 385: 61–64.
- TRENKEL, M. E. Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.
- TRENKEL, M.E. Improving fertilizer use efficiency. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris, 1997.

CAPÍTULO II

DOSE COMPLETA DE N APLICADA NO SULCO DE PLANTIO DO MILHO COM UREIA DE LIBERAÇÃO CONTROLADA.

RESUMO

As formas de ureia de liberação controlada atualmente disponíveis no mercado podem ser uma alternativa que viabilize a aplicação de elevadas doses de nitrogênio no sulco de plantio, não sendo necessário realizar operações de cobertura após o plantio, reduzindo o custo de produção da cultura. O nosso objetivo com esse trabalho foi avaliar a possibilidade de aplicar elevadas doses de nitrogênio no sulco de plantio com ureia de liberação controlada. O experimento foi conduzido em campo na safra de 2012/13, em Argissolo Vermelho Amarelo de textura argilosa. Foram utilizados a combinação de sete tipos de ureia, duas doses de N e dois modos de aplicação dispostos em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os fertilizantes utilizados foram ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US) e ureia revestida com polímero (USP34, USP37, USP39 e UP43) aplicados nas doses de 120 ou 240 kg ha⁻¹ com uma cobertura ou a dose integral no sulco de plantio. A cobertura foi realizada superficialmente, em faixa, ao lado da linha de plantio, sendo colocada a distância de aproximadamente 15 cm em relação à planta. O milho apresentou respostas similares às formas de ureia de liberação controlada quando comparadas com a ureia convencional. A aplicação das doses de 120 ou 240 kg ha⁻¹ de N no sulco de plantio com o uso das diferentes formas de ureia não reduziu a germinação, crescimento e desenvolvimento da cultura.

Palavras-chave: polímero, revestida com enxofre, adubação nitrogenada.

FULL DOSE OF N APPLIED IN MAIZE PLANTING WITH CONTROLLED RELEASE UREA

ABSTRACT

The controlled release urea forms in the marketplace can be an alternative that makes possible the application of high doses of nitrogen at planting, not have the need for hedging, this fact reduces the production cost of crop. We objective was evaluate the possibility of perform the full nitrogen fertilization at planting with controlled release fertilizers. The experiment was conducted under field in the 2012/13 harvest. This area is clayey red-yellow Ultissol. There are in these experiment the combination of the seven fertilizers, two N doses and two modes of application. The experimental design was randomized block with four repetitions. The sources of N was pearly urea (U46), copper sulphate and boric acid coated urea (UCuB), Sulfur coated urea (US) and polymer-coated urea (USP34, USP37, USP39 and UP43) applied at doses of 120 or 240 kg ha⁻¹ in one cover or full in planting. The split was applied on the soil surface, in strip, beside the row, being placed at a distance of approximately 15 cm from the plant. The maize crop showed similar response to the urea forms of controlled release when compared with pearly urea. The application of 120 or 240 kg ha⁻¹ in the planting with different urea forms is possible, because this practice do not reduces the germination, growth and development of crop.

Key-words: polymer, coated, sulfur coated, nitrogen fertilization.

INTRODUÇÃO

O nitrogênio no Brasil é largamente comercializado na forma de ureia para o uso na agricultura (ANDA, 2011). As perdas de N por meio dos processos de volatilização de NH_3 e lixiviação de NO_3^- são preocupantes e levam a indústria buscar novos métodos de aumentar a eficiência de utilização desse fertilizante (Christianson, 1988; Trenkel, 1997; Cantarella, 2007; Trenkel, 2010). As perdas de N por volatilização de NH_3 podem chegar a 80% quando aplicado superficialmente na forma de ureia (Lara Cabezas et al., 1997). A incorporação na profundidade entre 5 e 7 cm é a maneira mais eficiente de reduzir perdas, independentemente da fonte utilizada (Lara Cabezas et al., 2000).

Entre os métodos atualmente empregados, destaca-se o uso de revestimentos ou cápsulas de polímeros. Estas são agregadas sobre o grânulo de ureia, para proteger o fertilizante contra rápida hidrólise e as transformações de NH_4^+ para as formas de NH_3 ou NO_3^- , passíveis de perdas por volatilização e lixiviação (Oertli, 1980; Shaviv & Mikkelsen, 1993; Trenkel, 1997; Shaviv, 2000; Simonne & Hutchinson, 2005; Trenkel, 2010). Essas novas tecnologias podem propiciar a adoção de práticas como o fornecimento de doses superiores a 100 kg ha^{-1} de N no momento do plantio, uma vez que tal tecnologia visa controlar o tempo de liberação do nutriente para o solo, em sincronia com o desenvolvimento da cultura.

Como não há legislação que regule a produção e comercialização de ureia revestida e encapsulada por polímero, não existe denominação oficial para designar esses produtos. Segundo Hall (2005), a Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO) adota o termo Enhanced-Efficiency Fertilizers. Esse termo pode ser compreendido como Fertilizantes de Eficiência Aumentada, que engloba um grupo de fertilizantes com características especiais. Nessa classe de fertilizantes destaca-se o grupo dos fertilizantes de liberação controlada. Trenkel (2010) qualifica como liberação controlada o fertilizante que contém o nutriente em uma forma que atrasa a sua disponibilidade para absorção pelas plantas e tenha seu uso prolongado após a aplicação ou que estenda sua disponibilidade de forma significativa quando comparado a fontes solúveis. O recobrimento da ureia pode ser realizado por meio de polímeros inorgânicos, orgânicos e sintéticos. Essas substâncias são derivadas, na sua maioria, de poliamidas, enxofre elementar (Ferreira, 2012), micronutrientes como cobre e

boro (Nascimento, 2012), ácidos húmicos, carvão oxidado (Guimarães, 2011; Paiva et al., 2012) ou outros aditivos.

A ureia revestida com enxofre é o produto mais antigo no mercado. Esta é utilizada na produção de plantas ornamentais desde os anos de 1960. Novos revestimentos à base de minerais e polímeros surgiram na última década (Furuta et al., 1967; Lunt, 1968; Peacock & DiPaola, 1992; Shaviv, 1999). Estudos em que se utilizaram ureia revestida com enxofre no pré-plantio de culturas agrícolas evidenciam a possibilidade de aplicar 100 % da dose de N no plantio (Wilcox, 1973; Liegel & Walsh, 1976; Locascio et al., 1978; Clay et al., 1984; Wiedenfeld, 1986; Albrechts et al., 1991). Na maioria dos casos, os autores não obtiveram crescimento significativamente diferente em relação a aplicação da dose completa no sulco de plantio ou parcelada com fontes solúveis.

A liberação da ureia revestida com enxofre (S) é influenciada pela temperatura e umidade do solo, atividade dos microrganismos e características do revestimento (Jarrell & Boersma, 1980). Logo, imperfeições, trincas ou rachaduras no revestimento, advindas do processo de fabricação, transporte ou manuseio do fertilizante podem levar a liberação relativamente mais rápida do N para o solo. Além da proteção física, o S-elementar apresenta oxidação ácida, o que poder reduzir a volatilização de NH_3 que é mais acentuada quanto maior for o pH na região próxima ao grânulo do fertilizante. Durante o processo de oxidação do S-elementar para sulfato há produção de ácido sulfúrico, que, se acumulado em altas concentrações, inibe a atividade dos microrganismos (Fox et al., 1964; Barrow, 1971).

Entre as novas tecnologias que envolvem a ureia na última década, está o revestimento dela com sulfato de cobre e ácido bórico. Os minerais cobre e boro inibem a ação da urease por competição ao sítio de ligação na enzima (Nascimento, 2012). A inibição da hidrólise da ureia pela urease acontece devido à ligação do Cu aos grupos sulfidríla dessa enzima, formando sulfitos insolúveis. O ácido bórico (H_3BO_3) se encaixa simetricamente entre os dois átomos de Ni do sítio ativo da urease, de forma geometricamente semelhante ao substrato ureia (Shaw, 1954; Benini et al., 2004).

O revestimento com enxofre aparentemente tem-se mostrado mais eficiente em relação aos demais, visto que as fábricas de fertilizantes têm investido mais nesse tipo de revestimento. Para aumentar a eficiência e qualidade do revestimento, a indústria inovou a produção desse tipo de fertilizante aderindo

sobre a camada de enxofre uma camada de polímero. A ureia também pode ser encapsulada com uma ou mais camadas de polímeros, sem o uso de enxofre sobre o grânulo. Nesse caso, a liberação de N depende das características do revestimento e da temperatura do solo (Christianson, 1988).

Nosso objetivo foi avaliar a possibilidade de aplicar a dose integral de nitrogênio no sulco de plantio do milho com ureia de liberação controlada.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização da área experimental e características do local

O experimento foi conduzido em campo na safra de 2012/13, sendo essa área localizada no Campo Experimental “Professor Diogo Alves de Mello”, do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, a altitude de 651 m, latitude de 20°46’ 05” S e longitude de 42°52’09” W. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa-mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos secos e umidade relativa média anual do ar de 80%, temperatura média anual de 21 °C, média das temperaturas máximas de 26,1 °C e das mínimas de 14,0 °C e precipitação pluvial média anual de 1.341 mm (Vianello & Alves, 1991). O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, cuja análise química e granulométrica são apresentadas no quadro 1.

Quadro 1 – Características química e granulométrica do solo da área experimental

Características	Argissolo Vermelho Amarelo
Análise textural (kg kg⁻¹)^{1/}	
Areia grossa	0,090
Areia fina	0,180
Silte	0,180
Argila	0,550
Análise Química^{2/}	
pH em água (1:2,5)	5,09
pH em KCl (1:2,5)	4,29
P (mg dm ⁻³) ^{3/}	35,60
K (mg dm ⁻³) ^{3/}	123,00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{4/}	2,84
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{4/}	0,28
S (mg dm ⁻³) ^{5/}	8,40
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{4/}	0,29
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ^{6/}	8,20
CTC (cmol _c dm ⁻³) ^{7/}	11,27
P-remanescente (mg L ⁻¹) ^{8/}	27,40
Matéria orgânica (dag kg ⁻¹) ^{9/}	3,06

^{1/} EMBRAPA (1999) modificado por Ruiz (2005); ^{2/} Defelipo & Ribeiro (1997); ^{3/} Extrator Mehlich 1.; ^{4/} Extrator KCl 1 mol L⁻¹.; ^{5/} Hoefl et al. (1973) Extrator Fosfato Monocálcico em Ácido Acético.; ^{6/} Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0.; ^{7/} Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0.; ^{8/} Alvarez V. et al. (2000) e ^{9/} Walkley-Black.

A precipitação pluvial e temperatura média diária (Figura 1) do período em que foi conduzido o trabalho foram obtidas na Estação Meteorológica Principal de Viçosa, que é ligada ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do Ministério da Agricultura. A estação climatológica está localizada a altitude de 698 m, latitude de 20°45' 45" S e longitude de 42°51' 50" W.

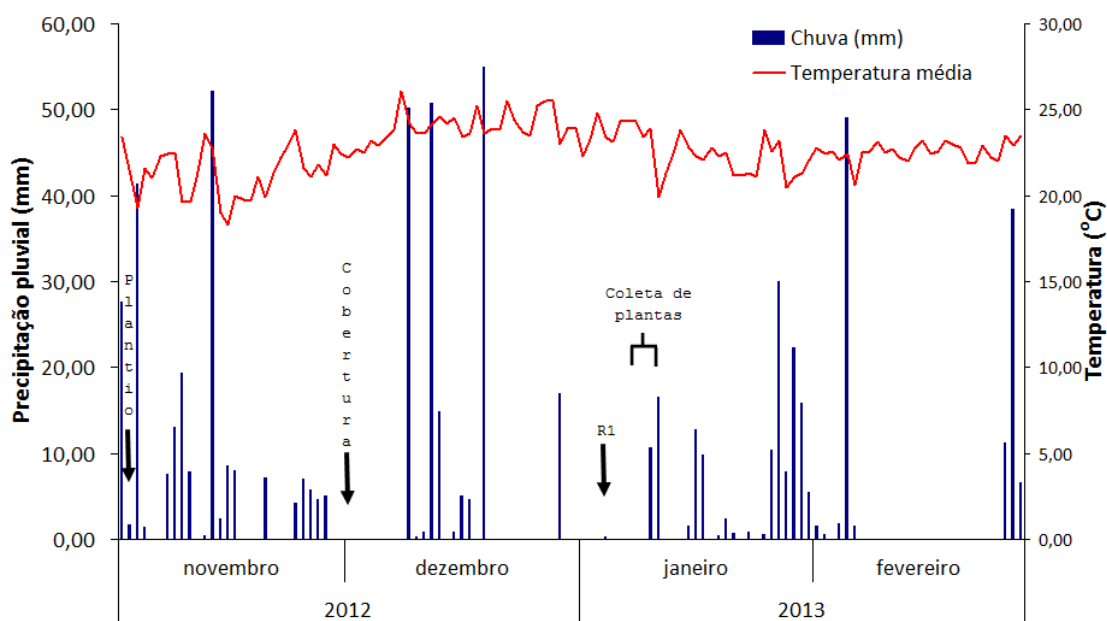


Figura 1 – Distribuição de chuvas e temperatura média durante o cultivo do milho em Viçosa-MG.

A chuva teve distribuição bastante irregular durante o período experimental. Até o florescimento (Figura 1) a precipitação acumulada foi de apenas 397,30 mm.

Instalação do Experimento e Delineamento Experimental

Os tratamentos são formados pela combinação de duas doses de N (120 e 240 kg ha⁻¹), dois modos de aplicação e sete formas de ureia. As doses foram estipuladas de acordo com a produtividade de grãos esperada, conforme sugerido por Souza e Lobato (2004).

Os modos de aplicação foram: dose no sulco de plantio + 1 cobertura (20 kg ha⁻¹ no plantio + 100 kg ha⁻¹ em cobertura e 20 kg ha⁻¹ no plantio + 220 kg ha⁻¹ em cobertura); e toda a dose no sulco de plantio. Foram utilizados sete tipos de ureia comerciais; uma ureia perolada convencional e seis tipos de ureia de liberação controlada.

A ureia perolada convencional (U46) não apresenta qualquer tipo de proteção, tem 46% de N e coloração branca. A UCuB é revestida com uma camada mais interna de sulfato de cobre (0,15%) que dá sua coloração azulada e uma camada externa de 0,4% de ácido bórico, tem 44,6% de N. A US é revestida com 17% de enxofre elementar que é pulverizado sobre o grânulo dando

coloração amarelada e apresenta 37% de N. A USP34 (34% de N e 24% de S) e a USP37 (37% de N e 16% de S) são revestidas por uma camada externa de polímero e uma camada interna de enxofre elementar, ambas apresentam coloração amarelada. A USP37 apresenta longevidade de 5 a 6 meses, conforme informações do fabricante. A USP39 é uma mistura de polímeros de diferentes colorações (amarelo, azul, alaranjado, verde claro e róseo), segundo especificações do fabricante sua longevidade está entre 1,5 e 2 meses, tem 39% de N e apresenta também uma camada interna de 8,3% de enxofre elementar. A UP43 é revestida por três camadas de polímeros diferentes e a última camada recebe corante de coloração rósea.

Os tratamentos foram combinados em arranjo fatorial organizado em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Para a implantação do experimento no campo foram realizadas as práticas convencionais de implantação da cultura (aração e gradagem do terreno) e a correção da acidez do solo conforme necessidade avaliada com base na análise de solo (Quadro 1).

Para a correção da acidez aplicaram-se 6,35 t ha⁻¹ do calcário com PRNT de 76 % e reatividade de 99 % (30 % de CaO, 10 % de MgO), estimados para elevar a saturação por bases do solo até 70 %. Metade da doses do calcário foi aplicada na aração, 24 dias antes do plantio, e metade antes da gradagem, 9 dias antes do plantio. A adubação potássica com 60 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl) foi aplicada a lanço em área total sem incorporação três dias antes do plantio. A adubação fosfatada, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples), e a nitrogenada, de acordo com cada tratamento, foi aplicada no sulco de plantio, cerca de 8 cm abaixo da semente.

O milho foi semeado no espaçamento entre linhas de 50 cm com estande de 70000 plantas ha⁻¹. A quantidade de sementes por metro foi de 3,5. Após a semeadura, uma camada de solo de aproximadamente 3 cm recobriu as sementes fechando o sulco de plantio. Foram utilizadas sementes do híbrido triplo precoce BG 7049H[®]. Esse híbrido é recomendado para as regiões Sul, Centro-Oeste e para safrinha, apresenta alto potencial para produção de grãos e silagem de alta qualidade, tolerância a seca, tolerância às principais doenças foliares e de colmo, proteção às principais pragas do milho e tolerância ao herbicida glufosinato de amônio (BioGene, 2011). A parcela teve 2 m de comprimento (linha) x 2 m de largura (entre linha), com 4 fileiras de milho. Logo, o tamanho da parcela foi de 4 m². A parcela útil foi constituída pelas duas linhas centrais. As seis plantas

centrais foram utilizadas para as avaliações (Figura 2). As demais plantas da parcela foram consideradas bordaduras.

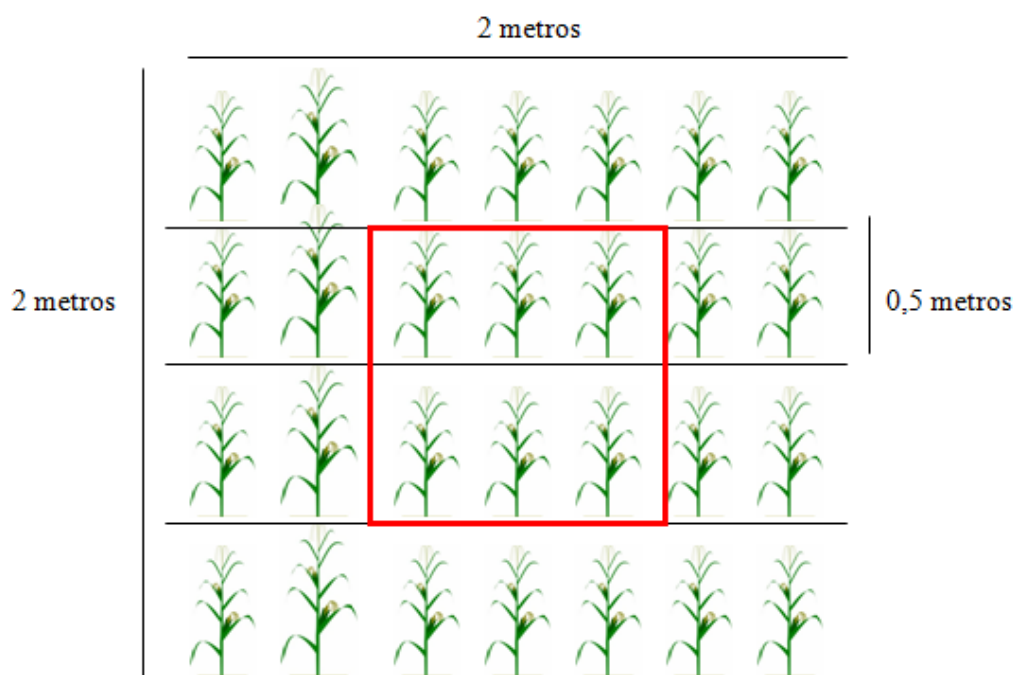


Figura 2 – Esquema caracterizando a parcela experimental .

Nos tratamentos com nitrogênio em cobertura, foi realizado a aplicação de uma dose de 20 kg ha^{-1} no momento do plantio e o complemento da dose foi fornecido em uma única aplicação, no estágio V5 a V6. A ureia foi aplicada superficialmente, em faixa, a 15 cm da linha de plantio. Durante a condução da cultura realizou-se uma aplicação de deltamethrin na dose de 75 mL ha^{-1} aos 19 dias após-plantio (DAP) para o controle de *Diabrotica speciosa*. O controle de plantas espontâneas foi realizado aos 26 DAP. Portanto, no dia em que se realizou a adubação de cobertura as plantas espontâneas não estavam completamente dessecadas. Para o controle de plantas daninhas utilizou-se uma mistura dos princípios ativos atrazine (4 L ha^{-1}) e nicosulfuron (1 L ha^{-1}).

Avaliações do crescimento e desenvolvimento do milho

No quinto DAP foram contadas as plantas emergidas. As avaliações de número de folhas (estádio fenológico) e teor de clorofila pelo índice SPAD foram realizadas aos 60 DAP. Para contagem do número de folhas, foi considerada como folha completamente expandida a que apresentava a lígula visível. O índice SPAD foi obtido pela média de duas leituras no terço médio da última folha

completamente expandida das seis plantas úteis de cada parcela. A leitura foi feita em cada lado do limbo foliar na parte adaxial da folha com uso do clorofilômetro Minolta SPAD-502.

No início do florescimento (R1), as seis plantas centrais de cada parcela foram cortadas e separadas em folhas, colmo, espiguetas e pendão. Cada parte foi pesada individualmente, obtendo-se a matéria verde total de cada parcela. Cada parte da matéria verde foi amostrada. Após a coleta, o material foi colocado em estufa de circulação de ar, na temperatura de 65 ± 1 °C. O material foi retirado da estufa de circulação de ar quando atingiu massa constante e foi pesado. Com base no peso seco das amostras de folhas, colmo, pendão e espiguetas, foram realizados os cálculos para converter a matéria verde da parcela em matéria seca total (MST).

O material seco (folhas, colmo, espiguetas e pendão) foi triturado individualmente e passado por malha de 1 mm. Após moer todo o material, realizou-se a análise de nitrogênio de cada parte separadamente. A metodologia de análise de nitrogênio utilizada foi pelo método Kjeldahl adaptada de Galvani & Gaertner (2006).

Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade por meio do software SISVAR 6.0 (Ferreira, 2011).

RESULTADOS

A germinação do milho não diminuiu com o uso das formas de ureia, independentemente da dose ou do modo de aplicação. A média geral foi de $97 \pm 1,70\%$. As plantas apresentaram rendimento médio de $10,5 \pm 0,5 \text{ t ha}^{-1}$ de matéria seca. O desenvolvimento da planta foi avaliado pelo número de folhas completamente expandidas (estádio vegetativo), apresentado no quadro 2. Houve diferença significativa pelo teste F ($p < 0,05$) em função da dose aplicada e do modo de aplicação para a média geral. As interações duplas e tripla não foram significativas.

Quadro 2 – Folhas completamente expandidas das plantas de milho aos 60 dias após a semeadura de acordo com a dose de N aplicada com ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US) e ureia revestida com enxofre e polímero (USP34, USP37, USP39), ureia revestida com polímero (UP43) de forma parcelada ou completa no sulco de plantio

^{1/} Dose de N	Modo de Aplicação	^{2/} Tipos de ureia						
		U46	UCuB	US	USP34	USP37	USP39	UP43
		----- Número de folhas -----						
120	Cobertura	14	14	14	13	13	13	14
	Sulco de plantio	14	14	14	14	14	14	13
240	Cobertura	13	13	13	13	13	14	13
	Sulco de plantio	13	13	14	14	13	13	14

O índice SPAD é apresentado na figura 3. Há diferença significativa apenas para a média geral, de acordo com o modo de aplicação ($p < 0,05$) pelo teste F da análise de variância. As plantas de milho que receberam a dose completa de N no sulco de plantio apresentaram índice SPAD médio de 50,4, enquanto as que receberam a cobertura apresentaram índice SPAD médio de 49,7. Quando se compara o índice SPAD médio das plantas de milho dentro de cada forma de ureia, de acordo com os modos de aplicação, pode-se observar que aos 60 dias após o plantio já havia uma tendência de que o índice SPAD fosse mais elevado quando a dose foi aplicada completamente na semeadura. Esse efeito foi significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, apenas quando aplicou a UP43 na dose de 240 kg ha^{-1} .

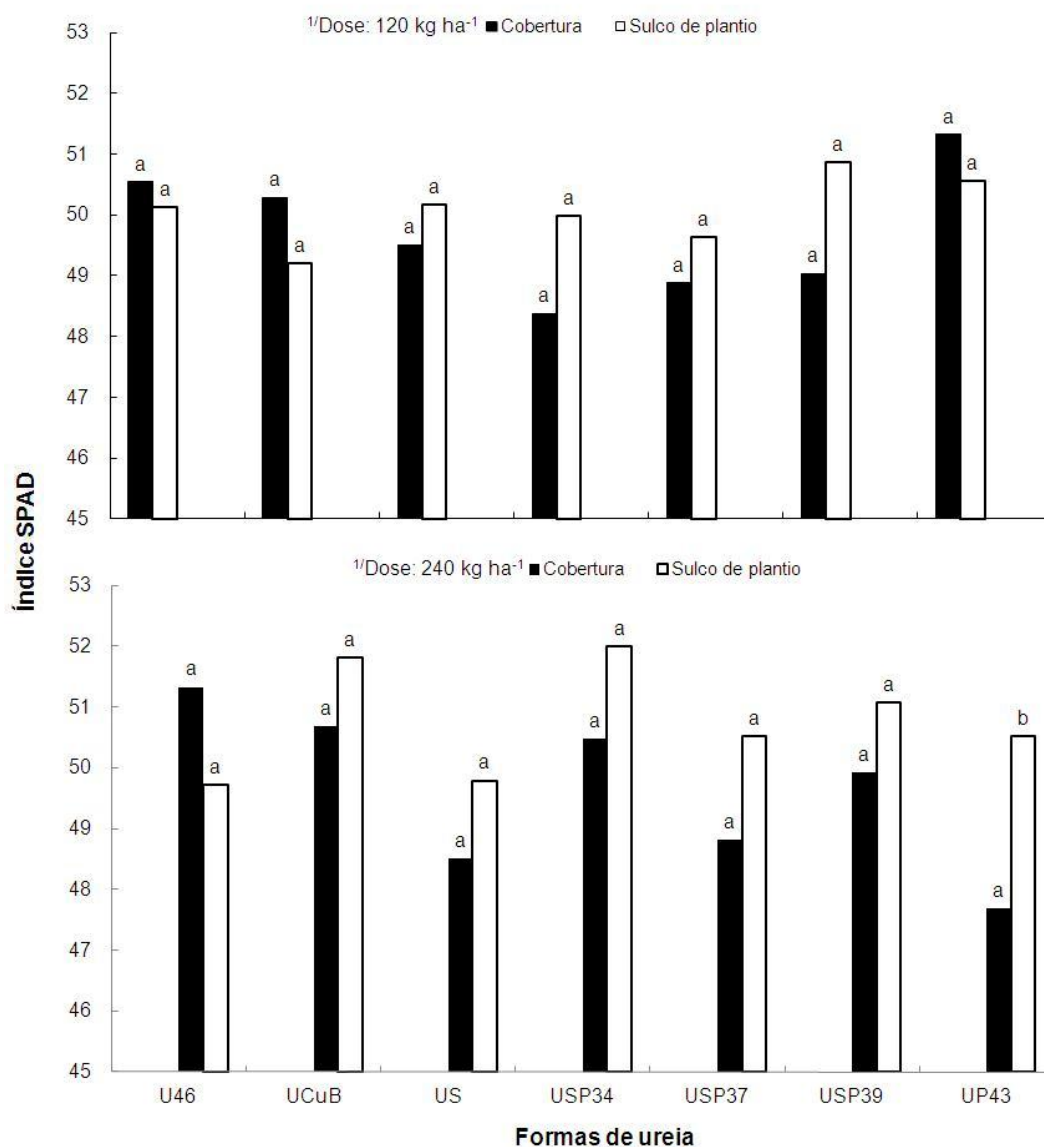


Figura 3 - Índice SPAD do milho aos 60 dias após a semeadura de acordo com o modo de aplicação das doses de N com ureia perolada (U46), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre e polímero (UP34, UP37, UP39) e ureia revestida com polímero (UP43) aplicada em cobertura ou no sulco de plantio. Médias seguidas de mesma letra minúscula em cada gráfico não diferem de acordo com o teste de Tukey com $p \leq 0,05$.

O nitrogênio total absorvido pelas plantas (Figura 4) até o período de florescimento, assim como o índice SPAD observado com o clorofilômetro, apresentou diferença significativa apenas para a média geral em função do modo de aplicação ($p < 0,05$) por meio do teste F da Análise de Variância. Apesar de não ter sido detectada significância pelo teste de médias, foi possível observar tendência de que as plantas absorvam maiores quantidades de N quando a

adubação é realizada completamente no plantio (Figura 4). Essa maior absorção foi observada com todas as formas de ureia utilizadas, em ambas as doses. O nitrogênio absorvido pelas plantas oscilou de 140 a 180 kg ha⁻¹. A média geral de N absorvido quando a adubação foi realizada no sulco de plantio foi de 177,08 kg ha⁻¹, que representa aproximadamente 10% a mais em relação ao N absorvido quando se realizou uma cobertura (p<0,05).

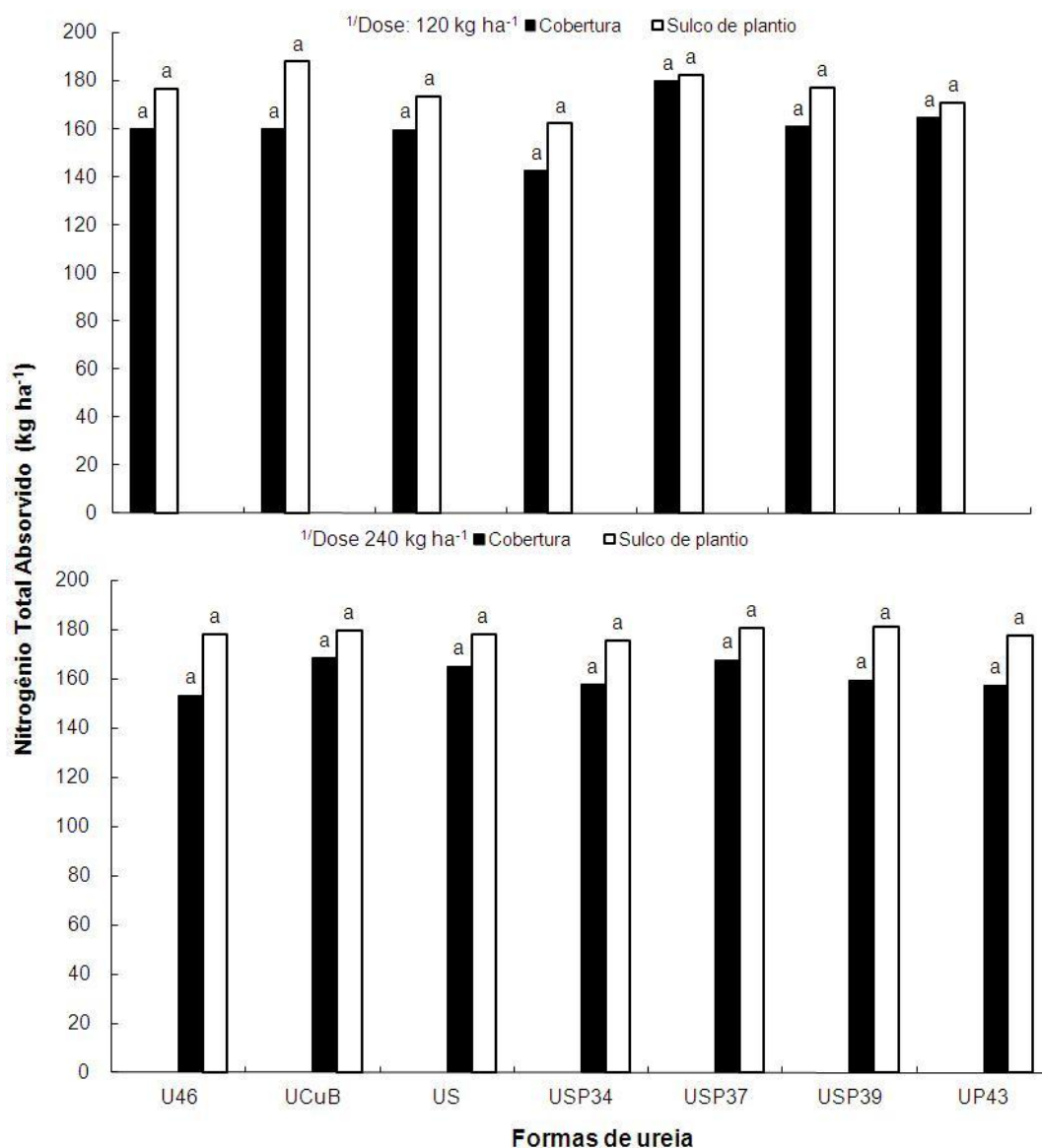


Figura 4 – Nitrogênio Total Absorvido pelas plantas de milho no período de florescimento (R1) com ureia perolada (U46), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre e polímero (UP34, UP37, UP39) e ureia revestida com polímero (UP43) aplicada em cobertura ou no sulco de plantio. Médias seguidas de mesma letra minúscula em cada gráfico não diferem de acordo com o teste de Tukey com $p \leq 0,05$.

DISCUSSÃO

A aplicação das formas de ureia no sulco de plantio proporcionou, em média, absorção de N significativamente maior quando o fertilizante foi aplicado integralmente no sulco de plantio. A aplicação deles nas doses de 120 e 240 kg ha⁻¹ não ocasionou redução na germinação, crescimento e desenvolvimento da cultura. Os valores de matéria seca obtida nos diferentes tratamentos evidenciam que não houve influencia negativa ou positiva das formas de ureia no crescimento da planta. As formas revestidas de ureia, simplesmente, tiveram comportamento similar ao da ureia convencional. Experimentos conduzidos no Brasil evidenciaram que a aplicação parcelada de nitrogênio em duas, três ou mais vezes na cultura do milho, com doses variando de 60 a 120 kg ha⁻¹, em solos de textura média e argilosa, não aumentam as produtividades em relação a uma única aplicação (Coelho et al., 2002).

A cultura apresentou adequado desenvolvimento foliar, com produção de 13 a 14 folhas aos 60 DAP. Tanto a cobertura quanto a aplicação da dose completa no sulco de plantio proporcionaram desenvolvimento médio em torno de 14 folhas aos 60 dias após a semeadura, independentemente da forma de ureia utilizada. Estudos mostram que a redução de estande e/ou redução no desenvolvimento de plantas submetidas a altas doses de ureia no sulco de plantio em culturas de ciclo curto (Kikuti et al., 2005; Sangoi et al., 2009). No entanto, esses autores localizaram a ureia em profundidades de 3 a 4 cm para feijão e 2,5 cm para milho, respectivamente. Isso mostra que a localização do fertilizante em relação às sementes é tão importante quanto a escolha da fonte a ser utilizada, quando se deseja aumentar a eficiência da adubação nitrogenada. A profundidade na qual foram aplicadas as formas de ureia no sulco de plantio pode ter contribuído para que não se observasse redução de estande e do desenvolvimento da planta.

A aplicação do N em cobertura foi realizada em uma situação adversa. As chuvas foram mal distribuídas durante o desenvolvimento da cultura: 24 e 39% do volume ficaram concentradas praticamente em dois dias de novembro e três dias de dezembro de 2012, respectivamente. O milho estava na fase ideal para receber a cobertura (V5 a V6). As chuvas que antecederam a aplicação de cobertura foram suficientes para manter a umidade do solo adequada. No entanto, no dia da aplicação houve apenas uma chuva de 1 mm. Depois, seguiram-se sete dias sem chuva. A temperatura média nesse intervalo de dias foi de 23,5°C. Optou-se por

não irrigar o milho, pois está é uma situação característica da qual o produtor está sujeito. Essas condições climáticas possivelmente favoreceram as perdas de N por volatilização de NH_3 , principalmente quando a ureia foi aplicada em superfície (Cantarella, 2007). A ureia revestida com polímero apresentou um comportamento similar à ureia convencional nessas condições, haja visto que a temperatura ideal para sua liberação controlada é de 21 °C. Em temperaturas maiores que essa há maior expansão dos poros do polímero e liberação mais rápida do N (Chitolina, 1994).

A planta de milho absorve um pouco de N na fase de germinação e aumenta na fase de desenvolvimento vegetativo (até os 60 dias após a germinação) quando cerca de 70 a 80% da matéria seca é acumulada. (Vasconcellos et al., 1998; Cantarella, 2003; Okamura et al., 2011). Como há menor taxa de crescimento da planta na fase de florescimento (R1), a absorção de N tende a ser menor e os valores de N absorvido são mais estáveis. O teor de N absorvido em R1 corrobora com o observado por meio do índice SPAD, em que as diferentes formas de ureia interferem de maneira similar na absorção de N e na produção de compostos fotossintéticos. A média geral de N absorvido pelo milho foi significativamente maior ($p < 0,05$) quando a dose completa foi aplicada no sulco de plantio.

Não foram observadas diferença entre as formas de ureia de liberação controlada e a ureia convencional. Devido as condições adversas, principalmente para a adubação de cobertura, esperava-se que alguma das formas de ureia revestida se destacasse em relação a ureia convencional.

CONCLUSÕES

A adubação do milho com as formas de ureia de liberação controlada não proporciona melhor crescimento e desenvolvimento em relação a ureia convencional.

A aplicação de 120 ou 240 kg ha^{-1} de N no sulco de plantio com o uso das diferentes formas de ureia não reduz a germinação, crescimento e desenvolvimento das plantas de milho.

LITERATURA CITADA

- ALBREGTS, E.E.; HOWARD, C.M. & CHANDLER, C.K. Slow release fertilizers for strawberry fruit production. Proc. Florida State Hort. Sci., 104:244–245, 1991.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 25: 27-33, 2000.
- ANDA. Evolução do consumo aparente de N, P, K e Total de NPK no Brasil/Consumo aparente de fertilizantes e matérias-primas. 2012. Disponível em: <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>. Acesso em 2013.
- BARROW, N. J. Slowly available sulphur fertilizers in south-wessern Australia. I. Elemental sulphur. Aust. J.Exp. Agr. and An.Husb., 2:211- 216, 1971.
- BIOGENE. Catálogo de produtos 2011. BioGene: Tecnologia ao seu alcance. 2011.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 375-470.
- CANTARELLA, H.; LERA F.L.; BOLONHEZI, D.; LARA CABEZAS, W.A.R. & TRIVELIN, P.C.O. Antecipação de N em milho em sistema de plantio direto usando 15N-uréia. In: Anais do 29 Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1 CD-ROM.
- CHITOLINA, J.C. Fertilizantes de lenta liberação de N: conceitos. Ureia coberta com enxofre. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 16 p.
- CHRISTIANSON, C.B. Factors affecting N release of urea from reactive layer coated urea. Fert. Res. 16:273–284, 1988.
- CLAY, D.E., MAHLER, R.L. & MENSER, H.A. The influence of N sources and rates on soil N parameters related to strawberry production in northern Idaho. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 15:819–832, 1984
- COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; ALVES, V. M. C. & HERNANI, L.C. Cultivo de milho, nutrição e adubação. Sete Lagoas: Embrapa. 2002. (Comunicado Técnico 44).

- DEFELLIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa, MG: UFV, 1981. 17 p.
- EMBRAPA. Manual de Análises Químicas, Plantas e Fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ci. & Agro., 35: 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, D. A. Eficiência agrônômica da ureia revestida com polímero na adubação do milho. 2012. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- FOX, R. L.; ATESALP, H. M.; KAMPBELL, D. H. & RHOADES, H. F. Factors influencing the availability of sulfur fertilizers to alfalfa and corn. Soil Sci. 28: 406-408, 1964.
- FURUTA, T.; SCIARONI, R.H. & BREECE, J.R. Sulfur-Coated urea fertilizer for controlled -release nutrition of container-grown ornamentals. Cal. Agri., p. 4-5, Set, 1967.
- GUIMARÃES, G.G.F. Substâncias húmicas como aditivos para o controle da volatilização de amônia proveniente da ureia. 2011. 26 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – UFV, Viçosa, MG, 2011.
- HALL, W. Benefits of enhanced-efficiency fertilizers for the environment. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, 2005. Proceedings. Paris, IFIA, 2005. 9 p. CD-ROM.
- HOELFT, R.G.; WALSH, L.M. & KEENEY, D.R. Evaluation of various extractants for available sulfur. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 37: 401-404, 1973.
- JARRELL, W.M. & BOERSMA, L. Release of urea by granules of sulfur-coated urea. Soil Sci. Soc. Amer. J., 44:418– 422, 1980.
- KIKUTI, H.; BASTOS DE ANDRADE, M.J.; GUEDES DE CARVALHO, J. & MORAIS, A.R. Nitrogênio e fósforo em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade cultivada BRS MG Talismã. Ac. Scientiarum, 27:415-422, 2005.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDÖRFER, G.H. & PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na

- cultura do milho, em sistema de plantio direto no triângulo mineiro (MG). R. Bras. Ci. Solo, 24: 363-376, 2000.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER & G.H. MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. R. Bras. Ci. Solo, 21: 489-496, 1997.
- LIEGEL, E.A. & WALSH, L.M. Evaluation of sulfur-coated urea (SCU) applied to irrigated potatoes and corn. Agron. J., 68:457-463, 1976.
- LOCASCIO, S.J.; FISKELL, J.G.A. & ELMSTROM, G.W. Comparison of sulfurcoated and uncoated urea for watermelons. Proc. Soil Crop Sci. Soc., Florida 37:197-200, 1978.
- LUNT, O.R. Modified sulfur coated granular urea for controlled nutrient release. 9th Intl. Congr. Soil Sci. Trans., 3:377-383., 1968.
- NASCIMENTO, C.A.C. Ureia recoberta com S^o, Cu e B em soca de cana-de-açúcar colhida sem queima. 2012. 71 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 2012.
- OERTLI, J.J. Controlled release fertilizers. Fert. Res., 1: 103-123, 1980.
- OKAMURA, R.S.; MARIANO, D.C. & ZACCHEO, P.V.C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. Pesq. Apl. & Agrot., 4: 226-244, 2011.
- PAIVA, D.M.; CANTARUTTI, R.B.; GUIMARÃES, G.G.F. & SILVA, I.R. Urea coated with oxidized charcoal reduces ammonia volatilization. R. Bras. Ci. Solo, 36:1221-1229, 2012.
- PEACOCK, C.H. & DiPAOLA, J.M. Bermudagrass response to reactive layer coated fertilizers. Agron. J., 84:946-950, 1992.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005.
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R. & BIANCHET, P. Desenvolvimento inicial do milho em função de doses e fontes de nitrogênio aplicadas na semeadura. Biotemas, 22:53-58, 2009.
- SHAVIV, A. Advances in controlled release of fertilizers. Ad. In Agro., 71: 1-49, 2000.

- SHAVIV, A. Preparation methods and release mechanisms of controlled release fertilizers: Agronomic efficiency and environmental significances. Proc. Intl. Fert. Soc. 431:1–35, 1999.
- SHAVIV, A. & MIKKELSON, R. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation: A review. Fert. Res. 35:1–12, 1993.
- SHAW, W.H.R. The inhibition of urease by various metal Ions. J. Am. Chem. Society., 76: 2160 – 2163, 1954.
- SIMONNE, E.H. & HUTCHINSON, C.M. Controlled-release fertilizers for vegetable production in the era of best management practices: Teaching new tricks to an old dog. Hort. Technology, 15:36–46, 2005.
- SOUZA, D.M.G. & LOBATO, E. Adubação com Nitrogênio. In: SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). Cerrado: Correção do solo e adubação. 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.
- TRENKEL, M. E. Slow-and controlled-release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 163 p.
- TRENKEL, M.E. Improving fertilizer use efficiency. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris, 1997.
- VASCONCELLOS, C.A.; VIANA, M.C.M. & FERREIRA, J. J. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em milho cultivado no período inverno-primavera. Pesq. Agro. Bras., 33:1835-1945, 1998.
- VIANELLO, R. L. & ALVES, A. R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1991. 449 p.
- WIEDENFELD, R.P. 1986. Rate, timing, and slow-release nitrogen fertilizers on bell peppers and muskmelon. HortScience, 21:233–235, 1986.
- WILCOX, G.E. Muskmelon response to rates and sources of nitrogen. Agron. J., 65:694–697, 1973.

APÊNDICE A

– ANOVA do experimento em casa de vegetação–

Quadro 1A – Resumo da Análise da Variância (ANOVA) da matéria seca de raiz do milho em função das doses de N na forma de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímero (USP34, USP37, USP39) e ureia revestida com polímero (UP43), nitratos (NA e NS) e sulfato de amônio (SA)

Fonte de Variação	G.L	Q.M.	p-valor
Solo (S)	1	306,48	<0,001
Fertilizante (F)	9	16,15	<0,001
Doses (D)	3	31,65	<0,001
S x F	9	2,79	<0,001
S x D	3	8,57	<0,001
F x D	27	0,86	0,011
S x F x D	27	0,74	0,042
Resíduo	160	0,47	
CV(%)	26,30		

Quadro 2A – Resumo da Análise da Variância (ANOVA) da matéria seca da parte aérea do milho em função das doses de N na forma de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímero (USP34, USP37, USP39) e ureia revestida com polímero (UP43), nitratos (NA e NS) e sulfato de amônio (SA)

Fonte de Variação	G.L	Q.M.	p-valor
Solo (S)	1	724,64	<0,001
Fertilizante (F)	9	35,39	<0,001
Doses (D)	3	66,52	<0,001
S x F	9	3,11	<0,001
S x D	3	8,59	<0,001
F x D	27	0,62	0,001
S x F x D	27	1,15	<0,001
Resíduo	160	0,23	
CV(%)	14,31		

Quadro 3A – Resumo da Análise da Variância (ANOVA) do nitrogênio total absorvido pelo milho em função das doses de N na forma de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímero (USP34, USP37, USP39) e ureia revestida com polímero (UP43), nitratos (NA e NS) e sulfato de amônio (SA)

Fonte de Variação	G.L	Q.M.	p-valor
Solo (S)	1	2100706,42	<0,001
Fertilizante (F)	9	63669,91	<0,001
Doses (D)	3	178507,62	<0,001
S x F	9	12069,42	<0,001
S x D	3	27612,41	<0,001
F x D	27	3791,41	<0,001
S x F x D	27	3987,45	<0,001
Resíduo	160	772,93	<0,001
CV(%)	14,33		

Quadro 4A – Resumo da Análise da Variância (ANOVA) da amônia acumulada na atmosfera do solo até o 14º DAP em função das doses de N na forma de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímero (USP34, USP37, USP39) e ureia revestida com polímero (UP43), nitratos (NA e NS) e sulfato de amônio (SA)

Fonte de Variação	G.L	Q.M.	p-valor
Solo (S)	1	0,06	0,756
Fertilizante (F)	9	13,81	<0,001
Doses (D)	3	12,64	<0,001
S x F	9	0,20	0,818
S x D	3	0,62	0,482
F x D	27	0,69	0,405
S x F x D	27	1,10	0,025
Resíduo	160	0,65	
CV(%)	36,21		

Quadro 5A – Resumo da Análise da Variância (ANOVA) da condutividade elétrica da camada de solo entre a semente e o fertilizante aos 18 DAP do milho em função das doses de N na forma de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímero (USP34, USP37, USP39) e ureia revestida com polímero (UP43), nitratos (NA e NS) e sulfato de amônio (SA)

Fonte de Variação	G.L	Q.M.	p-valor
Solo (S)	1	0,94	0,003
Fertilizante (F)	9	2,00	<0,001
Doses (D)	3	8,48	<0,001
S x F	9	0,10	0,405
S x D	3	1,06	<0,001
F x D	27	0,43	<0,001
S x F x D	27	0,13	0,175
Resíduo	160	0,10	
CV(%)	28,20		

Quadro 6A – Resumo da Análise da Variância (ANOVA) da acidez ativa (pH) da camada de solo entre a semente e o fertilizante aos 18 DAP do milho em função das doses de N na forma de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímero (USP34, USP37, USP39) e ureia revestida com polímero (UP43), nitratos (NA e NS) e sulfato de amônio (SA)

Fonte de Variação	G.L	Q.M.	p-valor
Solo (S)	1	11,60	<0,001
Fertilizante (F)	9	3,92	<0,001
Doses (D)	3	1,84	<0,001
S x F	9	0,28	<0,001
S x D	3	0,21	<0,001
F x D	27	0,30	0,040
S x F x D	27	0,075	<0,001
Resíduo	160	0,072	0,415
CV(%)	4,34		

APÊNDICE B

– ANOVA do experimento em campo–

Quadro 1B – Resumo da Análise da Variância (ANOVA) da matéria seca total do milho em função das doses de N na forma de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímero (USP34, USP37, USP39) e ureia revestida com polímero (UP43)

Fonte de Variação	G.L	Q.M.	p-valor
Bloco	3	5356175,82	0,0382
Fertilizante (F)	6	1129337,17	0,7143
Doses (D)	1	2553370,75	0,2402
Modo de aplicação (M)	1	769002,12	0,5180
F x D	6	726050,88	0,8782
F x M	6	938853,71	0,7955
D x M	1	988344,62	0,4638
F x D x M	6	1141903,59	0,7089
Resíduo	81	1823826,08	
CV(%)	12,84		

Quadro 2B – Resumo da Análise da Variância (ANOVA) do índice SPAD do milho aos 60 DAP em função das doses de N na forma de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímero (USP34, USP37, USP39) e ureia revestida com polímero (UP43)

Fonte de Variação	G.L	Q.M.	p-valor
Bloco	3	28,18	<0,001
Fertilizante (F)	6	2,82	0,585
Doses (D)	1	2,79	0,381
Modo de aplicação (M)	1	15,89	0,039
F x D	6	6,78	0,094
F x M	6	3,48	0,453
D x M	1	4,16	0,285
F x D x M	6	2,79	0,592
Resíduo	81	3,60	
CV(%)	3,79		

Quadro 3B – Resumo da Análise da Variância (ANOVA) do nitrogênio total absorvido do milho no estádio R1 em função das doses de N na forma de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre e polímero (USP34, USP37, USP39) e ureia revestida com polímero (UP43)

Fonte de Variação	G.L	Q.M.	p-valor
Bloco	3	2310,48	0,027
Fertilizante (F)	6	522,69	0,626
Doses (D)	1	65,96	0,762
Modo de aplicação (M)	1	7148,65	0,002
F x D	6	174,41	0,960
F x M	6	87,50	0,993
D x M	1	45,43	0,802
F x D x M	6	104,18	0,989
Resíduo	81	715,70	
CV(%)	15,82		

APÊNDICE C

– Médias dos dados analisados em casa de vegetação–

Quadro 1C – Matéria seca de raiz das plantas de milho aos 18 dias após a semeadura, de acordo com as doses de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA)

Solo	Dose (kg ha ⁻¹)	U46	UCuB	US	USP34	USP37	USP39	UP43	NA	NNaK	SA
		-----g/vaso-----									
Argiloso	20	3,18	4,90	6,38	6,26	7,34	4,30	5,32	4,12	6,26	4,26
	60	2,83	2,62	3,49	5,01	4,67	2,83	3,33	3,24	5,94	2,59
	120	2,64	2,62	2,69	4,85	4,43	2,73	3,32	3,05	4,80	2,51
	240	2,81	1,83	2,06	2,59	3,49	2,43	3,03	1,99	4,20	2,07
Franco-Arenoso	20	1,42	1,58	1,17	2,64	2,90	0,86	1,43	1,28	5,42	1,80
	60	1,15	1,05	0,96	1,06	1,57	0,23	1,24	1,18	3,29	0,90
	120	1,20	1,16	0,87	0,77	1,26	0,44	1,02	1,14	3,48	1,14
	240	1,33	0,99	1,37	1,01	0,92	0,68	1,35	1,32	2,73	1,28

Quadro 2C – Matéria seca da parte aérea das plantas de milho aos 18 dias após a semeadura, de acordo com as doses de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA)

Solo	Dose (kg ha⁻¹)	U46	UCuB	US	USP34	USP37	USP39	UP43	NA	NNaK	SA
		-----g/vaso-----									
Argiloso	20	6,67	6,64	6,75	6,45	5,97	7,06	5,44	4,95	8,33	6,34
	60	4,80	6,07	6,22	6,71	4,43	5,46	5,79	5,20	7,91	4,83
	120	4,57	4,92	4,23	4,92	4,24	3,93	5,03	3,53	7,89	3,46
	240	3,80	3,48	1,81	3,04	4,06	3,09	3,06	1,88	5,94	2,07
Franco-Arenoso	20	1,38	2,09	1,65	2,86	2,53	1,95	1,79	1,57	7,23	1,81
	60	1,19	1,40	0,65	1,19	2,03	0,69	1,10	0,88	7,01	0,85
	120	0,82	0,91	0,65	0,88	1,30	0,52	0,76	0,52	5,06	0,50
	240	0,50	0,67	0,45	0,58	0,86	0,35	0,41	0,41	3,69	0,28

Quadro 3C – Nitrogênio total absorvido pelas plantas de milho aos 18 dias de cultivo de acordo com as doses de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA)

Solo	Dose (kg ha ⁻¹)	U46	UCuB	US	USP34	USP37	USP39	UP43	NA	NNaK	SA
		-----mg/vaso-----									
Argiloso	20	359,25	369,89	365,83	290,46	272,09	383,14	308,30	291,84	406,21	344,51
	60	275,05	365,99	389,62	388,95	253,08	342,32	350,44	322,51	478,69	291,65
	120	278,06	304,90	256,96	311,54	264,33	248,79	314,54	202,93	345,71	218,88
	240	208,66	213,63	113,67	204,51	271,23	196,88	184,36	111,62	291,58	138,92
Franco-Arenoso	20	97,65	134,30	116,15	160,40	121,95	133,74	117,59	103,01	420,28	123,63
	60	82,16	99,00	59,07	89,50	145,24	52,59	87,82	73,25	334,30	65,83
	120	63,46	74,34	59,24	67,82	102,50	44,62	63,15	49,11	248,44	44,77
	240	43,93	57,78	44,11	46,66	72,21	34,06	40,27	38,50	103,56	31,51

Quadro 4C – Quantidade acumulada de NH₃ até o 14º dia após a semeadura do milho na atmosfera do solo de acordo com as doses de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA)

Solo	Dose (kg ha ⁻¹)	U46	UCuB	US	USP34	USP37	USP39	UP43	NA	NNaK	SA
Argiloso	20	1,34	1,72	1,24	1,21	2,03	3,16	1,97	2,14	1,77	1,31
	60	1,68	1,97	1,25	1,11	2,31	3,18	2,46	2,64	1,62	1,42
	120	1,48	1,64	1,63	1,35	2,86	3,77	2,93	3,32	1,73	1,88
	240	2,73	2,28	2,29	2,10	3,08	3,32	4,66	4,01	1,59	2,38
Franco-Arenoso	20	1,04	1,25	1,02	1,43	1,97	2,51	2,74	2,38	1,88	1,42
	60	1,52	1,47	1,66	1,39	2,71	2,72	2,87	3,51	1,68	2,05
	120	1,45	1,44	1,95	1,66	2,38	3,51	2,78	3,17	1,52	1,99
	240	1,59	1,77	3,17	2,14	2,64	7,08	3,06	3,62	1,81	1,90

Quadro 5C – Condutividade elétrica da camada de solo entre a semente e o fertilizante aos 18 dias após a semeadura do milho de acordo com as doses de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA)

Solo	Dose (kg ha ⁻¹)	U46	UCuB	US	USP34	USP37	USP39	UP43	NA	NNaK	SA
-----mS/cm-----											
Argiloso	20	498,00	631,00	550,67	487,67	944,00	603,33	935,67	618,00	771,67	578,67
	60	577,00	900,67	561,33	789,00	998,00	720,67	1120,67	663,00	1348,00	1075,33
	120	1011,67	1034,67	806,33	814,00	1525,67	744,33	1137,67	880,67	2242,33	1727,33
	240	1299,33	1245,67	1125,00	1014,00	1677,33	810,00	1148,00	1048,33	3266,67	2833,33
Franco-Arenoso	20	943,67	332,33	612,00	326,00	872,67	1314,00	478,00	1118,00	390,00	920,33
	60	1255,33	643,00	688,00	1146,00	1591,00	1569,67	481,00	1182,33	1063,33	1387,00
	120	1423,33	765,67	693,67	1494,33	1718,67	1572,67	1057,33	1436,67	1787,67	1553,33
	240	1593,33	1300,00	928,00	1719,00	1727,33	1636,67	1245,67	1582,33	2188,33	2058,33

Quadro 6C – Acidez ativa (pH) da camada de solo entre a semente e o fertilizante aos 18 dias após a semeadura do milho de acordo com as doses de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímeros (USP34, USP37, USP39), com polímeros (UP43), nitratos (NA e NNaK) e sulfato de amônio (SA)

Solo	Dose (kg ha ⁻¹)	U46	UCuB	US	USP34	USP37	USP39	UP43	NA	NNaK	SA
-----pH em água (1:2,5)-----											
Argiloso	20	6,44	6,40	6,33	5,87	5,89	5,93	5,97	6,82	6,07	5,61
	60	6,98	6,86	6,92	6,25	5,83	6,47	6,54	7,03	6,01	5,60
	120	6,68	6,87	6,80	6,73	6,51	6,83	6,87	6,94	5,96	5,38
	240	6,70	6,68	6,72	6,69	6,94	6,90	6,83	6,95	5,78	5,08
Franco-Arenoso	20	5,63	6,16	6,07	5,56	5,23	5,57	6,20	5,92	5,79	5,29
	60	6,37	6,76	6,61	5,79	5,42	6,39	6,60	6,41	5,87	5,28
	120	6,25	6,40	6,63	5,94	5,81	6,02	6,61	6,27	5,37	5,17
	240	6,27	6,16	6,16	5,91	5,98	6,22	6,26	6,09	5,26	5,38

APÊNDICE D

– Médias dos dados analisados no experimento do campo–

Quadro 1D –Índice SPAD, nitrogênio absorvido e matéria seca total do milho em função das doses de N aplicadas em cobertura ou no sulco de plantio, na forma de ureia perolada (U46), ureia revestida com sulfato de cobre e ácido bórico (UCuB), ureia revestida com enxofre (US), ureia revestida com enxofre e polímero (USP34, USP37, USP39) e ureia revestida com polímero (UP43)

Dose (kg ha ⁻¹) Formas de Ureia	Índice SPAD				Nitrogênio Absorvido (kg/ha)				Matéria Seca (t/ha) no estágio R1			
	120		240		120		240		120		240	
	**C	**SP	C	SP	C	SP	C	SP	C	SP	C	SP
U46	50,54	50,12	51,33	49,71	159,92	176,55	153,29	177,78	11,19	11,15	10,30	9,66
UCuB	50,29	49,2	50,69	51,82	159,86	187,78	168,43	179,5	9,62	10,94	9,59	10,62
US	49,51	50,16	48,51	49,79	159,56	173,35	164,87	177,77	10,70	10,68	10,16	10,70
USP34	48,38	49,98	50,48	52	142,63	162,02	157,52	175,41	9,45	10,72	10,84	9,66
USP37	48,88	49,63	48,82	50,52	179,58	182,25	167,73	180,56	10,64	10,82	10,80	10,32
USP39	49,03	50,87	49,93	51,08	160,88	177,13	159,4	180,89	10,98	10,98	10,88	10,88
UP43	51,32	50,56	47,69	50,51	164,41	170,68	157,42	177,51	10,88	10,65	10,10	10,68

**C = Aplicação com uma cobertura; SP = Aplicação da dose completa no sulco de plantio.