

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Misturas de ureia revestida com polímeros e ureia convencional na  
adubação da cultura de milho**

**Hugo Abelardo González Villalba**

Dissertação apresentada para obtenção do título de  
Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e  
Nutrição de Plantas

**Piracicaba  
2014**

Hugo Abelardo González Villalba  
Engenheiro Agrônomo

**Misturas de ureia revestida com polímeros e ureia convencional na adubação da cultura de milho**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**Piracicaba  
2014**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

González Villalba, Hugo Abelardo

Misturas de ureia revestida com polímeros e ureia convencional na adubação da cultura de milho / Hugo Abelardo González Villalba. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.

91 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.  
Bibliografia.

1. *Zea mays* L. 2. Fertilizante de liberação controlada 3. Adubação nitrogenada  
4. Nitrogênio inorgânico 5. Amônio 6. Nitrato 7. Produtividade de grãos I. Título

CDD 633.15  
G643m

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

A mis padres, LUCIO Y BLANCA,  
personas que me enseñaron a luchar por mis ideales y mis sueños,  
y a mis hermanos JOSÉ, DIEGO y SABRINA,  
por ser mi fuente de inspiración,  
A mi familia, lo más valioso que la vida me ha dado.

**Ofrezco y dedico este trabajo**



## AGRADECIMENTOS

A **Deus** e à **Virgem María Auxiliadora**, por iluminar meu caminho, direcionar meus passos, auxiliar na hora das grandes decisões e me confortar nos momentos difíceis.

Aos **meus pais**, Lucio e Blanca, que me deram a vida e me ensinaram a importância da família, o amor, o respeito, a responsabilidade e a honestidade. Por ter me mostrado o valor do estudo e do trabalho, e por serem meus grandes exemplos de vida. Obrigado pai, obrigado mãe.

Ao **Professor Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin**, pela amizade, ensinamentos, compreensão e paciência dispensados, pelo exemplo de dedicação ao trabalho e profissionalismo demonstrados ao longo desse tempo. Um orientador com todas as letras.

Ao Professor **Dr. Carlos Andrés Leguizamón Rojas**, meu orientador de graduação, e ao Professor **PhD. Héctor Javier Causarano Medina**, por terem sido as pessoas que despertaram em mim o interesse em fazer pós-graduação. Grandes exemplos de docentes que gostam de compartilhar os seus conhecimentos. O meu muito obrigado aos dois.

Ao **povo brasileiro** que paga seus impostos e ao **governo do país**, pelo investimento nas universidades públicas e nas bolsas de estudos de pós-graduação.

Ao **Programa de Estudantes Convenio - Pós-Graduação (PEC-PG) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)**, pela concessão da bolsa de estudos.

À **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, da **Universidade de São Paulo (ESALQ/USP)**, que por meio do **Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas** me brindou esta grande oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

Ao **Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo (CENA/USP)**, em especial ao **Laboratório de Isótopos Estáveis (LIE)**, pela estrutura, o ensino e o suporte técnico, fundamentais para desenvolver o trabalho.

À **Fundação AGRISUS** e à empresa **Produquímica Industria e Comércio S.A.**, pelo financiamento do projeto de pesquisa e pela confiança depositada.

Ao **Centro Rural de Tanquinho**, em nome do Professor **Dr. José Albertino Bendassolli**, por disponibilizar a área experimental para o primeiro experimento. Ao **Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP**, por disponibilizar o campo experimental para o desenvolvimento do segundo experimento.

Aos outros “filhos” do Prof. Trivelin: **Beatriz Nastaro, Eduardo Mariano, Evandro Schoninger, José Marcos Leite, Lucas Miachon, Maria Stefania D’Andrea, Oriel Kölln e Paulo Lazzarini**. Meu obrigado a todos por me aceitar como um membro mais da equipe, por todos os ensinamentos e experiências, e principalmente por ter paciência suficiente comigo e meu “portunhol”. Também uma menção especial aos colegas **João Milagres e Carlos Sant’Ana Filho** pelos auxílios constantes e a amizade cultivada.

Ao amigo e colega **Evandro Schoninger** meu especial agradecimento por toda a ajuda prestada durante a condução do experimento, por tantos dias de trabalho incansável no campo, e na hora de escrever esta dissertação, pelas ideias, sugestões, e correções do “portunhol”. Mesma menção para o colega e amigo **Lucas Miachon**, quem também foi partícipe de todas as etapas do projeto. Grandes amigos que fiz em Piracicaba.

A todos os membros da equipe do LIE/CENA/USP, Prof. **Dr. Albertino Bendassolli** (o que está acontecendo aí?), Professor **Dr. Helder de Oliveira, Pingin, Hugo, Ana Paula, Magda, Bento e Clelber**, por todo o ensinado e compartilhado neste período. Aos estagiários do LIE/CENA/USP, Daniel Amaral, Jessica Scarpin, Bruna Arruda, João Luis Souza, Jussara Pereira e Luiz Massuchetto, por toda a ajuda prestada. Esta dissertação não seria uma realidade sem a ajuda de todos eles.

Às “chicas” **Emanuel Junior Da Silva Nunes, Flávio Henrique Silveira Rabêlo e Marcos Rodrigues**, praticamente minha família de Piracicaba, pelo convívio diário, o aprendizado, especialmente e por fazer que estar longe de casa seja menos difícil. Obrigado por tudo, especialmente pela grande amizade.

A todos os que de alguma forma fizeram parte desse grande desafio. Muito obrigado!

*“How can I stand on the ground every day  
and not feel its power?  
How can I live my life stepping on this stuff  
and not wonder at it?”*

William Bryant Logan





## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| RESUMO .....   | 11 |
| ABSTRACT .....   | 13 |
| 1 INTRODUÇÃO .....   | 15 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....  | 17 |
| 2.1 A cultura do milho no Brasil .....   | 17 |
| 2.2 Nitrogênio na cultura do milho .....   | 17 |
| 2.2.1 Perdas de nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera .....                                | 19 |
| 2.2.2 Nitrogênio mineral do solo .....   | 20 |
| 2.3 Fertilizantes de liberação controlada.....   | 22 |
| 2.3.1 Ureia revestida com polímeros .....  | 24 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS.....  | 25 |
| 3.1 Localização do experimento .....   | 25 |
| 3.2 Delineamento experimental e tratamentos .....  | 27 |
| 3.3 Manejo do experimento.....   | 27 |
| 3.4 Avaliações realizadas .....  | 29 |
| 3.4.1 Nitrogênio mineral do solo .....   | 29 |
| 3.4.2 Produtividade de grãos (PG).....   | 30 |
| 3.4.3 Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) .....   | 30 |
| 3.4.4 Nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA) e exportação de nitrogênio nos grãos (ENG)..... | 31 |
| 3.4.5 Eficiência de utilização interna de nitrogênio (EUIN).....                                 | 31 |
| 3.5 Análise estatística.....   | 31 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 33 |
| 4.1 Nitrogênio mineral do solo .....   | 33 |
| 4.1.1 Experimento no solo LVd (bairro rural de Tanquinho) .....                                  | 33 |
| 4.1.2 Experimento no LVAd (campo experimental da ESALQ) .....                                    | 48 |
| 4.2 Produtividade de grãos, massa seca, e acúmulo de N da parte aérea.....                       | 61 |

|  |    |
|--|----|
| 4.2.1 Experimento no LVd (bairro rural de Tanquinho).....    | 61 |
| 4.2.2 Experimento no LVAd (campo experimental da ESALQ)..... | 64 |
| 5 CONCLUSÕES .....   | 71 |
| REFERÊNCIAS .....  | 73 |
| APÊNDICES .....  | 83 |
| ANEXOS.....  | 89 |

## RESUMO

### Misturas de ureia revestida com polímeros e ureia convencional na adubação da cultura de milho

Fertilizantes de liberação controlada como a ureia revestida com polímeros podem propiciar melhor sincronia entre a disponibilidade de nitrogênio (N) no solo e as exigências do nutriente pela cultura de milho (*Zea mays* L.). Para avaliar o efeito de diferentes estratégias de uso da ureia revestida com polímeros na disponibilização de nitrogênio inorgânico, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) no solo durante o ciclo da cultura de milho, e na produtividade final de grãos, foram conduzidos experimentos na safra 2012/2013, em duas condições edafoclimáticas no município de Piracicaba, Estado de São Paulo. Os solos dos experimentos foram: Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd). O delineamento experimental foi de blocos completos ao acaso com quatro repetições e os tratamentos constaram da aplicação da dose de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, utilizando-se duas fontes de N, ureia revestida com polímeros e ureia convencional, aplicadas, respectivamente, nas proporções de 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 e 0:100%, além de um tratamento com ureia em manejo convencional com aplicação parcelada (20% na semeadura e 80% em cobertura entre os estádios V4-V6), e o controle sem aplicação de N. Foi semeado híbrido de milho com elevado potencial de produtividade. Os fertilizantes aplicados na semeadura foram incorporados a 5 cm de profundidade e 10 cm ao lado da linha de milho. Para determinar o teor de nitrogênio inorgânico no solo, nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, foram realizadas amostragens na semeadura e em V4, V12 e R3 no LVd e na semeadura e em V6, V14 e R4 no LVAd. Produtividade de grãos, massa seca da parte aérea, acúmulo de N na parte aérea, exportação de N nos grãos, e a eficiência de utilização interna de nitrogênio foram avaliados na maturidade fisiológica da cultura. Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando observado efeito significativo de tratamentos, foram realizadas análises de contraste de médias ( $p \leq 0,1$ ). A produtividade máxima nos dois experimentos foi da ordem de  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  de grãos de milho. Nos dois experimentos a ureia revestida com polímeros disponibilizou nitrogênio mineral no solo ao longo de todo o ciclo da cultura de milho, o que resultou no LVAd em produtividade de grãos mais elevada em relação à utilização de ureia convencional, diferentemente do ocorrido no LVd, onde não foram observados efeitos de tratamentos. A utilização de misturas de URP e U na adubação da cultura do milho, com proporções variando de 100% a 50% da fonte de liberação controlada, mostrou-se eficiente e pode ser considerada uma estratégia que fornece N conforme a exigência da cultura, o que resulta em maior produtividade de grãos em condições edafoclimáticas favoráveis.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; Fertilizante de liberação controlada; Adubação nitrogenada; Nitrogênio inorgânico; Amônio; Nitrato; Produtividade de grãos



## ABSTRACT

### Blends of polymer coated urea and conventional urea in maize fertilization

Controlled release fertilizers such polymer coated urea can provide better synchrony between nitrogen (N) availability in the soil and its requirements by maize (*Zea mays* L.). To evaluate the effect of different use strategies of polymer coated urea on the availability of inorganic nitrogen, nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) and ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) throughout the crop cycle, and the grain yield, field experiments were carried out in the 2012-2013 growing season, in two soil-climatic conditions, in Piracicaba, São Paulo State. The soils were a clayey and a sandy Oxisol. The experimental design was randomized blocks with four replications, and the treatments consisted of  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$ , using two sources of N, polymer coated urea and conventional urea, respectively, in proportions of 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50% and 0:100%, besides a treatment with urea in conventional management, split-applied (20% at seeding and 80% side-dressed in V4-V6 corn growth stage) and a control (without N). Maize hybrid with high productivity potential was used. The fertilizers applied at seeding were placed in bands 5 cm depth and 10 cm aside the corn row. To determine the inorganic nitrogen content in the soil at 0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.4 and 0.4-0.6 m soil layers, samples were collected at seeding, V4, V12 and R3 corn growth stage in the clayey Oxisol, and at seeding, V6, V14 and R4 in the sandy Oxisol. Grain yield, aerial biomass, nitrogen uptake by the aerial biomass, grain nitrogen uptake and internal utilization efficiency of nitrogen were evaluated. Data were analyzed using analysis of variance and when differences were detected, means were separated using contrast test ( $p \leq 0.1$ ). The maximum maize grain yield in the experiments was approximately  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$ . In the two experiments, polymer coated urea led to a greater inorganic nitrogen availability throughout the maize cycle, which resulted in higher yield comparing to the use of conventional urea in the sandy Oxisol, not thus in the clayey Oxisol, where no effects of treatments in grain yield were observed. The use of blends of polymer coated urea and conventional urea in maize fertilization, with ratios ranging from 100 to 50% of the controlled release source, was efficient and can be considered a strategy that supplies N as the crop demands it, and thus lead to a greater maize grain yield under agro-climatic favorable conditions.

Keywords: *Zea mays* L.; Controlled release fertilizer; Nitrogen fertilization; Inorganic nitrogen; Ammonium; Nitrate; Grain yield



## 1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o nutriente mais limitante para a produção de culturas não leguminosas e ao mesmo tempo o nutriente aplicado em maior quantidade nos atuais sistemas de produção. O manejo da fertilização nitrogenada é complexo devido à multiplicidade de reações químicas e biológicas que ocorrem no solo envolvendo o elemento, além da alta dependência de condições edafoclimáticas e vulnerabilidade a perdas do sistema solo-planta.

A cultura do milho ocupa um espaço fundamental no atual sistema de produção do Brasil, sendo requeridas elevadas quantidades de N para garantir altas produtividades. Somado a esse fato, a diversidade de reações que influenciam a dinâmica do N no solo faz com que o manejo do nutriente seja diferenciado, a fim de proporcionar bom desenvolvimento da cultura e minimizar as perdas de N do sistema solo-planta.

Visando atender a crescente demanda mundial por alimentos e desenvolver soluções tecnológicas que possibilitem a redução de riscos ambientais associados à atividade agrícola, tem-se buscado maior eficiência na utilização do nitrogênio (EUN) pela cultura do milho em climas tropicais e subtropicais.

O fertilizante nitrogenado mais comumente usado na produção de milho no Brasil é a ureia, que tem demonstrado baixa eficiência de utilização e potencial de poluição ambiental devido às múltiplas formas de perdas, principalmente por meio da volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) quando a fonte nitrogenada é aplicada na superfície do solo. Com a aplicação de parte da dose de N na forma de ureia em cobertura (parcelamento) esse problema foi reduzido, mas não o suficiente, tendo em vista que esse manejo representa uma operação de campo a mais, além da possibilidade da ocorrência de perdas de N do sistema solo-planta ainda ser considerável.

Uma das formas de aumentar a EUN na cultura do milho é a utilização de fertilizantes de liberação controlada (FLC), como a ureia revestida com polímeros (URP), que têm um padrão de liberação de nutrientes sigmoidal em função do tempo, liberando N de forma gradual, ajustando-se melhor às necessidades das culturas. Esse produto tem um preço cerca de 30% maior ao da ureia convencional, uma vez que existem condições nas quais o seu uso traz benefícios e outras nas quais não apresenta vantagem, quer seja agrônômica ou mesmo econômica ao agricultor. A utilização exclusiva de URP na cultura do milho apresenta elevado custo e em alguns casos pode ocorrer baixa disponibilidade de N em curto prazo, podendo comprometer o desenvolvimento das plantas nos estádios iniciais. Nesse contexto, surge a necessidade de estudos envolvendo misturas de fontes de N, especialmente com fontes de rápida liberação de N como a ureia, e fontes de liberação gradual de N como a URP. Com



a mistura desses produtos e com a aplicação da dose integral de N no sulco da semeadura (tendo em vista a menor salinidade da URP), seria possível fornecer tanto a quantidade adequada de N às plantas no início do desenvolvimento assim como disponibilizar N nos estádios mais tardios, nos quais as exigências da cultura são maiores. Dessa forma, será possível conseguir a melhor sincronia entre a demanda da cultura e a disponibilidade de N no solo, sem necessidade de aplicações parceladas da dose de fertilizante nitrogenado.

Nesse sentido, visando estudar alternativas de manejo do N na cultura do milho que possibilitem obter maior produtividade sem produzir danos ambientais, este trabalho teve como objetivos avaliar o efeito da adoção de diferentes estratégias de uso da URP na disponibilização de nitrogênio inorgânico, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) no solo durante o ciclo, e na produtividade final de grãos de milho, em dois solos com texturas diferentes no município de Piracicaba, Estado de São Paulo.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 A cultura do milho no Brasil**

O milho é o cereal mais cultivado no mundo, devido à sua utilização como fonte de energia, de alimento animal e humano, e as múltiplas utilidades dos seus derivados nas indústrias. O Brasil é o terceiro maior produtor de milho no mundo, após os Estados Unidos e a China. A safra 2012/2013 foi considerada recorde nacional no país, com área cultivada com milho de 15,8 milhões de hectares, produção de 81 milhões de toneladas do cereal, e produtividade média de 5.120 kg ha<sup>-1</sup> (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2013). Esses números mostram a importância da cultura do milho na economia do país. No agronegócio brasileiro, em termos de área explorada, a cultura do milho é a segunda mais cultivada, atrás apenas da cultura da soja.

A produtividade do milho depende de vários fatores e das interações entre eles (LATCOVIĆ et al., 2012). Dentre esses fatores as principais em condições de cultivo de sequeiro, referem-se a quantidade e a distribuição das chuvas durante o desenvolvimento da cultura, assim como as práticas de manejo, com ênfase para a fertilização e o sistema de rotação de culturas.

### **2.2 Nitrogênio na cultura do milho**

O nitrogênio (N) é um dos elementos requeridos em maior quantidade pela cultura de milho. Aproximadamente 1-5 % do total da matéria seca (MS) das plantas é constituído por N, que é constituinte de proteínas, clorofila, coenzimas, ácidos nucleicos, fito-hormônios e metabolitos secundários. A disponibilidade de N para as raízes é um fator decisivo para o crescimento das plantas (HAWKESFORD et al., 2012), sendo o nutriente mais limitante para a produção de culturas não leguminosas, e ao mesmo tempo, aplicado em maior quantidade nos sistemas de produção.

A disponibilidade de N no solo para a cultura do milho é controlada basicamente pela mineralização da matéria orgânica e pela adição de adubos nitrogenados. Quando utilizadas culturas em rotação ou em sucessão, com baixa relação C:N na matéria seca dos resíduos vegetais, aliado à incorporação dos mesmos, a decomposição e a mineralização são mais rápidas e a ciclagem do N ocorre em curto espaço de tempo (PAVINATO et al., 2008).

A nutrição mineral de plantas de milho no campo parece influenciar a produtividade de grãos, principalmente por afetar a área foliar produzida nos primeiros estádios vegetativos

de crescimento e o tempo em que as folhas permanecem fotossinteticamente ativas durante a formação dos grãos (CANTARELLA, 2004).

O milho requer N desde o início do desenvolvimento vegetativo até o enchimento de grãos. Imediatamente após a emergência, a planta requer pouca quantidade de N, porém a disponibilidade de N para a planta durante esse período é crítica, uma vez que nessa fase é definido o potencial produtivo da cultura, mesmo possuindo limitado desenvolvimento radicular (SANGOI; ERNANI; SILVA, 2007). A partir do estágio V6, conforme escala fenológica proposta por Ritchie, Hanway e Benson (1993), a demanda por N aumenta e continua até a fase de enchimento de grãos. Uma limitada disponibilidade de N na fase de enchimento de grãos ocasionará a senescência antecipada das folhas, resultando em diminuição da atividade fotossintética e de rendimento de grãos (SANGOI; ERNANI; SILVA, 2007).

Os trabalhos de Sayre (1948) e Hanway (1962) são considerados clássicos no que se refere ao acúmulo de matéria seca e nutrientes de plantas de milho. Os autores utilizaram densidades populacionais de 25.960 a 42.583 plantas ha<sup>-1</sup>, o que não é comparável com as atuais densidades em campos de produção de milho. Um trabalho mais recente, também considerado clássico, é o de Karlen, Flannery e Sadler (1988) em que os autores usaram populações de 111.000 plantas ha<sup>-1</sup>, com espaçamentos de 0,3 m entre linhas de milho e 0,3 m entre plantas, o que difere dos espaçamentos atualmente utilizados que variam de 0,51 a 0,76 m nas entrelinhas. Trabalhos atuais em relação à marcha de absorção, repartição e remobilização de nutrientes podem ser encontrados em Bender et al. (2013a), e especificamente para N em Haegele et al. (2013). Esses autores utilizaram híbridos modernos, com tecnologia transgênica e práticas culturais utilizadas no atual sistema de produção de milho, para verificar se houve mudança na absorção de nutrientes com as novas práticas agrícolas e novos materiais genéticos. Um fato interessante no que se refere ao N foi observado por Bender et al. (2013a). Os autores mostraram que para um período de 10 dias entre os estádios V10 e V14 do milho ocorreu o valor máximo da taxa de absorção de N (8,9 kg dia<sup>-1</sup>), fato que indica que se deve garantir à cultura a disponibilidade do nutriente nesse período. Haegele et al. (2013), por sua vez, relataram que comparando os atuais híbridos com os antigos é observada maior eficiência na utilização do nitrogênio, o que mostrou correlação positiva com a maior eficiência de absorção de N pelas plantas ( $r=0,76$ ,  $p\leq 0,001$ ), e afirmaram que esse fato se deveu à maior absorção de N pelos novos híbridos no período de pós-florescimento. Bender et al. (2013b) conduziram dois experimentos de campo, o primeiro com dois anos de duração (2009-2010) e o segundo com três (2008-2010), nos quais foi

avaliada a absorção de nutrientes de novos híbridos com tecnologia transgênica. No primeiro experimento, observaram absorção de 8% de N a mais que os híbridos antigos sem tecnologia transgênica. No segundo experimento, os autores observaram absorção de 31% a mais de N no período de pós-florescimento nos híbridos atuais, o que reforça a hipótese de que os novos híbridos de milho, com novas práticas de manejo, têm maior potencial de eficiência de uso do nitrogênio, com absorção do nutriente até estádios mais tardios.

O milho acumula entre 20 a 25 kg de N por tonelada de grão (SANGOI et al., 2001). Lara Cabezas et al. (2000), verificaram que os grãos são responsáveis pela exportação de 51,8% do total de N absorvido pelas plantas de milho. Grande parte do N total acumulado na planta de milho é redistribuído na parte final do ciclo para os grãos, constituindo assim o maior dreno de N da cultura. Devido ao baixo efeito residual no solo da adubação nitrogenada feita em culturas antecessoras de milho, geralmente se aplica maior quantidade de N com maior frequência que os demais nutrientes (HAWKESFORD et al., 2012).

No Brasil, o nitrogênio é aplicado na cultura do milho normalmente na semeadura (adubação de base) e em uma ou mais coberturas que além de representarem custo adicional, geralmente coincidem com outras operações mecanizadas nas propriedades rurais, dificultando o gerenciamento operacional de máquinas das empresas agrícolas.

### **2.2.1 Perdas de nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera**

Segundo Hawkesford et al. (2012), o N mineral no solo não absorvido pelos vegetais pode sofrer processos microbiológicos (nitrificação, desnitrificação, imobilização), químicos (trocas, fixação, precipitação, hidrólise) e físicos (lixiviação, volatilização). Todos esses processos afetam a disponibilidade do nutriente às plantas. O uso de doses de fertilizantes nitrogenados no cultivo de milho, visando altas produtividades, pode resultar em aumento no potencial de perdas, como por lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  (ANDRASKI; BUNDY; BRYE, 2000; HONG et al., 2007), desnitrificação (DUSENBURY et al., 2008; HAO et al., 2001), volatilização de  $\text{NH}_3$  do solo (LARA CABEZAS; KORNDORFER; MOTTA, 1997; LARA CABEZAS et al., 2000) entre outras, o que pode explicar a baixa eficiência de utilização de fertilizantes nitrogenados pela cultura nas condições brasileiras, geralmente menor que 50% (CANTARELLA, 2007), sendo a eficiência de uso do nitrogênio menor com o aumento das doses de N (REDDY; REDDY, 1993; COELHO et al., 1992). Esses fatos podem resultar em baixo desempenho produtivo da cultura e risco de contaminação ambiental, tendo implicações na sustentabilidade de agrossistemas.

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais usado no Brasil. Quando aplicada ao solo, a ureia pode sofrer hidrólise por ação da enzima urease, convertendo o R-NH<sub>2</sub> para NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Por consumir H<sup>+</sup> do meio, essa reação promove elevação no pH do solo próximo aos grânulos de fertilizantes, favorecendo a transformação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para NH<sub>3</sub>, sendo esta uma forma gasosa e passível de perdas por volatilização (KIEHL, 1989).

Segundo Lara Cabezas et al. (2000), a aplicação de ureia em superfície sem incorporação ao solo poderá proporcionar perdas de 31 a 78 % do total de N aplicado. Entretanto, se a ureia for incorporada ao solo, as perdas por volatilização de NH<sub>3</sub> diminuem sensivelmente (LARA CABEZAS et al., 2000; TRIVELIN et al., 2002), pois a amônia ao se difundir do interior do solo em direção a atmosfera, encontra regiões com valores de pH mais baixo em relação aos valores próximos aos grânulos de ureia, sendo novamente convertida a NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (ERNANI; SANGOI; RAMPAZZO, 2002).

Além das perdas de N na forma de amônia, este nutriente também é passível de remoções significativas do sistema solo-planta por lixiviação, principalmente na forma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. A lixiviação é um processo de arraste de N nos solos com o movimento descendente da água, sendo levado para fora da zona de absorção das raízes e com potencial de chegar ao lençol freático, contaminando as águas subterrâneas (ERNANI; SANGOI; RAMPAZZO, 2002). Como alternativa para diminuir a lixiviação de nitrato, Dines et al. (2002), destacaram a adequação da época de aplicação, a dose de N a ser aplicada, a utilização de testes de solo e monitoramento das plantas para determinação da concentração de N, a diversificação das rotações de culturas, o uso de plantas de cobertura, o uso de preparo reduzido, a otimização de técnicas de aplicação de N. Motavalli, Goyne e Udawatta (2008), também destacaram o uso de inibidores de nitrificação e/ou fertilizantes de liberação controlada como opção para diminuir a lixiviação de nitrato nos sistemas agrícolas. Contudo, caso ocorram condições de anaerobiose no solo, o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> também poderá ser convertido a formas gasosas como N<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O que poderão ficar retidos em agregados do solo ou difundir até a atmosfera, contribuindo para o agravamento de um problema mundial conhecido como efeito estufa.

### **2.2.2 Nitrogênio mineral do solo**

A maior fonte de N para as plantas é o solo e não aquele aplicado como fertilizante (FRANCO et al., 2011; MARIANO et al., 2013). A maior parte do N do solo está na forma orgânica (aproximadamente 90%), enquanto que o N inorgânico ou N mineral representa geralmente menos do 10% do N total presente no solo (STEVENSON, 1982). As formas predominantes de N mineral do solo são nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). O NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é pouco

retido no solo devido à baixa energia de ligação aos argilominerais. O  $\text{NH}_4^+$  permanece no complexo trocável do solo, podendo ser absorvido pelas plantas ou oxidado a nitrato (POLETTO; GROHS; MUNDSTOCK, 2008). O N pode ser absorvido pelas plantas em duas formas distintas: como  $\text{NO}_3^-$  e como  $\text{NH}_4^+$ . O grau de desenvolvimento da cultura e a espécie determina a quantidade e a forma de N a ser absorvido. Não se pode ignorar que os vegetais podem também absorver formas orgânicas de N do solo, como a ureia e aminoácidos (NÄSHOLM; KIELLAND; GANETEG, 2009).

Owen e Jones (2001), Bronson (2008), e Miller e Cramer (2004), relataram que o nitrato é geralmente encontrado em maior quantidade que o amônio na solução dos solos agrícolas não inundáveis. Por isso, o  $\text{NO}_3^-$  é considerado a forma de N mineral mais importante para as plantas. No entanto, o teor de nitrato no solo depende em grande medida do teor da forma  $\text{NH}_4^+$ . O nitrato é o produto final do processo chamado de nitrificação, no qual o nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) é oxidado pelas bactérias do gênero *Nitrobacter*, responsáveis principais por esse processo (NORTON, 2008).

O  $\text{NH}_4^+$  está presente no solo em menor quantidade que o  $\text{NO}_3^-$  devido à rápida nitrificação ou oxidação biológica de  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NO}_3^-$ , não é facilmente lixiviado para as camadas mais profundas, mas pode ser perdido da parte mais superficial do solo por erosão (ZHAO et al., 2001). Como o teor de  $\text{NH}_4^+$  no solo geralmente é menor que o de  $\text{NO}_3^-$ , o número de pesquisas envolvendo o estudo de  $\text{NH}_4^+$  no solo é também menor quando comparada ao de  $\text{NO}_3^-$ . No entanto, Meisinger et al. (1992), reportaram que o  $\text{NH}_4^+$  representa no mínimo 30% do N mineral do solo ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ), e que, o teste de  $\text{NH}_4^+$  em adição ao teste de  $\text{NO}_3^-$  no solo em estádios iniciais, melhorou a predição da produtividade de milho. Blackmer et al. (1989), por sua vez, reportaram que não existe benefício ao incluir o teste de  $\text{NH}_4^+$  junto com o de  $\text{NO}_3^-$ .

O N do solo está sujeito a processos simultâneos de mineralização e imobilização. A mineralização resulta no aumento do teor de N mineral e a imobilização microbiana consiste na assimilação do N mineral pela população microbiana (AITA et al., 2004). Os processos de mineralização-imobilização representam um subciclo dentro do ciclo do N, sendo que a prevalência de um sobre o outro definirá se o solo terá maior ou menor disponibilidade de N inorgânico para as plantas (RECOUS; MARY; FAURIE, 1990; CANTARELLA, 2007).

As variações na concentração de nitrato e amônio no solo estão relacionadas ao aporte de N pelas plantas de cobertura, doses de fertilizante, remoção pelas culturas e variações estacionais de temperatura e precipitação (SAINJU et al., 2007). No Brasil, Poletto et al. (2008), numa avaliação sazonal dos teores de nitrato e amônio em um Argissolo

Vermelho Distrófico, encontraram incrementos nos teores de N mineral no início da primavera, com um máximo de concentração no verão e um mínimo no inverno. Essa variação sazonal foi acompanhada pelas oscilações na temperatura média. A proporção de nitrato e amônio encontrado pelos autores foi de 1:1.

### **2.3 Fertilizantes de liberação controlada**

Até pouco tempo atrás não existia uma distinção entre os termos “liberação lenta” e “liberação controlada”, pois eram considerados sinônimos. Atualmente existe uma tendência de se adotar a definição proposta por Shaviv et al. (2005), que considera os fertilizantes de liberação controlada (FLC) como sendo aqueles nos quais são conhecidos os fatores que determinam a quantidade, o padrão e a duração da liberação do nutriente para as plantas. Já os fertilizantes de liberação lenta (FLL), são aqueles que liberam os nutrientes de forma mais lenta que os fertilizantes normais, mas dos quais não são bem caracterizadas a quantidade, o padrão e a duração da liberação dos nutrientes.

Os FLC, de uma forma geral, oferecem maior controle sobre a duração, o padrão, e a taxa de liberação de nutrientes, o que permite maior eficiência e minimiza os impactos ambientais (SHAVIV, 2005). Além disso, os FLC são menos sensíveis a fatores ambientais e de solo, quando comparados com outros fertilizantes.

O padrão de liberação de nutrientes dos FLC é geralmente sigmoidal, com uma primeira fase de lenta liberação, passando a uma segunda fase de liberação mais rápida (fase linear), e por fim uma terceira fase de liberação lenta, com disponibilização total do nutriente. Segundo Shaviv, Raban e Zaidel (2003a), esse padrão de liberação sigmoidal é o que melhor se ajusta ao padrão de absorção de nutrientes pelas plantas.

A interação entre a estrutura da membrana do recobrimento dos grânulos de FLC e o ambiente abiótico determina a previsibilidade da liberação do N. Os mecanismos primários de liberação de N envolvem dois passos: primeiro, a dissolução do fertilizante dentro dos grânulos e, segundo, a difusão do N de dentro dos grânulos para a solução do solo.

A temperatura e a umidade do solo, e o tempo, mediam o processo, sendo a temperatura identificada como o fator que mais influencia na liberação do N nos FLC (FUJITA et al., 1983). A umidade do solo, por sua vez, é considerada com efeito de menor significado na liberação dos nutrientes, pois os grânulos geralmente são incorporados em solos com suficiente umidade (FUJITA et al., 1983; GANDEZA et al., 1991).

Na busca pela eficiência da adubação nitrogenada, o foco é a sincronia entre a disponibilidade de N no solo e a demanda do nutriente pelas plantas, nos estádios mais críticos (CREWS; PEOPLE, 2005).

Uma alternativa tecnológica para melhorar a EUF e ao mesmo tempo diminuir possíveis impactos ambientais é a utilização de FLC. A efetividade da utilização dos FLC depende, principalmente, de dois fatores: a sincronização entre a aplicação de fertilizantes e a demanda de nutrientes pelas plantas, e a disponibilidade dos nutrientes por mais tempo (FUJINUMA; BALSTER; NORMAN, 2009).

Diversos trabalhos indicaram que, quando comparadas com a utilização de ureia convencional, os FLC podem, além de aumentar significativamente o rendimento de certas culturas, melhorar a EUN, reduzir a poluição ambiental e aumentar a absorção de N pelas plantas (SHOJI et al., 1991, 2001; SHOJI; KANNO, 1994; NOELLSCH et al., 2009; LI et al., 2011; GAGNON; ZIADI; GRANT, 2012; HU et al., 2012). Entretanto, Grant et al. (2012) observaram redução na produtividade da cultura de milho quando a adubação de semeadura foi realizada com fertilizantes de liberação controlada, comparada com ureia tradicional, o que foi atribuído à baixa disponibilidade de N nos estádios iniciais.

O uso de FLC também permite a aplicação total da dose de N exigida pela cultura na operação de semeadura, pois esses fertilizantes não possuem, de maneira geral, grande potencial de salinização do solo e assim não causam injúrias às plantas, devido ao caráter de lenta liberação, ao contrário do que normalmente ocorreria com os fertilizantes comerciais altamente solúveis (SHAVIV; MIKKELSEN, 1993; SHAVIV, 2000; TRENKEL, 2010).

O uso da dose completa totalmente aplicada na semeadura com FLC não afetará a germinação e emergência das plantas, não influenciará no acamamento e infestação por doenças (SHAVIV; MIKKELSEN, 1993), além de propiciar economia pela eliminação das operações de adubações de cobertura, com menor consumo de combustíveis e trabalho associado às várias aplicações/parcelamentos.

Na literatura podem ser encontradas várias evidências de efeitos positivos da utilização de FLC em diversas culturas. Assim, diversos autores reportaram que os FLC melhoram a eficiência de uso do N, a qualidade e o rendimento de: arroz (YANG et al., 2013), batata (WILSON; ROSEN; MONCRIEF, 2009; ZIADI et al., 2011), cevada (BLACKSHAW et al., 2011), milho (NOELLSCH, 2009; GAGNON; ZIADI; GRANT, 2012; HALVORSON; BARTOLO, 2013; HU et al., 2013), e trigo (YANG et al., 2011; NASH et al., 2012).



### 2.3.1 Ureia revestida com polímeros

Os preços de mercado dos FLC são normalmente superiores aos fertilizantes convencionais, podendo variar de 4 a 8 vezes (TRENKEL, 2010), sendo esta uma das limitações à adoção desses insumos. Recentemente, o desenvolvimento de ureias recobertas com polímero (URP) de baixo custo tem tornado esse tipo de insumo acessível para sistemas de produção de grãos e oleaginosas (CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009; GAGNON; ZIADI; GRANT, 2012).

Du et al. (2008) consideraram os fertilizantes recobertos com polímeros os mais populares e promissórios dentre os FLC, devido às vantagens que apresentam perante os demais tipos.

A combinação de fertilizantes de liberação controlada com fertilizantes convencionais (tradicionais) surge como uma alternativa para diminuir os custos e sobrepujar os problemas da baixa disponibilidade de N no início do ciclo da cultura. Dessa forma, é comum a utilização de misturas (“blends”) desses tipos de fertilizantes em produtos comerciais. Normalmente esses “blends” utilizam combinações que variam de 10 a 50% de fertilizantes convencionais com 90 a 50% de FLC, também chamados comercialmente de fertilizantes de eficiência aumentada. Entretanto, estudos avaliando a utilização de fertilizantes de liberação controlada em milho, em combinação com fontes convencionais de N são escassos (NOELLSCH et al., 2009; GRANT et al., 2012).

Gagnon, Ziadi e Grant (2012) testaram varias fontes de N para o milho. Uma das fontes foi a URP, a qual os autores indicaram como uma alternativa adicional para os produtores em lugar das constantes aplicações de N em cobertura no milho. Os autores mencionaram que embora o preço da URP seja aproximadamente 30% maior que o da ureia convencional, o retorno econômico foi similar ao obtido com as outras fontes de N, considerado três anos agrícolas consecutivos, nos quais também foi avaliado o teor de N mineral no momento da colheita do milho, sendo constatado que a URP promoveu maior teor de N mineral nos três anos.

Noellsch et al. (2009), avaliaram o uso de uma mistura de fertilizantes, compostos de ureia revestida com polímeros (50% URP) e ureia convencional (50% U) na cultura do milho, sendo obtida uma produção de grãos de milho de 890 kg ha<sup>-1</sup> a mais com o “blend” do que com 100% de ureia convencional. Os autores concluíram que dependendo de cada situação específica, a utilização de URP em misturas pode trazer benefícios econômicos e ambientais, e que existem lugares mais responsivos que outros à aplicação de N.



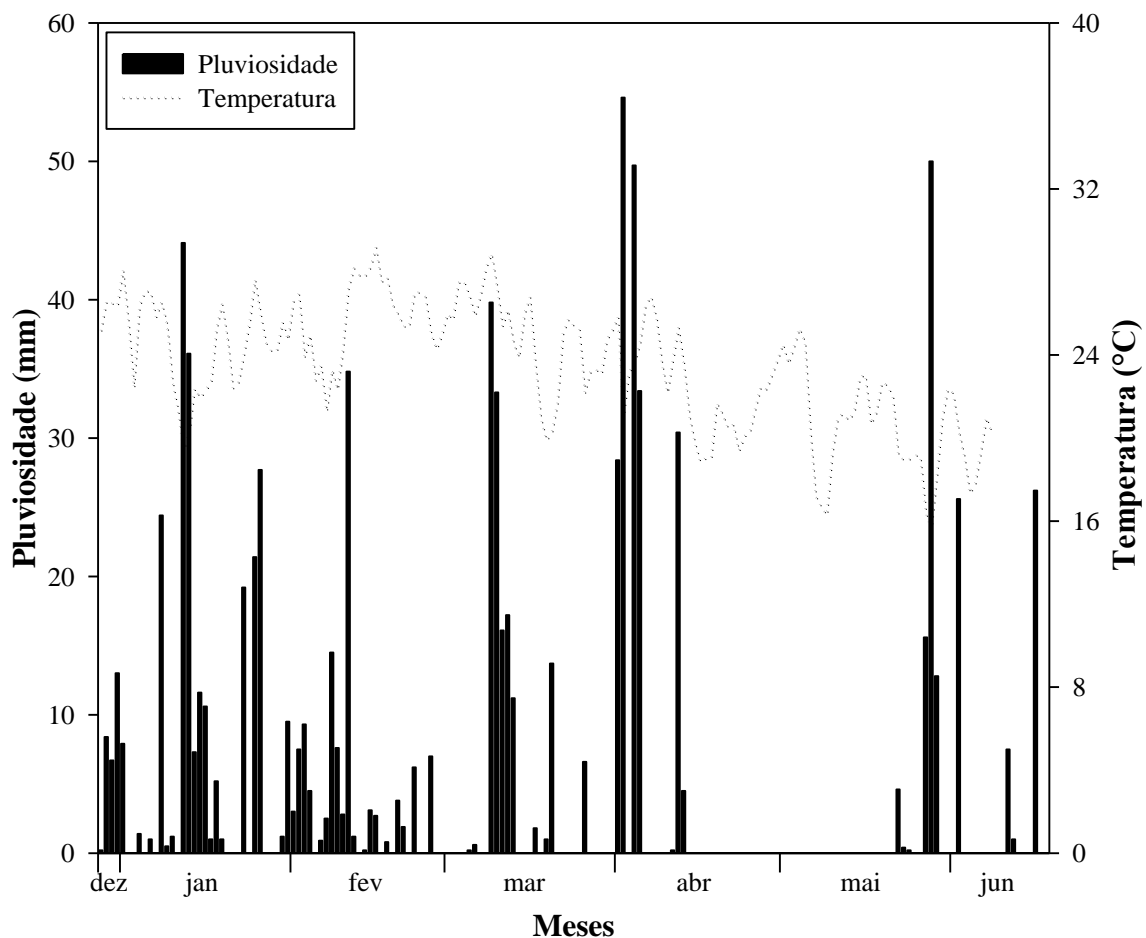


Figura 2 - Pluviosidade diária e temperatura média diária do ar durante o experimento realizado no LVAd (28 de dezembro de 2012 a 19 de junho de 2013)

A caracterização química do solo dos locais com experimentos foi realizada segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001), a partir da coleta de amostras deformadas compostas representativas das camadas 0-0,2 e 0,2-0,4 m (Tabela 1).

Tabela 1 - Características químicas do solo das áreas experimentais, Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa (LVd) do bairro rural de Tanquinho, e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de textura média (LVAd), do campo experimental da ESALQ, nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m

| Solo | Camada<br>(m) | pH<br>CaCl <sub>2</sub> | M.O.<br>g dm <sup>-3</sup> | P<br>resina<br>mg dm <sup>-3</sup> | ----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |    |    |      |    | S<br>SO <sub>4</sub><br>mg dm <sup>-3</sup> |     |
|------|---------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------------|--|----|----|------|----|---|-----|
|      |               |                         |                            |                                    | K  | Ca | Mg | H+Al | Al |   | CTC |
| LVd  | 0-0,2         | 4,8                     | 30                         | 29                                 | 1,3  | 16 | 9  | 47   | 2  | 73  | 14  |
| LVd  | 0,2-0,4       | 4,6                     | 24                         | 21                                 | 0,6  | 10 | 7  | 52   | 3  | 70  | 22  |
| LVAd | 0-0,2         | 4,8                     | 12                         | 26                                 | 1,2  | 14 | 4  | 28   | 1  | 48  | 11  |
| LVAd | 0,2-0,4       | 4,8                     | 9                          | 14                                 | 1,3  | 13 | 3  | 26   | 1  | 44  | 16  |

### 3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas foram compostas por nove linhas de milho com 9 m de comprimento, com espaçamento nas entrelinhas de 0,5 m.

Os tratamentos constaram da aplicação da dose de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, utilizando-se duas fontes de N. Uma das fontes foi ureia recoberta com polímeros (URP) da marca PRODUCOTE<sup>®</sup>, (39% de N). Trata-se de ureia convencional, revestida com uma camada de enxofre (S) e uma camada de polímero biodegradável, não hidrossolúvel. A outra fonte foi ureia convencional (U) com 45% N. As fontes citadas foram aplicadas em sete diferentes proporções (0, 50, 60, 70, 80, 90 e 100% de URP), com a dose integral aplicada na semeadura (base), além do tratamento controle (sem nitrogênio). Adicionalmente foi incluído um tratamento de manejo convencional na cultura de milho, em que a mesma dose de N (180 kg ha<sup>-1</sup> de N) foi aplicada de forma parcelada (20% na semeadura e 80% em cobertura), com U. A descrição detalhada dos tratamentos consta na Tabela 2.

### 3.3 Manejo do experimento

O preparo do solo nos dois locais deu-se aproximadamente dois meses antes da instalação dos experimentos, seguindo métodos de manejo convencional. No LVd foram realizadas duas gradagens e uma aplicação de calcário, visando elevar a saturação por bases até 70%, conforme recomendação de Raij et al. (2001). No LVAd foi realizada uma aração, duas gradagens e aplicação de calcário, também para elevar a saturação por bases até 70%.

Tabela 2 - Tratamentos dos experimentos nos solos LVd e LVAd com as proporções de ureia revestida com polímeros (URP) e ureia convencional (U), além do controle (T1) e o tratamento com ureia em manejo convencional (UMC)

| Tratamentos | Dose total                        | U   | URP |
|-------------|-----------------------------------|-----|-----|
|             | ----- kg N ha <sup>-1</sup> ----- |     |     |
| T1          | Controle                          | -   | -   |
| T2*         | 100% URP + 0% U                   | 180 | -   |
| T3*         | 90% URP + 10% U                   | 180 | 18  |
| T4*         | 80% URP + 20% U                   | 180 | 36  |
| T5*         | 70% URP + 30% U                   | 180 | 54  |
| T6*         | 60% URP + 40% U                   | 180 | 72  |
| T7*         | 50% URP + 50% U                   | 180 | 90  |
| T8*         | 0% URP + 100% U                   | 180 | 180 |
| T9          | UMC**                             | 180 | 180 |

\* aplicação da dose de N (180 kg ha<sup>-1</sup>) na base

\*\* UMC = ureia em manejo convencional. Dose de N (180 kg ha<sup>-1</sup>) aplicada parceladamente (20% na semeadura e 80% em cobertura)

A semeadura de milho no LVD foi realizada no dia 20/12/2012 e no LVAd no dia 28/12/2012. O híbrido utilizado foi o 30F35 HR da Pioneer<sup>®</sup>, que inclui a tecnologia *Herculex*<sup>®</sup>, que controla a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e a da broca da cana de açúcar (*Diatraea saccharalis*), e a tecnologia *RoundupReady*<sup>®</sup>, que confere a resistência à aplicação pós-emergente de herbicidas que contêm glifosato como ingrediente ativo. A semeadura foi realizada manualmente, colocando-se em covas as sementes aos pares, com espaçamento de 0,5 m entre sulcos e 0,33 m entre covas na linha de semeadura (Figura 3). Entre os estádios fenológicos V3 e V4 (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993) foi realizada a operação de raleio das plantas, visando-se obter um espaçamento uniforme de 0,33 m entre as plantas, o que correspondeu a uma população de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Na semeadura foram aplicados 130 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, nas formas de superfosfato simples (SPS) e cloreto de potássio (KCl) respectivamente, conforme recomendação de Cantarella, Rajj e Camargo (1997). Essas doses foram definidas com base na análise do solo e na expectativa de produtividade da cultura de cerca de 8-10 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos. A aplicação dos fertilizantes fosfatados e potássicos foi feita no mesmo sulco da linha de semeadura, 0,05 m mais profundo em relação à posição das sementes.

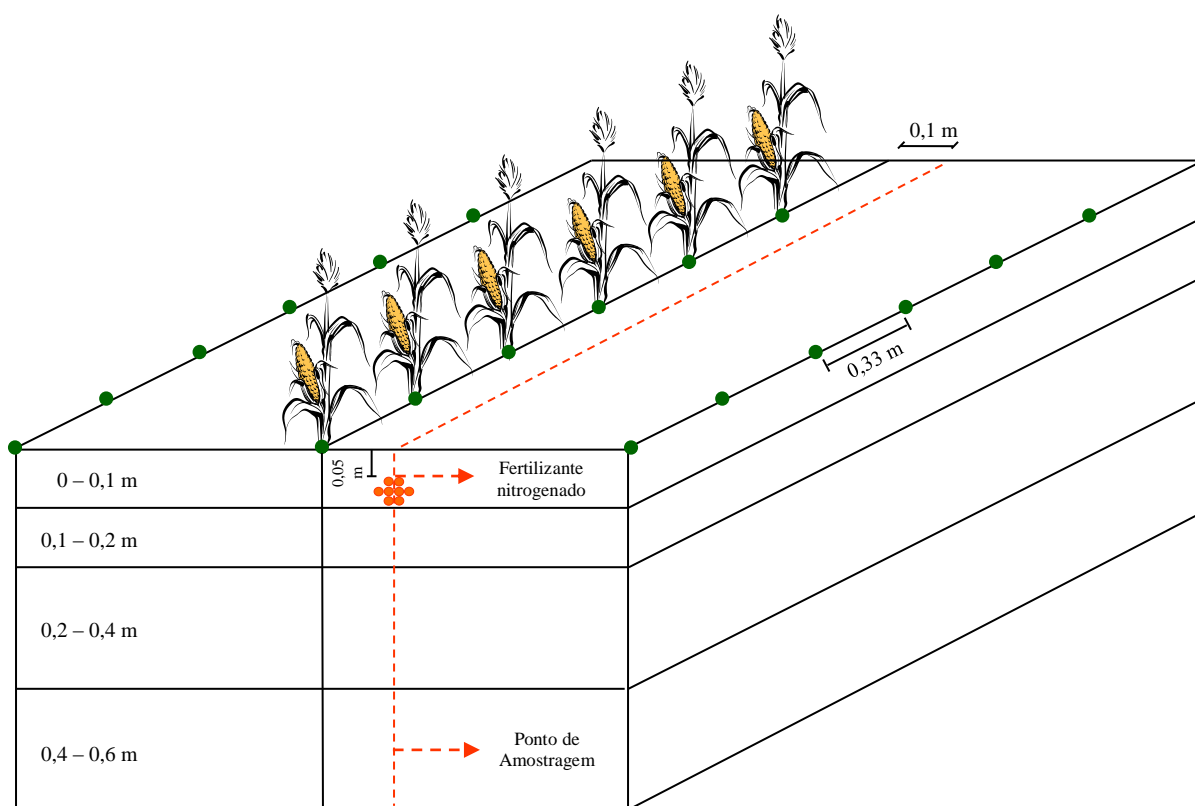


Figura 3 - Esquema de aplicação dos fertilizantes, local e profundidades de amostragem de solo

Quando as plantas estavam no estágio V4 (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993) foram aplicados superficialmente 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O como KCl, que somados à dose aplicada na semeadura, totalizou 130 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Os fertilizantes utilizados como fonte de N foram a ureia convencional (U) e a ureia revestida com polímeros (URP). Estes fertilizantes foram aplicados em faixas, a 0,1 m ao lado da linha de semeadura e a 0,05 m de profundidade, como mostrado em detalhe na Figura 3. No UMC, a dose inicial de N na forma de U (36 kg ha<sup>-1</sup> de N) foi aplicada conjuntamente com o P e K, na semeadura. O restante da dose (144 kg ha<sup>-1</sup> de N) foi aplicado superficialmente, em faixas na entrelinha da cultura, no estágio fenológico V4 no LVd, e V6 no LVAd.

Para o controle das plantas daninhas foram realizadas duas aplicações do herbicida glifosato (1080 g de equivalente ácido ha<sup>-1</sup>), a primeira no estágio V5, e a segunda no estágio V11. O controle de doenças e pragas da cultura foi realizado com duas aplicações de fungicida ciproconazole + azoxistrobina (28 + 70 g p.a. ha<sup>-1</sup>) nos estádios V4 e V12. No controle de insetos sugadores (percevejos e pulgões) foram realizadas duas aplicações de inseticidas, sendo a primeira no estágio V2, utilizando acefato (375 g p.a. ha<sup>-1</sup>), e a segunda no estágio V14 com a mistura de lambdacialotrina + tiametoxam (26,5 + 35,25 g p.a. ha<sup>-1</sup>).

### **3.4 Avaliações realizadas**

#### **3.4.1 Nitrogênio mineral do solo**

O N inorgânico do solo (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) foi determinado em todas as parcelas dos experimentos. Para a determinação do teor de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na solução do solo, foi realizada a amostragem com trado holandês no local de aplicação dos fertilizantes (0,1 m ao lado das linhas de milho) (Figura 3) (Apêndice C). Foram retiradas amostras de solo em três pontos de cada parcela nas camadas de 0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m. As amostras simples foram misturadas e homogeneizadas para obtenção de uma amostra composta de cada parcela e profundidade. Imediatamente após as amostragens, o solo foi acondicionado em recipiente térmico com gelo, a temperatura aproximada de 0°C, para posterior armazenamento em “freezer” a uma temperatura próxima a -15°C, até a realização das análises químicas, segundo recomendações de Mattos Junior, Cantarella e Raij (1995). O procedimento foi necessário uma vez que segundo os autores a conservação de amostras para determinação de N mineral não é eficaz quando mantidas em refrigerador (5°C) ou secas ao ar. No LVd, o solo

foi amostrado no dia da semeadura (20/12/2012) e nos estádios fisiológicos V4, V12 e R3 do milho, correspondendo 33, 68 e 124 dias após a semeadura respectivamente. No LVAd as amostragens foram realizadas no dia da semeadura (28/12/2012) e nos estádios V6, V14 e R4 do milho (36, 65 e 129 dias após a semeadura respectivamente).

A extração das formas inorgânicas de N do solo foi realizada em uma subamostra de 5 g com base em massa úmida, à qual se adicionou 50 mL de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (relação solo:solução extratora de 1:10 – m/v) (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001). Após agitação por uma hora da mistura de solo e solução extratora em agitador horizontal, filtrou-se a solução, realizando-se posteriormente a determinação da concentração de N mineral nesses extratos, por meio de sistema de análise por injeção em fluxo (FIA – “Flow injection analysis”) (Apêndice C). As formas nítricas de N (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) foram determinadas simultaneamente, mas como a quantidade de nitrito é considerada mínima, os resultados foram expressos somente como nitrato. O nitrato foi determinado conforme descrito por Giné et al. (1980), por método espectrofotométrico, mediante redução do nitrato a nitrito por coluna de cádmio coperizado, com posterior reação do nitrito com sulfanilamida em meio ácido, formando um azo-composto. O amônio foi determinado a partir da formação de amônia em meio alcalino, permeável em membrana hidrofóbica (PTFE), sendo o fluxo direcionado para uma célula de condutividade, conforme metodologia descrita por Reis et al. (1997). No momento da extração do N mineral do solo, também foi determinada a umidade do solo, por meio da secagem de subamostras a 105°C em estufa por 48 h. Os teores de N inorgânico no solo foram expressos com base na massa de solo seco em estufa (105°C), na forma de N-nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), N-amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e nitrogênio mineral (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

### **3.4.2 Produtividade de grãos (PG)**

No fim do ciclo da cultura (estádio R6) foi determinada a produtividade de grãos (Mg ha<sup>-1</sup>) por meio da coleta manual das espigas em 6,5 m<sup>2</sup> por parcela (duas fileiras centrais das parcelas, desprezando-se 1,25 m em cada extremidade). As espigas foram debulhadas para separação dos grãos, e a produtividade foi determinada por meio da pesagem dos grãos colhidos, com correção de umidade para 13%. No LVd a colheita foi realizada no dia 08/06/2013 e no LVAd no dia 19/06/2013.

### **3.4.3 Produção de massa seca da parte aérea (MSPA)**

A produção de MSPA foi determinada com a coleta de quatro plantas dentro de cada parcela, escolhidas aleatoriamente, no momento da colheita de cada área experimental. O

material coletado foi seco em estufa a 65°C, e depois determinada a massa, sendo posteriormente os resultados expressos em Mg ha<sup>-1</sup>, utilizando no cálculo a densidade populacional do experimento (60.000 plantas ha<sup>-1</sup>).

#### **3.4.4 Nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA) e exportação de nitrogênio nos grãos (ENG)**

O material utilizado para a determinação da produção de MSPA foi triturado em moinho tipo Wiley, homogeneizado e subamostrado. Nas subamostras, foi determinado a concentração de N (g kg<sup>-1</sup>) por digestão-destilação Kjeldahl. O nitrogênio acumulado foi calculado como o produto da concentração de N (g kg<sup>-1</sup>) e a soma da massa seca de todas as frações da parte aérea do milho (kg ha<sup>-1</sup>). A exportação de nitrogênio nos grãos foi calculado como o produto da concentração de N nos grãos (g kg<sup>-1</sup>) pela massa seca total dos grãos de milho (kg ha<sup>-1</sup>).

#### **3.4.5 Eficiência de utilização interna de nitrogênio (EUIN)**

Para realizar o cálculo da EUIN foi utilizado um dos índices mais comuns empregados em pesquisas referentes ao melhoramento da utilização de fertilizantes, segundo Dobermann (2007):

$$EUIN \text{ (kg Mg}^{-1}\text{)} = NAPA / PG$$

Em que:

NAPA= Quantidade total de nitrogênio acumulado na parte aérea do milho nos tratamentos com ou sem adubação nitrogenada (kg ha<sup>-1</sup>).

PG= Produtividade de grãos nos tratamentos com ou sem aplicação de nitrogênio (Mg ha<sup>-1</sup>).

### **3.5 Análise estatística**

Os resultados foram submetidos a análise de variância ( $p \leq 0,1$ ) e havendo efeitos significativos dos tratamentos, foram realizadas análises de contraste de médias ( $p \leq 0,1$ ) conforme coeficientes apresentados no Anexo A. Para os tratamentos quantitativos (proporções de URP e U), quando significativos os efeitos desses tratamentos, foram realizadas análises de contraste polinomial de primeiro e segundo grau e apresentadas na



forma de curvas de regressão. Também foi realizado o teste de correlação de Pearson ( $p \leq 0,1$ ) entre os teores de nitrogênio mineral ( $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ ) nas camadas amostradas e a produtividade de grãos. Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o programa SAS (SAS Institute, 1995).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média diária do ar e a pluviosidade diária ocorridas durante o período experimental estão indicadas na Figura 1 e 2, respectivamente, para o LVd e o LVAd. No experimento com LVd, durante os 170 dias do ciclo do milho, ocorreu precipitação pluviométrica de 670 mm, e uma temperatura média diária de 23,1°C. Desde meados de abril até a terceira semana de maio, foi observado um período de quase 40 dias sem chuvas quando as plantas de milho estavam no estágio fenológico R5 avançado, no qual o estresse hídrico poderia resultar em redução no acúmulo de massa seca nos grãos da ordem de 5 a 10% (AFUAKWA; CROOKSTON, 1984). No experimento com LVAd, em que o ciclo da cultura de milho durou 173 dias, a precipitação pluviométrica foi de 861,6 mm e a temperatura média diária foi de 23,1°C. Nessa área foi observado um período de seca de 38 dias, também desde meados de abril até a terceira semana de maio. Durante esse período de estresse hídrico o milho estava no estágio fenológico R5, o que segundo Afuakwa e Crookston (1984), poderia resultar em perdas na produtividade de grãos da ordem de 10-15%.

### 4.1 Nitrogênio mineral do solo

#### 4.1.1 Experimento no solo LVd (bairro rural de Tanquinho)

Estudos da dinâmica do N do solo com a aplicação de fertilizantes nitrogenados devem envolver não apenas o monitoramento da evolução das quantidades de N mineral, mas também a sua distribuição no perfil do solo.

Na Figura 4 podem ser observados os teores médios de nitrogênio inorgânico nas diferentes camadas de solo em todas as parcelas do experimento no LVd, antes da aplicação dos fertilizantes nitrogenados. Esses dados não foram analisados estatisticamente, uma vez que correspondem à época da semeadura, quando as variações na concentração de N inorgânico não foram causadas pelos tratamentos. O teor médio de  $\text{N-NO}_3^-$  foi menor na camada mais superficial (3,8  $\text{mg kg}^{-1}$ ), comparado com as demais profundidades. Na camada de 0,1-0,2 m foi encontrado um teor de 5,9  $\text{mg kg}^{-1}$ . O maior teor de  $\text{N-NO}_3^-$  foi observado na camada de 0,2-0,4 m (16,8  $\text{mg kg}^{-1}$ ), enquanto que na camada mais profunda (0,4-0,6 m) a concentração média foi de 9,9  $\text{mg kg}^{-1}$ . Na camada de 0-0,1 m o teor médio de  $\text{N-NH}_4^+$  foi de 2,6  $\text{mg kg}^{-1}$  e na de 0,1-0,2 m foi de 2,5  $\text{mg kg}^{-1}$ . Esses teores diminuíram nas camadas mais profundas, pois de 0,2-0,4 m o teor foi de 2,1  $\text{mg kg}^{-1}$  e na camada de 0,4-0,6 m foi de 1,5  $\text{mg kg}^{-1}$ . Observando as concentrações de nitrogênio mineral total (Nm) encontradas no solo, é

possível verificar um aumento até a camada de 0,2-0,4 m. Assim, de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, o teor médio foi de 6,3 e 8,4 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Em 0,2-0,4 m ocorreu um aumento significativo no Nm, que foi de 18,9 mg kg<sup>-1</sup>. Na camada mais profunda, de 0,4-0,6 m o teor diminuiu para 11,4 mg kg<sup>-1</sup>. Um ponto importante a realçar é a participação do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no Nm, de 60, 70, 89 e 87 % nas camadas de 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, respectivamente, mostrando assim grande predominância em relação ao N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, indicando o grande potencial de nitrificação nesse solo e local.

O acúmulo de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> verificado na camada 0,2-0,4 m pode ter ocorrido devido à presença de capacidade de troca aniônica (CTA) nas camadas mais profundas do solo, embora em latossolos a CTA não é de grande magnitude (NEIVERTH, 2013). Outra hipótese para explicar o acúmulo de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nessa camada seria a presença de N remanescente da cultura anterior, que nessa área foi milho verde na primavera-verão da safra 2011/2012, com uma adubação com N de aproximadamente 150 kg ha<sup>-1</sup>. Após o cultivo, o restante do material vegetal foi deixado no campo e o solo permaneceu em pousio até o preparo para o cultivo de milho da safra primavera-verão de 2012-2013. Cabe destacar que na produção de milho verde é exportado o N contido nas espigas (palha + grãos) no estádio R3. Bender et al. (2013a) demonstraram que quando o milho está no estádio R3, ainda tem capacidade de absorver e/ou remobilizar de outras partes da planta 25 a 30% do N total que será absorvido até a maturidade fisiológica. Dessa forma, os resíduos vegetais do milho verde, são altamente ricos em N, e poderiam ter contribuído como reservatório de N no solo para a cultura seguinte. Outra hipótese pode ser que ocorreu ascensão capilar de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> com a movimentação ascendente de água proveniente de camadas mais profundas do solo.

A apresentação dos resultados de N inorgânico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) de forma separada é interessante para estudar as formas predominantes no solo depois da aplicação de produtos nitrogenados. No entanto, quando o objetivo é verificar a quantidade real de N disponível e aproveitável pelas plantas, em um determinado momento do ciclo da cultura, o mais adequado é apresentar o teor de nitrogênio mineral (Nm), que é a soma das formas inorgânicas de N (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), cujos teores variam muito ao longo das estações do ano, conforme as condições climáticas (POLETTI; GROHS; MUNDSTOCK, 2008). Assim, a apresentação dos resultados e a discussão neste trabalho seguirá essa forma, mostrando os resultados de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, mas a discussão estará centrada no teor de Nm.

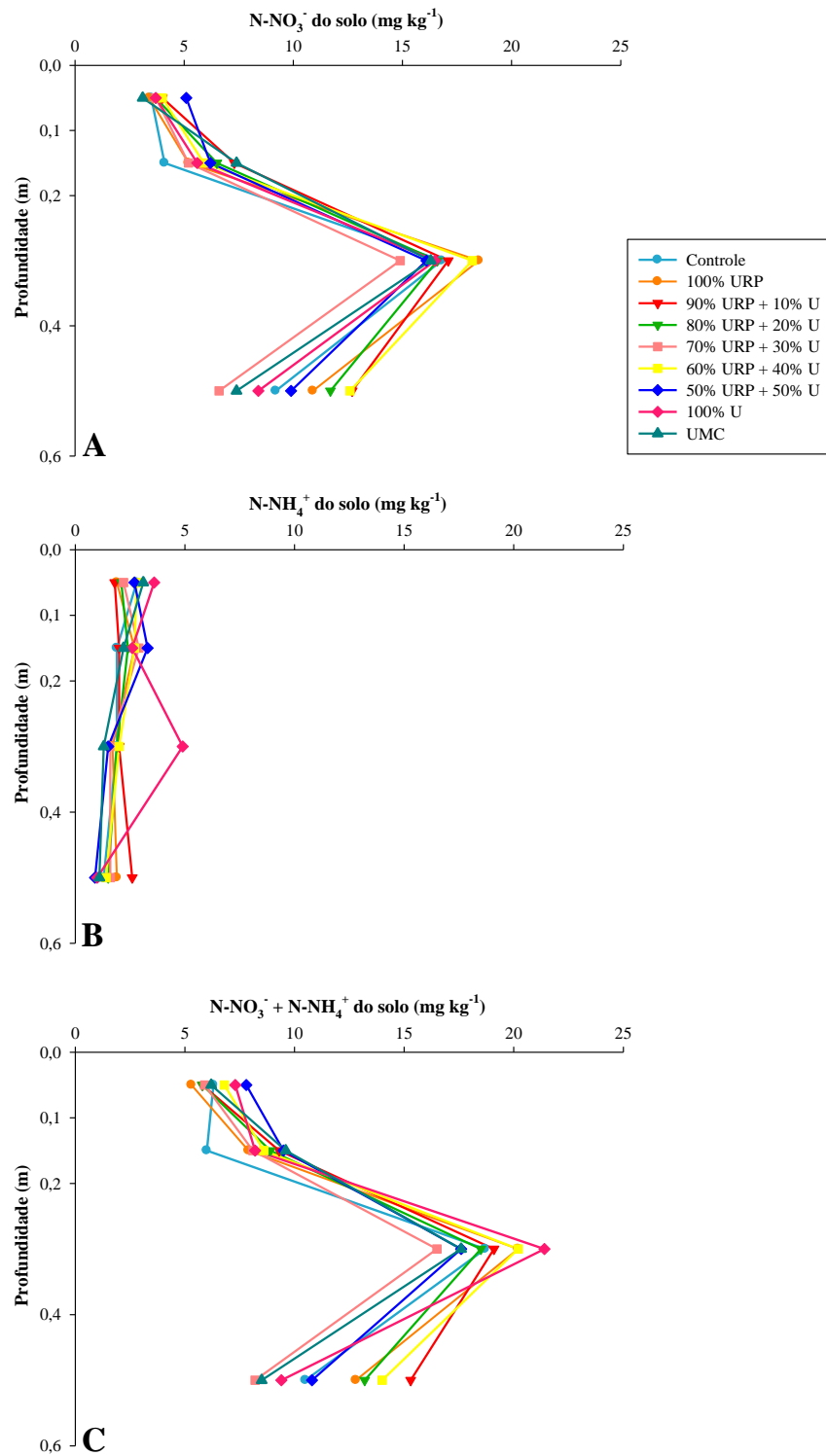


Figura 4 - Teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (A), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (B) e Nm (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (C) em diferentes profundidades no LVd antes da semeadura da cultura de milho

### **Estádio V4 da cultura de milho no LVd**

A primeira amostragem depois da aplicação dos fertilizantes no LVd foi realizada no estágio V4 da cultura de milho. Cabe destacar que nesse estágio as folhas e as inflorescências femininas ou espigas potenciais que a planta eventualmente produzirá estão sendo formadas (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993), sendo considerado um estágio crítico por ser definidor do potencial produtivo da cultura, e para tanto, as plantas de milho precisam estar bem supridas de N.

A distribuição do Nm no perfil do solo é mostrada na Figura 5 e as estimativas dos contrastes entre grupos de tratamentos apresentadas na Tabela 3. Com base nos teores de Nm constatados na semeadura (Figura 4), observa-se que ocorreu aumento tanto de  $\text{N-NO}_3^-$  como de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo, e conseqüentemente no de Nm em função da aplicação de N-fertilizante. Os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  foram maiores que os de  $\text{N-NH}_4^+$ , principalmente nas camadas mais profundas (0,2-0,4 e 0,4-0,6 m), onde pode ser observado um decréscimo importante dos teores de  $\text{N-NH}_4^+$  em relação aos observados nas camadas mais superficiais. Esse fato parece indicar que a forma amoniacal é retida na capacidade de troca de cátions (CTC) das camadas mais superficiais do solo e que o N-nítrico moveu-se verticalmente no perfil do solo.

Observou-se que a quantidade de  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{N-NH}_4^+$  e Nm nas camadas de 0-0,1 e 0-0,2 m do tratamento 100% U foi superior à dos demais, inclusive aos tratamentos com URP, nos quais também a dose total foi aplicada na semeadura. A aplicação de 180 kg de N  $\text{ha}^{-1}$  como ureia convencional na adubação de base, indica que pelo menos até o estágio V4, é possível garantir o fornecimento de N às plantas em quantidade suficiente (88 mg  $\text{kg}^{-1}$ ), maior que as demais estratégias avaliadas. Um fato interessante ocorreu com o tratamento 100% U, que mostrou teores altamente superiores que o UMC nas camadas mais superficiais, embora a fonte de N tenha sido também a ureia convencional. Talvez a quantidade aplicada de N na semeadura de milho no UMC não foi suficiente, embora seja uma recomendação dos principais boletins nacionais. Esse fenômeno pode ser atribuído à diferença de quantidade de N adicionado nos tratamentos, uma vez que no 100% U foi aplicada a totalidade da dose na semeadura, enquanto no UMC foram aplicados somente 36 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N (20% da dose total como adubação de base). Assim, uma parte desse N foi deslocado para as camadas mais profundas (como ocorreu com o UMC), mas como a quantidade total de N adicionado como ureia foi muito maior, ainda restou N nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m.

Os tratamentos com URP propiciaram menores teores de Nm que o 100% U nas camadas mais superficiais (0-0,1 e 0,1-0,2 m), e quantidade similar nas camadas mais profundas (0,2-0,4 e 0,4-0,6 m). Cabe destacar que esse é um comportamento esperado para

esse tipo de fertilizante, do qual se espera liberação gradual sem comprometer o fornecimento do nutriente às plantas nos estádios críticos (SHOJI et al., 2001). Embora os teores de Nm nas duas camadas mais superficiais dos tratamentos com URP foram menores que o 100% U, pode se observar que os teores nesses tratamentos com o fertilizante de liberação controlada variaram de 47,2 a 79,2 mg kg<sup>-1</sup>. Os tratamentos com URP e o de 100% U, comparados com o UMC, resultaram em maiores teores de Nm até a camada 0,2-0,4 m. Na camada mais profunda (0,4-0,6 m) foram observadas quantidades similares nos tratamentos do estudo, talvez porque o N proveniente da ureia aplicada no UMC (36 kg de N ha<sup>-1</sup>), foi deslocada rapidamente para as camadas mais profundas.

Há relação linear inversa significativa dos teores de Nm na camada de 0-0,1 m do solo em função do aumento da proporção de URP na dose total de N (Figura 6). Os teores de Nm nessa camada de solo diminuíram com o aumento da proporção de URP. A ureia convencional disponibiliza no solo N nas formas minerais rapidamente, ao contrario da URP, que apresenta características de lenta liberação, disponibilizando o nutriente de forma gradual e não prontamente. Dessa forma, o teor de Nm no solo na camada mais superficial dependeu diretamente da quantidade de ureia convencional presente na mistura dos fertilizantes.

São escassos os trabalhos relacionados à dinâmica e concentração do N mineral do solo em função da aplicação de fertilizantes de liberação controlada em condições de campo e durante os ciclos de cultivos agrícolas. A maioria dos estudos com esse tipo de fertilizante são realizados em casas de vegetação e em laboratório, e são vários os autores que afirmaram existir grandes diferenças entre o observado nessas condições controladas e em campo.

Hu et al. (2013), em trabalho realizado em campo para avaliar a eficiência de utilização de um fertilizante de liberação controlada com distintas variedades de milho, reportaram resultados similares aos encontrados neste estudo. Nos estádios iniciais, os teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo foram superiores nos tratamentos com aplicação de ureia convencional, e menores nos que se aplicou ureia de liberação controlada. Resultados similares foram mostrados por Nelson, Paniagua e Motavalli (2009), em experimento com milho e fertilizantes de eficiência aumentada, que também encontraram menores teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nos tratamentos com ureia de liberação controlada em relação aos tratamentos com ureia convencional, nos estádios iniciais do milho. Nos dois trabalhos, os autores atribuíram esse comportamento do N no solo ao fato que os fertilizantes de eficiência aumentada liberam o nutriente de forma gradual, disponibilizando menos N nos estádios iniciais, evitando alta disponibilidade de N no solo quando a exigência pela cultura ainda é baixa. Em adição, cabe destacar que nos estádios iniciais as plantas de milho não dispõem de sistema radicular

suficientemente desenvolvido para absorver grandes quantidades de N. Dessa forma, podem ser evitadas perdas de N por lixiviação com a utilização de fertilizantes que disponibilizem o nutriente em sincronia com o padrão de absorção da cultura, como parece ser o caso da ureia revestida com polímeros usada neste trabalho.

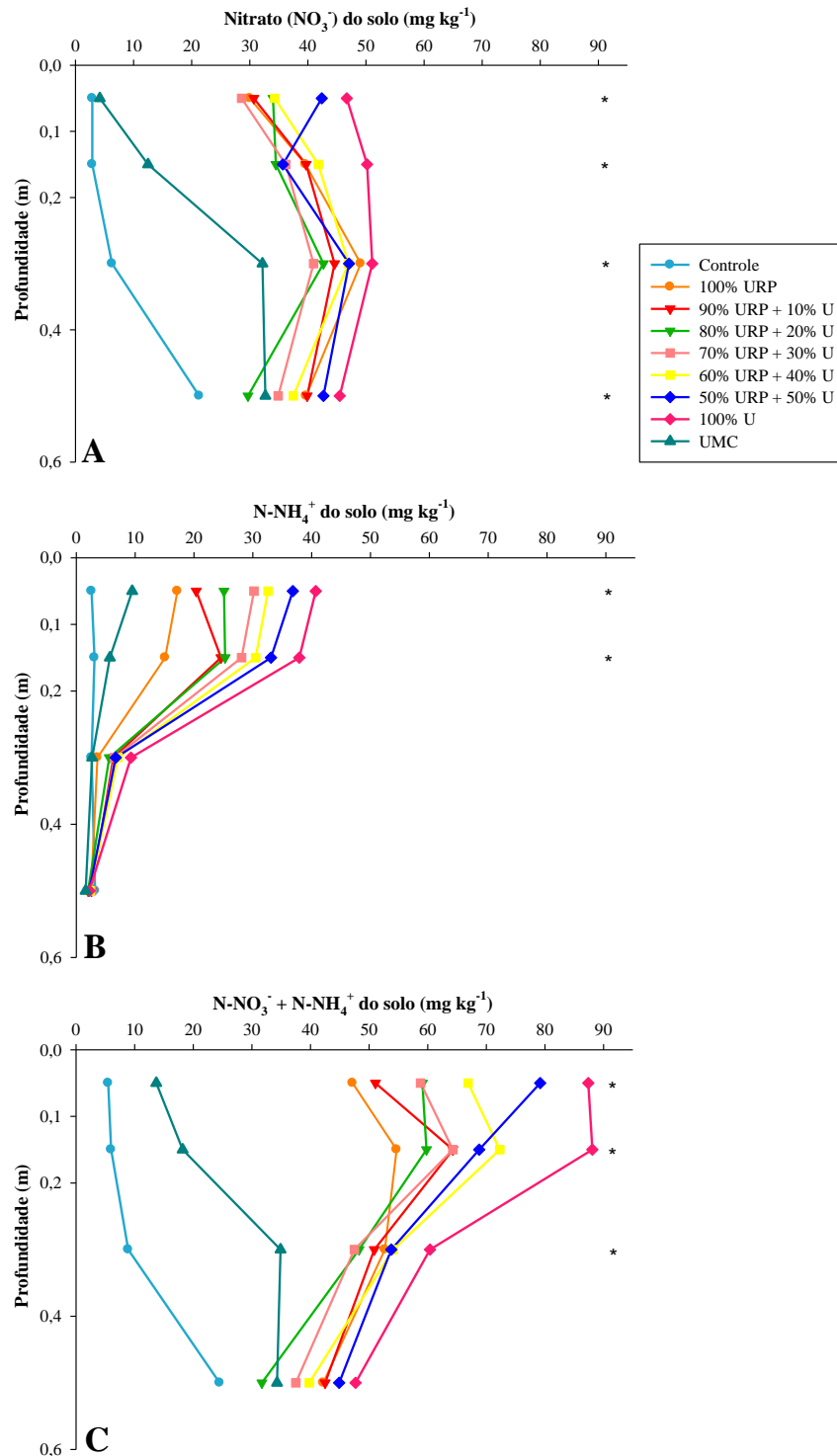


Figura 5 - Teores de  $\text{N-NO}_3^-$  (A),  $\text{N-NH}_4^+$  (B) e Nm ( $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ ) (C) em diferentes profundidades no LVd no estágio V4 da cultura de milho. \* indica efeito significativo dos tratamentos com  $p \leq 0,1$

Tabela 3 - Estimativas de contraste para valores de  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4^+$  e Nm ( $N-NO_3^- + N-NH_4^+$ ) em  $mg\ kg^{-1}$ , nas diferentes profundidades no LVd. Amostragem realizada no estádio V4 da cultura de milho

| Contraste          | Estádio V4 da cultura de milho         |            |         |            |            |         |            |            |        |            |            |       |
|--------------------|--|------------|---------|------------|------------|---------|------------|------------|--------|------------|------------|-------|
|                    | Estimativa de contraste <sup>(1)</sup> |            |         |            |            |         |            |            |        |            |            |       |
|                    | $N-NO_3^-$                             | $N-NH_4^+$ | Nm      | $N-NO_3^-$ | $N-NH_4^+$ | Nm      | $N-NO_3^-$ | $N-NH_4^+$ | Nm     | $N-NO_3^-$ | $N-NH_4^+$ | Nm    |
|                    | 0-0,1 m                                |            |         | 0,1-0,2 m  |            |         | 0,2-0,4 m  |            |        | 0,4-0,6 m  |            |       |
| URP vs Controle    | 182,0*                                 | 146,7*     | 328,8*  | 210,4*     | 138,1*     | 348,6*  | 233,9*     | 20,1       | 254,0* | 96,8*      | -4,7       | 92,0  |
| URP vs 100% U      | -80,4*                                 | -82,1*     | -162,4* | -73,6*     | -70,7*     | -144,3* | -34,9      | -20,2      | -55,1  | -48,6      | 0,8        | -47,8 |
| URP vs UMC         | 174,8*                                 | 105,2*     | 280,0*  | 152,4*     | 122,5*     | 274,9*  | 78,3*      | 19,8       | 98,1*  | 28,3       | 4,8        | 33,1  |
| 100% U vs Controle | 43,7*                                  | 38,1*      | 81,9*   | 47,3*      | 34,8*      | 82,1*   | 44,8*      | 6,7*       | 51,5*  | 24,2*      | -0,9       | 23,3  |
| UMC vs Controle    | 1,2                                    | 6,9        | 8,1     | 9,7        | 2,6        | 12,3    | 25,9*      | 0,1        | 26,0*  | 11,4       | -1,6       | 9,8   |
| 100% U vs UMC      | 42,5*                                  | 31,2*      | 73,7*   | 37,7*      | 32,2*      | 69,9*   | 18,8*      | 6,7*       | 25,5*  | 12,8       | 0,7        | 13,5  |
| Linear % URP       | 67,6                                   | 140,0*     | 207,6*  | -11,6      | 110,9*     | 99,4    | -4,7       | 19,0       | 14,2   | 13,1       | -1,8       | 11,3  |
| Quadrático % URP   | 46,2                                   | -4,1       | 42,0    | 11,9       | 27,9       | -15,9   | 54,8       | -10,1      | 44,7   | 76,8       | 0,6        | 77,4  |
| C.V. (%)           | 35,3                                   | 37,5       | 22,8    | 32,3       | 27,9       | 22,4    | 22,2       | 60,2       | 22,6   | 26,6       | 71,0       | 25,5  |

<sup>(1)</sup> Valores positivos indicam superioridade do primeiro grupo, enquanto valores negativos indicam superioridade do segundo grupo; \* indica efeito significativo dos contrastes com  $p \leq 0,1$

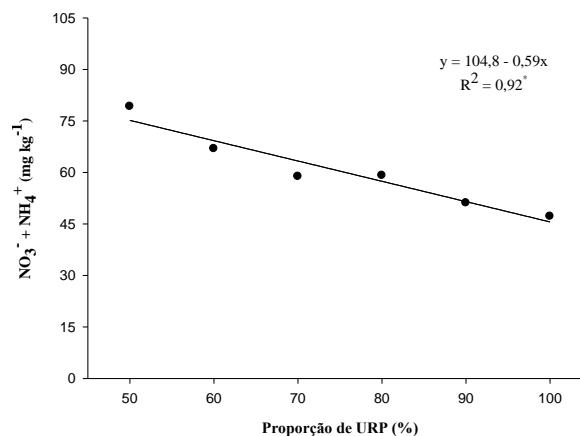


Figura 6 - Teores de N mineral ( $N-NO_3^- + N-NH_4^+$ ) na camada de 0-0,1 m no LVd em função da proporção de ureia revestida com polímeros (URP) aplicada na sementeira. Amostragem de solo realizada no estádio V4 da cultura de milho. \* indica significância com  $p \leq 0,1$



### **Estádio V12 da cultura de milho no LVd**

A segunda amostragem de solo depois da aplicação dos fertilizantes no LVd foi realizada no estágio V12. Nesse estágio, o número de óvulos (grãos potenciais) em cada inflorescência feminina e o tamanho da espiga estão sendo determinados (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993). Bender et al. (2013a) mostraram que existe um período de aproximadamente 10 dias de máxima absorção de N pelo milho, entre os estágios V10 e V14, em que ocorre uma absorção de  $8,9 \text{ kg dia}^{-1}$ . Por isso, a disponibilidade do nutriente e umidade do solo são fundamentais nesse período.

Os resultados da distribuição de Nm no perfil do solo no estágio V12 da cultura de milho são mostrados na Figura 7. Na Tabela 4 constam as estimativas dos contrastes. Considerando o observado no estágio V4 (Figura 5), pode-se notar que ocorreram mudanças nos teores de Nm, devido, principalmente, à redução nas concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  em alguns tratamentos. Foi verificado um abrupto decréscimo no teor de Nm do tratamento 100% U nas camadas mais superficiais (0-0,1 e 0,1-0,2 m), provavelmente devido ao deslocamento vertical do ânion  $\text{NO}_3^-$  ou à absorção pelas plantas. A perda de  $\text{NH}_3$  por volatilização pode ser considerada mínima nesse caso, uma vez que a ureia foi incorporada ao solo, operação que diminui em grande parte as perdas de N por essa via (LARA CABEZAS et al., 2000; TRIVELIN et al., 2002). Nas camadas mais profundas (0,2-0,4 e 0,4-0,6 m) foi observado que os teores de Nm desse mesmo tratamento são mais elevados que nas camadas superficiais, o que reforça a hipótese de que ocorreu deslocamento vertical de  $\text{NO}_3^-$ , assim como absorção da forma inorgânica pelas plantas de milho. O tratamento UMC mostrou concentrações similares às misturas de U e URP, que pode ser devido ao menor tempo que o fertilizante ficou sujeito a perdas/transformações no solo. O nitrato, por ser mais móvel que o amônio se acumulou em profundidade, principalmente de 0,4-0,6 m.

Nos tratamentos com URP foram verificados maiores teores de Nm em relação ao 100% U e o controle, na camada de 0-0,1 m, e similares aos do UMC, no qual a ureia convencional foi aplicada em cobertura ( $144 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ) no estágio V4 das plantas de milho, o que justifica o incremento no teor de Nm em V12. Em relação a este ponto, é importante esclarecer que a aplicação em cobertura do complemento da dose de N no tratamento UMC na forma de ureia convencional, foi realizada em faixas na entrelinha, na superfície do solo, não sendo o fertilizante nitrogenado incorporado como nos demais tratamentos. Ressalte-se que a amostragem de solo para determinação dos teores de N inorgânico foi realizado no mesmo local do terreno que nos demais tratamentos (0,1 m das linhas de milho). Esse detalhe deve ser levado em consideração ao se analisar os teores

observados neste tratamento, uma vez que pode dar lugar a falhas de interpretação na comparação entre os tratamentos do experimento.

É possível observar que nos tratamentos com URP realmente ocorreu disponibilização gradual do nutriente às plantas. De forma semelhante às demais amostragens, foi observado que o teor de  $N-NH_4^+$  diminuiu muito nas camadas mais profundas, em relação às concentrações nas camadas mais superficiais.

Em relação às proporções de URP verificou-se que o aumento da quantidade de ureia convencional nos tratamentos diminuiu a disponibilidade de Nm na camada mais superficial do solo. Esses resultados no estádio V12 (Figura 8) indicam que ocorreu exatamente o contrário do observado no estádio V4 (Figura 6). O N proveniente da ureia convencional das misturas, pode ter sido perdido, transformado e/ou absorvido pelas plantas mais rapidamente que o N da URP, uma vez que nesta fonte o nutriente é liberado gradativamente por meio da difusão dos grânulos de fertilizante à solução do solo, sendo menos passível a perdas (TRENKEL, 2010). Isso ficou mais evidente na camada de 0-0,1 m, sendo possível estabelecer uma regressão linear relacionando a quantidade de URP nas misturas com o teor de Nm no solo. O comportamento do Nm observado, confirma que ocorreu uma liberação gradual de N por parte da URP, e que quanto maior a proporção deste produto na mistura, mais N é disponibilizado nos estádios mais tardios do milho.

Hu et al. (2013) e Nelson, Paniagua e Motavalli (2009), também encontraram maiores teores de Nm no solo nos estádios mais tardios do milho nos tratamentos com URP quando comparados com tratamentos com ureia convencional. No entanto, Grant et al. (2012), em estudo com milho e diversas estratégias de utilização de URP, entre as quais testaram a utilização de misturas ou “blends” (50% URP + 50% U) não observaram nenhuma vantagem com a utilização de URP, e concluíram que parcelando a aplicação de N na forma de ureia convencional foram obtidos resultados melhores e/ou similares aos da URP com qualquer estratégia, incluindo a misturas dos fertilizantes. Mesmo assim, os autores reconheceram que existem condições nas quais pode se justificar a utilização de URP, e que deve ser conferida especial atenção ao tipo de polímero e/ou recobrimento usado nos produtos, uma vez que pode limitar e alterar facilmente o padrão de liberação de N a partir dos grânulos.

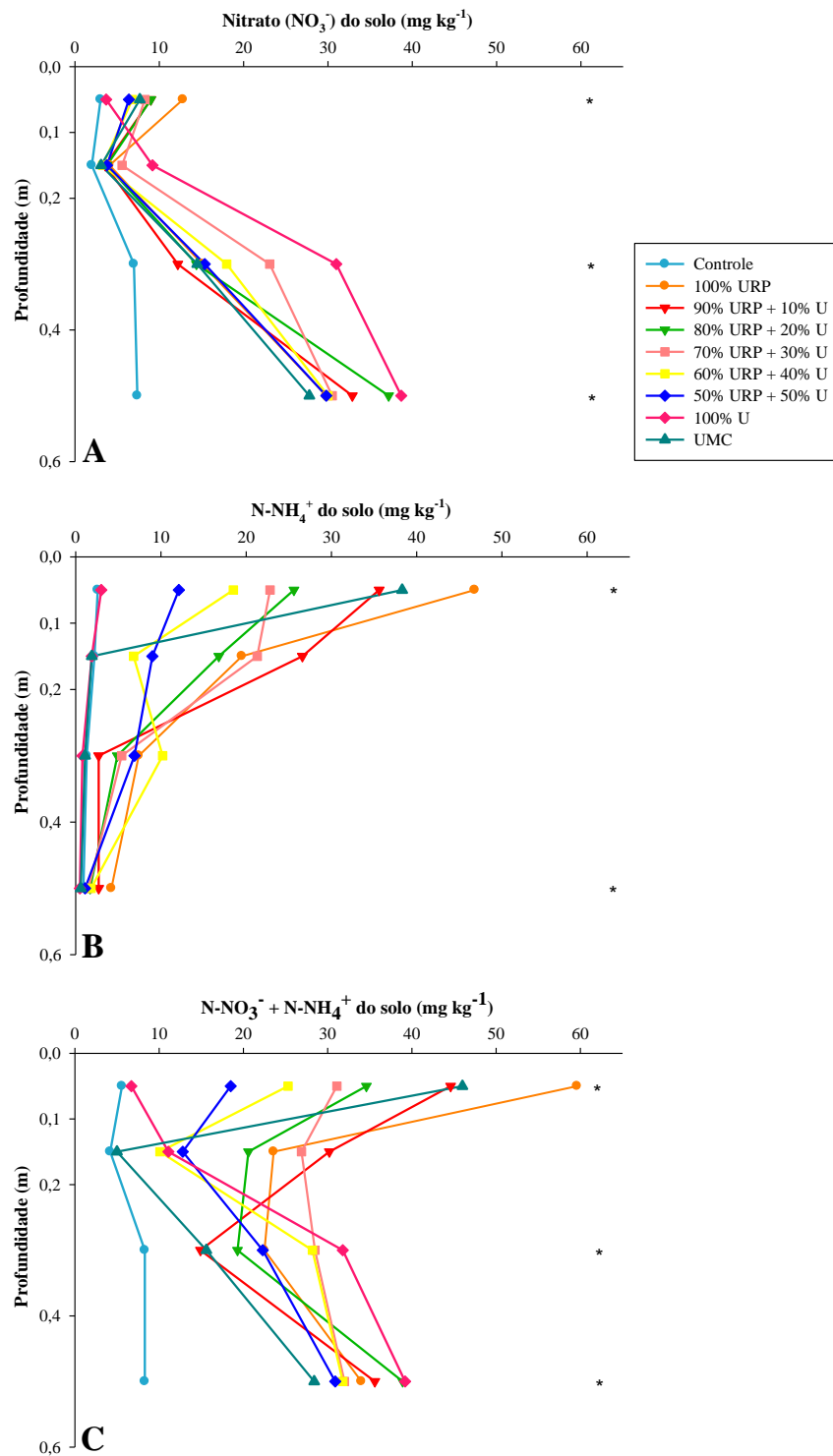


Figura 7 - Teores de  $\text{N-NO}_3^-$  (A),  $\text{N-NH}_4^+$  (B) e Nm ( $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ ) (C) em diferentes profundidades no Lvd no estágio V12 da cultura de milho. \* indica efeito significativo dos tratamentos com  $p \leq 0,1$

Tabela 4 - Estimativas de contraste para valores de  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{N-NH}_4^+$  e Nm ( $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ ) em  $\text{mg kg}^{-1}$ , nas diferentes profundidades no LVd. Amostragem realizada no estádio V12 da cultura de milho

| Contraste          | Estádio V12 da cultura de milho        |                   |         |                   |                   |        |                   |                   |       |                   |                   |        |
|--------------------|--|-------------------|---------|-------------------|-------------------|--------|-------------------|-------------------|-------|-------------------|-------------------|--------|
|                    | Estimativa de contraste <sup>(1)</sup> |                   |         |                   |                   |        |                   |                   |       |                   |                   |        |
|                    | $\text{N-NO}_3^-$                      | $\text{N-NH}_4^+$ | Nm      | $\text{N-NO}_3^-$ | $\text{N-NH}_4^+$ | Nm     | $\text{N-NO}_3^-$ | $\text{N-NH}_4^+$ | Nm    | $\text{N-NO}_3^-$ | $\text{N-NH}_4^+$ | Nm     |
|                    | 0-0,1 m                                |                   |         | 0,1-0,2 m         |                   |        | 0,2-0,4 m         |                   |       | 0,4-0,6 m         |                   |        |
| URP vs Controle    | 34,1*                                  | 146,0*            | 180,0*  | 12,1              | 86,5              | 98,6   | 56,1*             | 29,7              | 85,7* | 145,7*            | 7,7               | 153,4* |
| URP vs 100% U      | 30,2*                                  | 143,5             | 173,7*  | -31,0             | 88,4              | 57,4   | -87,3*            | 32,3              | -55,0 | -42,0*            | 10,0*             | -32,0* |
| URP vs UMC         | 6,3                                    | -68,6             | -62,3   | 5,4               | 88,4              | 93,8   | 11,1              | 31,1              | 42,3  | 23,5              | 9,7*              | 33,2*  |
| 100% U vs Controle | 0,6                                    | 0,4               | 1,0     | 7,2*              | -0,3              | 6,9    | 23,9*             | -0,4              | 23,5* | 31,3*             | -0,4              | 30,9*  |
| UMC vs Controle    | 4,6*                                   | 35,7*             | 40,4*   | 1,1               | -0,3              | 0,8    | 7,5               | -0,2              | 7,2   | 20,4*             | -0,3              | 20,0*  |
| 100% U vs UMC      | -4,0*                                  | -35,3*            | -39,3*  | 6,1               | 0,01              | 6,1    | 16,4*             | -0,2              | 16,2* | 10,9*             | -0,05             | 10,9*  |
| Linear % URP       | -39,2*                                 | -227,9*           | -267,2* | -0,8              | -107,5            | -108,3 | 27,8              | 20,1              | 47,8  | -15,6             | -18,6*            | -34,2  |
| Quadrático % URP   | 11,4                                   | 46,8              | 58,2    | -5,1              | -43,1             | -48,3  | -27,4             | 17,5              | -10,0 | -35,8             | 8,7               | -27,0  |
| C.V. (%)           | 31,4                                   | 53,3              | 42,9    | 93,0              | 108,6             | 86,3   | 37,8              | 141,9             | 43,2  | 15,6              | 76,8              | 14,9   |

<sup>(1)</sup> Valores positivos indicam superioridade do primeiro grupo, enquanto valores negativos indicam superioridade do segundo grupo; \* indica efeito significativo dos contrastes com  $p \leq 0,1$

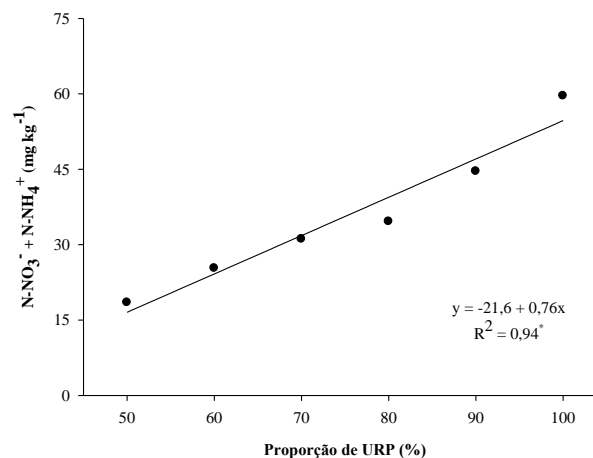


Figura 8 - Teores de N mineral ( $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ ) na camada de 0-0,1 m no LVd em função da proporção de ureia revestida com polímeros (URP) aplicada na semente. Amostragem de solo realizada no estádio V12 da cultura do milho. \* indica significância com  $p \leq 0,1$

### **Estádio R3 da cultura de milho no LVd**

No estágio R3 da cultura de milho, os grãos estão em sua fase de rápido acúmulo de matéria seca e com umidade em torno de 80% (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993). A produção final de milho depende do número de grãos que serão desenvolvidos e do peso final dos mesmos. A ocorrência de estresses nesse estágio, dependendo de sua intensidade, podem ter efeitos na produção final, devido à redução no número total de grãos que serão desenvolvidos e no peso final dos mesmos, afetados pela remobilização de N de outras partes da planta aos grãos. A medida que os grãos amadurecem, torna-se menor a probabilidade de redução da produção potencial devido a possível estresse que possa ocorrer.

Os teores médios de  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4^+$  e Nm no perfil do solo são mostrados na Figura 9 e as estimativas dos contrastes na Tabela 5. É possível verificar redução nos teores de Nm em todas as camadas do solo e em todos os tratamentos, comparativamente à avaliação no estágio V12 (Figura 7). Isso ocorreu como consequência de vários fatores. As plantas podem ter absorvido grande parte do N entre o estágio V12 e R3. Também podem ter ocorrido consideráveis perdas de N, principalmente por lixiviação. Novamente, é observado que os teores de  $N-NO_3^-$  no LVd são maiores que os de  $N-NH_4^+$ , tanto nas camadas mais superficiais como nas mais profundas.

Fica evidenciado que a utilização de URP promoveu teores mais altos de  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4^+$  e Nm no solo em comparação aos demais tratamentos, especialmente na camada superficial (0-0,1 m). No tratamento UMC verificou-se decréscimo importante em relação ao teor observado em V12 (Figura 7). Isso indica que o N no solo proveniente da ureia convencional pode ter sido imobilizado, absorvido pelas plantas ou mesmo percolado para camadas mais profundas.

Os teores de Nm no tratamento 100% U foram semelhantes ao controle e o UMC, que de forma geral mostrou valores muito baixos, demonstrando que com esses manejos com ureia convencional a disponibilidade de N às plantas permanece por um período de tempo mais curto que com URP, devido à rápida hidrólise da ureia e as transformações que o N da fonte amídica pode sofrer no solo. No caso do 100% U, isso já foi mostrado na variação dos teores de Nm do estágio V4 a V12, e no caso do UMC, do estágio V12 para o R3. A hidrólise da ureia no solo ocorre muito rapidamente, como foi observado neste trabalho, o que torna necessária a busca de alternativas que possam garantir a disponibilidade de N no solo por mais tempo.

Na camada mais superficial (0-0,1 m) pode-se observar claramente o maior acúmulo de  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4^+$  e Nm nos tratamentos que utilizaram URP. Isso pode ser consequência da

gradativa liberação do N restante nos grânulos desses fertilizantes. Assim, é possível verificar que a URP é capaz de disponibilizar N no solo até estádios mais tardios da cultura do milho o que poderá resultar em maior eficiência agrônômica nos tratamentos com ureia recoberta com polímeros.

Quanto às diferentes proporções de URP, novamente foi encontrada significância na relação entre quantidade de URP na mistura com ureia convencional e teor de Nm, somente na camada de 0-0,1 m (Figura 10). Embora não tenha sido obtida regressão linear significativa como nos estádios anteriores, mas sim quadrática, observa-se o mesmo padrão de comportamento do estádio V12 (Figura 8), em que o aumento da proporção de ureia convencional na mistura resultou em menor teor de Nm. Como já mencionado anteriormente, os fertilizantes de liberação controlada, aparentemente continuaram difundindo N para a solução do solo até esse estádio da cultura de milho no LVd. Assim, quanto maior a proporção de URP na mistura, maior quantidade de N foi sendo liberado por mais tempo. Saber até quando a URP neste experimento liberou N poderia ser uma informação útil. O teor de Nm no solo não foi determinado após a colheita de milho do experimento, uma vez que foi assumido que todo o N já havia sido disponibilizado no solo, e mesmo que não estivesse, seria de pouca importância para a cultura na safra da primavera-verão de 2012-2013.

O fato da URP liberar N até estádios mais tardios do milho torna-se ainda mais interessante quando os resultados de estudos atuais com a cultura são levados em consideração. Haegele et al. (2013) e Bender et al. (2013b), por exemplo, afirmaram que os novos híbridos de milho, apresentam maior eficiência na absorção de N, e que isso se deve principalmente à maior absorção de N depois do florescimento (31% mais), em relação aos híbridos mais antigos. Assim, a utilização de URP poderia suprir eficientemente N às plantas de milho depois do florescimento.

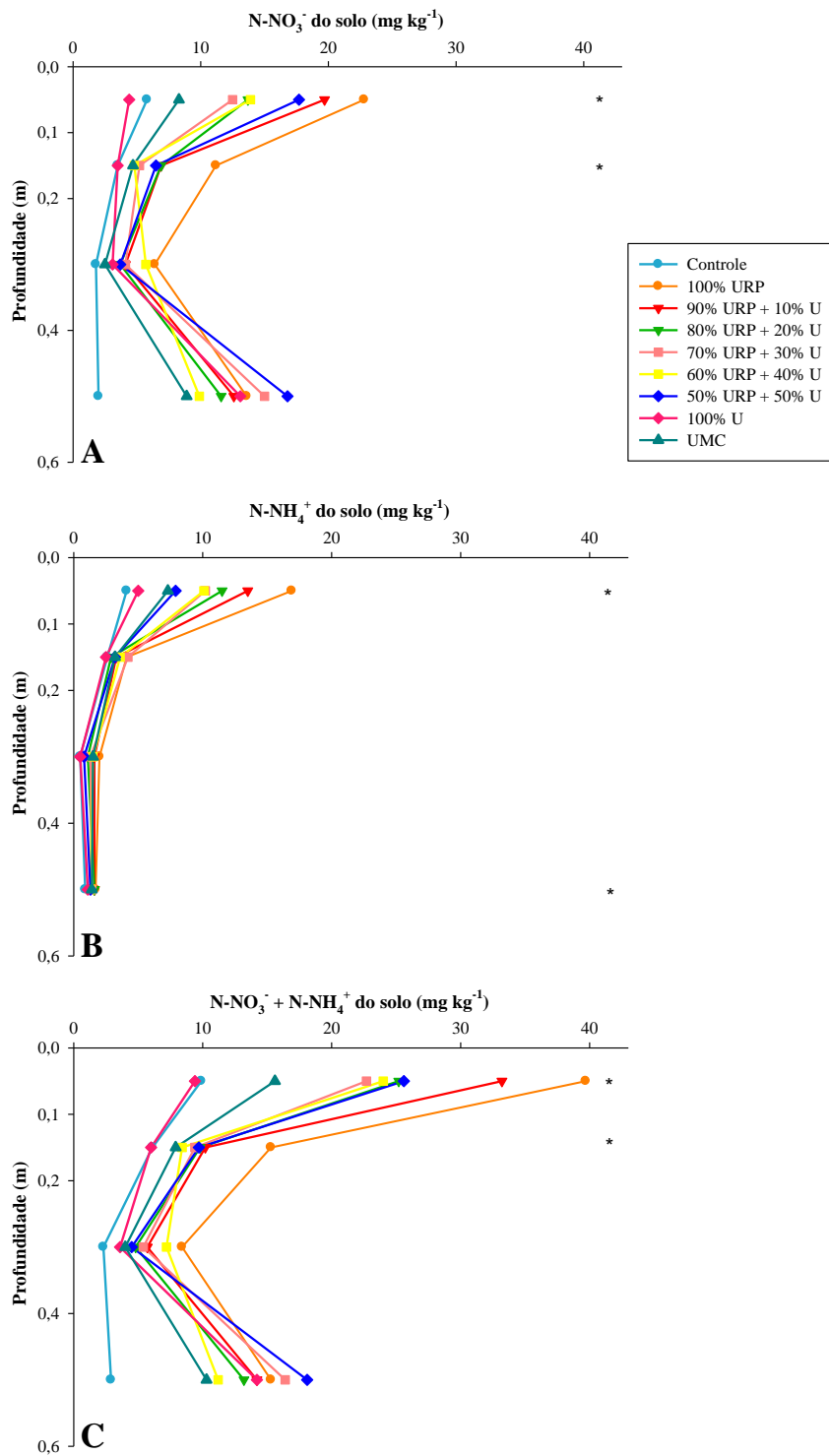


Figura 9 - Teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (A), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (B) e Nm (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (C) em diferentes profundidades no LVD no estágio R3 da cultura de milho. \* indica efeito significativo dos tratamentos com p≤0,1

Tabela 5 - Estimativas de contraste para valores de  $N\text{-NO}_3^-$ ,  $N\text{-NH}_4^+$  e Nm ( $N\text{-NO}_3^- + N\text{-NH}_4^+$ ) em  $\text{mg kg}^{-1}$ , nas diferentes profundidades no LVd. Amostragem realizada no estádio R3 da cultura de milho

| Contraste          | Estádio R3 da cultura do milho         |                   |         |                   |                   |        |                   |                   |      |                   |                   |      |
|--------------------|--|-------------------|---------|-------------------|-------------------|--------|-------------------|-------------------|------|-------------------|-------------------|------|
|                    | Estimativa de contraste <sup>(1)</sup> |                   |         |                   |                   |        |                   |                   |      |                   |                   |      |
|                    | $N\text{-NO}_3^-$                      | $N\text{-NH}_4^+$ | Nm      | $N\text{-NO}_3^-$ | $N\text{-NH}_4^+$ | Nm     | $N\text{-NO}_3^-$ | $N\text{-NH}_4^+$ | Nm   | $N\text{-NO}_3^-$ | $N\text{-NH}_4^+$ | Nm   |
|                    | 0-0,1 m                                |                   |         | 0,1-0,2 m         |                   |        | 0,2-0,4 m         |                   |      | 0,4-0,6 m         |                   |      |
| URP vs Controle    | 65,5*                                  | 45,8*             | 111,3*  | 20,2*             | 5,6               | 25,8*  | 16,5              | 5,7               | 47,1 | 64,5              | 3,2*              | 70,7 |
| URP vs 100% U      | 73,8*                                  | 40,2*             | 114,1*  | 20,6*             | 6,5               | 27,1*  | 9,1               | 5,2               | 19,5 | 0,8               | 2,3*              | 3,2  |
| URP vs UMC         | 50,7*                                  | 26,1*             | 76,7*   | 12,9              | 2,2               | 15,2   | 13,0              | -0,6              | 14,5 | 26,2              | 0,7               | 26,9 |
| 100% U vs Controle | -1,4                                   | 0,9               | -0,5    | -0,1              | -0,1              | -0,2   | 1,2               | 0,1               | 3,5  | 11,1              | 0,1               | 11,3 |
| UMC vs Controle    | 2,5                                    | 3,3               | 5,8     | 1,2               | 0,5               | 1,8    | 0,6               | 1,0               | 5,4  | 6,9               | 0,4*              | 7,3  |
| 100% U vs UMC      | -3,9                                   | -2,4              | -6,2    | -1,3              | -0,7              | -2,0   | 0,6               | -1,0              | 0,2  | 4,2               | -0,3*             | 4,0  |
| Linear % URP       | -44,1*                                 | -56,6*            | -100,7* | -31,2*            | -2,3              | -33,5* | -8,2              | -6,3              | 12,0 | 11,8              | -3,0*             | 8,8  |
| Quadrático % URP   | 64,2*                                  | 13,9              | 78,2*   | 28,6*             | 1,8               | 30,3*  | 9,4               | 1,1               | 5,2  | 23,0              | 0,1               | 23,1 |
| C.V. (%)           | 36,9                                   | 26,7              | 25,5    | 43,6              | 41,3              | 34,4   | 68,1              | 70,9              | 58,8 | 58,1              | 11,3              | 51,8 |

<sup>(1)</sup> Valores positivos indicam superioridade do primeiro grupo, enquanto valores negativos indicam superioridade do segundo grupo; \* indica efeito significativo dos contrastes com  $p \leq 0,1$

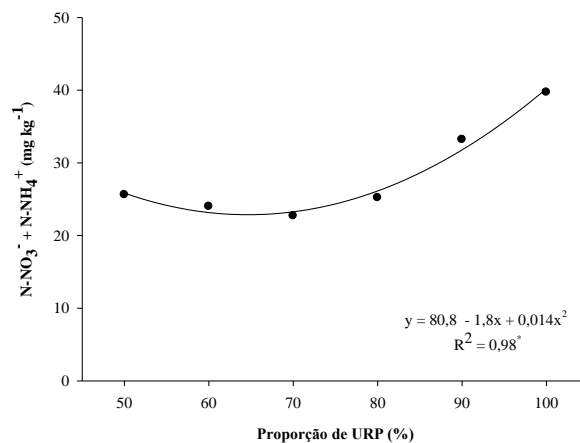


Figura 10 - Teores de N mineral ( $N\text{-NO}_3^- + N\text{-NH}_4^+$ ) na camada de 0-0,1 m no LVd em função da proporção de ureia revestida com polímeros (URP) aplicada na semente. Amostragem de solo realizada no estádio R3 da cultura de milho. \* indica significância com  $p \leq 0,1$



#### 4.1.2 Experimento no LVAd (campo experimental da ESALQ)

Na Figura 11 pode ser verificada a distribuição do N inorgânico no perfil do solo no momento da semeadura do milho no experimento localizado na ESALQ (solo LVAd). Esses dados não foram submetidos a análise estatística, uma vez que representa ao Nm do solo antes da aplicação dos tratamentos.

Na camada mais superficial a concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  foi de  $2,9 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esse teor permaneceu relativamente constante na camada 0,1-0,2 m ( $2,7 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e foi aumentando com a profundidade. De 0,2-0,4 m foi encontrado teor médio de  $6,8 \text{ mg kg}^{-1}$ , e de 0,4-0,6 m o teor foi de  $8,8 \text{ mg kg}^{-1}$ . De forma geral, a quantidade de  $\text{N-NH}_4^+$  antes da semeadura foi inferior à de  $\text{N-NO}_3^-$ . De 0-0,1 m foi encontrado teor de  $2,4 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $\text{N-NH}_4^+$ . Na camada de 0,1-0,2 m o teor médio de  $\text{N-NH}_4^+$  foi de  $1,4 \text{ mg kg}^{-1}$  e nas camadas de 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m os teores foram de 1,8 e  $2,4 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente. Ao observar a quantidade de Nm no solo, pode ser verificado que o teor é mais elevado nas camadas mais profundas devido ao aumento nas concentrações de N-nitrato. De 0-0,1 e 0,1-0,2 m, os teores médios de Nm foram respectivamente de 5,3 e  $4,3 \text{ mg kg}^{-1}$ . Nas camadas mais profundas (0,2-0,4 e 0,4-0,6 m) os teores médios aumentaram para 8,7 e  $11,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente. Cabe ressaltar que a participação do  $\text{N-NO}_3^-$  no Nm foi superior que a do  $\text{N-NH}_4^+$ , sendo de 55, 63, 78 e 79 % nas camadas de 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, respectivamente.

Cabe destacar que no local do experimento, a cultura anterior foi de algodão, que requiere elevadas quantidades de N. A cultura não foi colhida porque ocorreu severo ataque de pragas, e todo o material vegetal do algodão foi deixado no campo e incorporado com o preparo do solo, não tendo havido nenhuma exportação de N pela cultura. Assim posto, os resíduos vegetais forneceram N ao solo, ocorrendo acúmulo de N mineral nas camadas mais profundas, como se pode verificar na Figura 11.

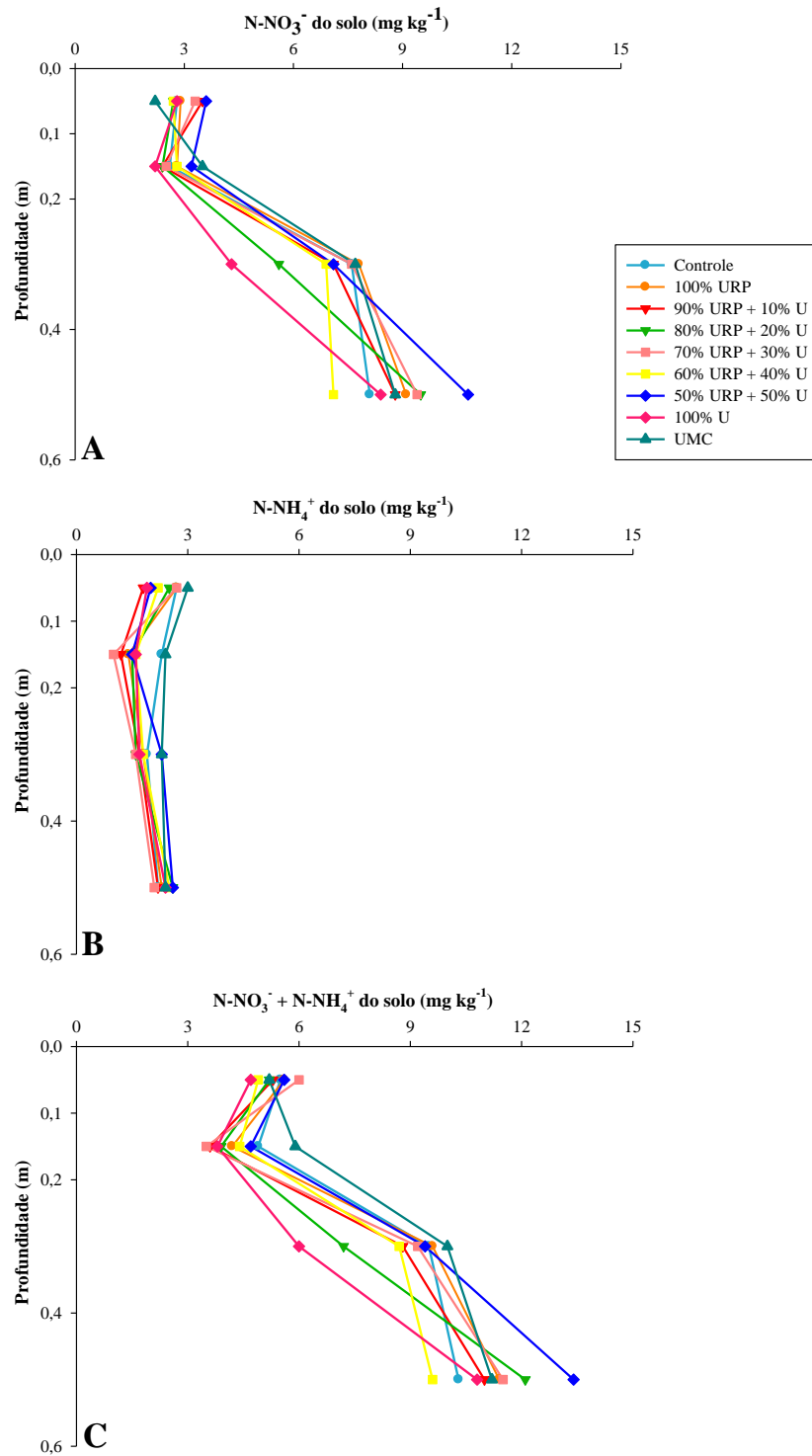


Figura 11 - Teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (A), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (B) e Nm (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (C) em diferentes profundidades no LVAd antes da semeadura da cultura do milho

### **Estádio V6 da cultura de milho no LVAd**

No LVAd, a primeira amostragem após a adubação foi realizada no estágio V6 da cultura de milho. Nesse estágio, a região de crescimento e o pendão estão acima da superfície de solo e o colmo está iniciando um período de grande incremento da elongação (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993).

Os teores médios de N inorgânico são mostrados na Figura 12 e as estimativas dos contrastes na Tabela 6. São observados teores de  $N-NH_4^+$  relativamente maiores que  $N-NO_3^-$  nas camadas superficiais. Isso pode ocorrer porque os micro-organismos responsáveis pela nitrificação não estão em quantidade suficiente ou a atividade nitrificadora dos mesmos ficou prejudicada por algum efeito de inibição química ou física existente no solo. Atualmente, muitos trabalhos na literatura tem avaliado o efeito inibitório de espécies vegetais na nitrificação de solos. Por exemplo, as forrageiras do gênero *Brachiaria* liberam no solo como exsudato, o composto diterpeno cíclico, denominado de braquiolactana, que exerce forte inibição na nitrificação. (SUBBARAO et al., 2003, 2006a, 2006b, 2007a, 2007b, 2008, 2009; GOPALAKRISHNAN et al., 2007). Esse composto inibe a função da bactéria *Nitrosomonas europaea* ocasionando a paralisação da atividade das enzimas amônia mono-oxigenase e hidroxilamina oxidoreductase, que são essenciais no processo de nitrificação (SUBBARAO et al., 2007a, 2007b, 2008). Esses estudos comprovaram que as substâncias exsudadas por *B. humidicola*, *B. decumbens*, *B. dictyonara*, *B. hybrid* e *B. brizantha* promovem eficiente inibição biológica da nitrificação (NBI, por suas siglas em inglês) no solo. Avaliações na capacidade das principais culturas em produzir NBI, incluindo o trigo (*Triticum aestivum*), cevada (*Hordeu vulgare* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) e milho (*Zea mays* L.) examinadas por Fillery (2007) indicaram que estes vegetais não têm essa capacidade. Também, nada consta da literatura consultada a respeito da possível influência da cultura de algodão, antecessora do milho no local do experimento, relacionada à inibição da nitrificação biológica do solo.

Por outro lado, nas camadas mais profundas (0,2-0,4 e 0,4-0,6 m) o teor de  $N-NH_4^+$  foi menor. Talvez nessas camadas do LVAd, exista presença de organismos nitrificadores em maior quantidade transformando grande parte do  $NH_4^+$  em  $NO_3^-$ , ou a inibição biológica da nitrificação somente ocorre nas camadas superficiais. Isso também pode ocorrer porque o  $NO_3^-$  formado nas camadas mais superficiais é deslocado para camadas mais profundas por arraste da água, restando assim mais  $NH_4^+$  em superfície e mais nitrato em profundidade.

De forma geral, é possível verificar maiores teores de  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4^+$  e Nm nos tratamentos com 100% U em todas as camadas, em relação aos tratamentos com URP, UMC e controle. Os tratamentos com URP mostraram maiores teores de N inorgânico que o controle

e o UMC. A superioridade do 100% U em relação aos tratamentos com URP pode ser explicada pela pronta liberação do N da ureia convencional. Embora os teores sejam diferentes, principalmente nas camadas mais profundas, foi observado um comportamento do Nm similar ao observado no experimento com LVd (Figura 5). O tratamento 100% U mostrou ser eficiente para disponibilizar Nm às plantas em quantidade superior que os demais tratamentos até o estágio V6. No UMC, em que a dose inicial de N foi de 36 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na semeadura, novamente o N ficou disponível em quantidades menores em relação aos demais tratamentos com aplicação do nutriente, como também foi observado no LVd (Figura 5). Considerando os resultados das duas áreas nos estádios V4 para o LVd e V6 para o LVAd, a dose inicial parece ser baixa, e poderia causar estresse em estádios nos quais as plantas necessitem N para iniciar o seu desenvolvimento. No momento da amostragem de solo nesse estágio, as plantas dos tratamentos controle e UMC mostravam visíveis deficiências de N (menor crescimento e folhas com coloração amareladas), diferentemente dos demais tratamentos, que mostravam uma coloração verde escura das folhas (Apêndice B).

Na Figura 13 são mostradas regressões lineares relacionando o teor de Nm com a proporção de URP nas misturas, com efeito significativo obtido para todas as profundidades do solo. É importante observar que a presença de ureia convencional condicionou a disponibilidade de N no LVAd. Dessa forma, nesse estágio, quanto maior a proporção de ureia na mistura, mais Nm foi encontrado no solo. Essa tendência se manteve em todas as profundidades, o que indica que o N da ureia convencional, em solo arenoso como o LVAd do experimento, desloca-se verticalmente e atinge facilmente a profundidade de 0,6 m.

É importante o estudo da eficiência de utilização de misturas entre URP e ureia convencional com diferentes proporções de cada um, uma vez que o preço da URP é maior. Dessa forma, se for observado que certa proporção de URP na mistura é suficiente para garantir disponibilidade de N no solo para as plantas nos estádios mais críticos e de maior absorção do nutriente, pode ser uma alternativa para o manejo da adubação nitrogenada da cultura de milho. O preço da URP é o principal motivo pelo qual o seu uso não é muito difundido no Brasil.

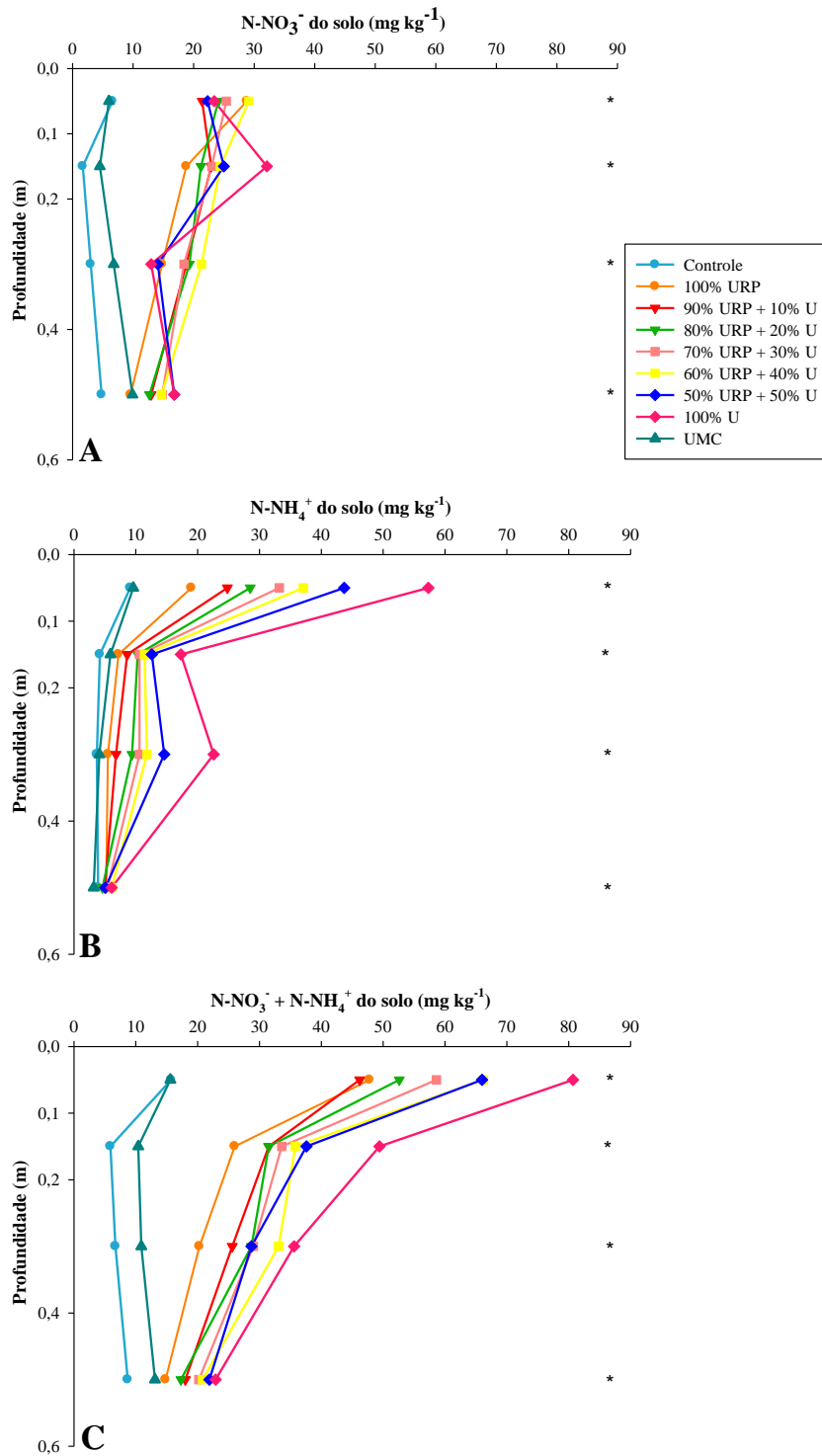


Figura 12 - Teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (A), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (B) e Nm (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (C) em diferentes profundidades no LVAd no estágio V6 da cultura do milho. \* indica efeito significativo dos tratamentos com p≤0,1

Tabela 6 - Estimativas de contraste para valores de  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4^+$  e Nm ( $N-NO_3^- + N-NH_4^+$ ) em  $mg\ kg^{-1}$ , nas diferentes profundidades no LVAd. Amostragem realizada no estádio V6 da cultura de milho

| Contraste          | Estádio V6 da cultura do milho         |            |         |            |            |         |            |            |        |            |            |        |
|--------------------|--|------------|---------|------------|------------|---------|------------|------------|--------|------------|------------|--------|
|                    | Estimativa de contraste <sup>(1)</sup> |            |         |            |            |         |            |            |        |            |            |        |
|                    | $N-NO_3^-$                             | $N-NH_4^+$ | Nm      | $N-NO_3^-$ | $N-NH_4^+$ | Nm      | $N-NO_3^-$ | $N-NH_4^+$ | Nm     | $N-NO_3^-$ | $N-NH_4^+$ | Nm     |
|                    | 0-0,1 m                                |            |         | 0,1-0,2 m  |            |         | 0,2-0,4 m  |            |        | 0,4-0,6 m  |            |        |
| URP vs Controle    | 111,5*                                 | 131,4*     | 242,9*  | 123,8*     | 35,6*      | 159,4*  | 88,8*      | 36,6*      | 125,4* | 53,0*      | 8,3*       | 61,3*  |
| URP vs 100% U      | 10,9                                   | -157,5*    | -146,5* | -58,5*     | -42,8*     | -101,3* | 28,7*      | -77,2*     | -48,5* | -19,2*     | -4,8       | -24,1* |
| URP vs UMC         | 114,9*                                 | 128,7*     | 243,6*  | 107,3*     | 25,1*      | 132,4*  | 66,2*      | 33,9*      | 100,1* | 22,2*      | 12,4*      | 34,6*  |
| 100% U vs Controle | 16,7*                                  | 48,1*      | 64,9*   | 30,4*      | 13,1*      | 43,4*   | 10,0*      | 19,0*      | 29,0*  | 12,0*      | 2,2*       | 14,2*  |
| UMC vs Controle    | -0,6                                   | 0,4        | -0,1    | 2,7        | 1,71       | 4,5     | 3,8        | 0,4        | 4,2    | 5,1*       | -0,7       | 4,4    |
| 100% U vs UMC      | 17,3*                                  | 47,7*      | 65,0*   | 27,6*      | 11,3*      | 38,9*   | 6,2*       | 18,5*      | 24,8*  | 6,9*       | 2,9*       | 9,8*   |
| Linear % URP       | -8,2                                   | 165,4*     | 157,3*  | 36,0*      | 36,0*      | 72,1*   | 3,0        | 61,8*      | 64,8*  | 43,2*      | 3,7        | 46,9*  |
| Quadrático % URP   | 6,6                                    | 4,9        | 11,6    | -0,7       | -4,4       | -5,0    | -45,9*     | 2,1        | -43,7  | -5,5       | 0,8        | -4,7   |
| C.V. (%)           | 23,6                                   | 11,1       | 12,6    | 17,0       | 15,0       | 11,4    | 19,1       | 35,2       | 17,6   | 18,8       | 19,8       | 15,3   |

<sup>(1)</sup> Valores positivos indicam superioridade do primeiro grupo, enquanto valores negativos indicam superioridade do segundo grupo; \* indica efeito significativo dos contrastes com  $p \leq 0,1$

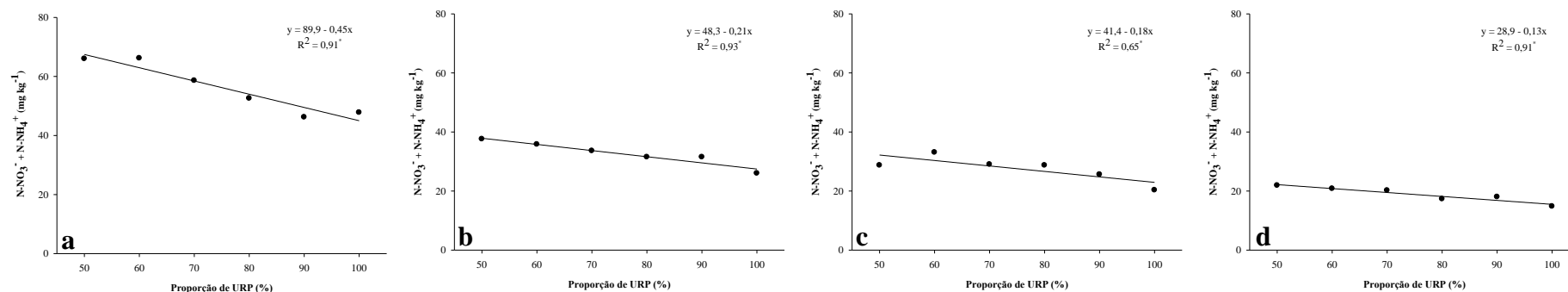


Figura 13 - Teores de N mineral ( $N-NO_3^- + N-NH_4^+$ ) nas camadas de: a) 0-0,1 m, b) 0,1-0,2 m, c) 0,2-0,4 m, e d) 0,4-0,6 m no LVAd em função da proporção de URP aplicada na sementeira. Amostragem de solo realizada no estádio V6 da cultura de milho. \* indica significância com  $p \leq 0,1$

### **Estádio V14 da cultura de milho no LVAd**

A segunda amostragem após a adubação foi realizada no estágio V14 da cultura de milho. Nesse estágio, os estilos-estigma começam a crescer nas inflorescências femininas localizadas na parte superior da planta e uma folha nova é formada cada um a dois dias (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993). Bender et al. (2013a) afirmaram que desde o estágio V10 até o V14 ocorre a máxima taxa de absorção de N em plantas de milho transgênico.

Os teores médios de N inorgânico são mostrados na Figura 14 e as estimativas dos contrastes na Tabela 7. Em relação ao estágio V6, os teores de  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{N-NH}_4^+$  e Nm diminuíram consideravelmente em todas as camadas. Nas camadas mais superficiais (0-0,1 e 0,1-0,2 m) foi encontrado maior teor de  $\text{N-NH}_4^+$  que  $\text{N-NO}_3^-$ , o que poderia ser causado por inibição biológica da nitrificação (NBI), como discutido no item anterior estágio V6, ou porque todo o  $\text{NO}_3^-$  formado foi rapidamente deslocado verticalmente até camadas mais profundas, em que o teor de  $\text{N-NH}_4^+$  diminuiu a valores muito baixos (média de  $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada 0,2-0,4 m e de  $0,25 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada de 0,4-0,6 m). De 0,2-0,4 m e de 0,4-0,6 m foram encontrados teores médios de 1,7 e  $2,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente. De forma geral, é possível verificar que os teores de Nm foram relativamente elevados na camada mais superficial (média de  $13,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), diminuiu na camada de 0,1-0,2 m em que foi encontrado teor médio de  $6,4 \text{ mg kg}^{-1}$ , e diminuiu ainda mais nas camadas de 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m, em que foram encontrados teores médios de 2,2 e  $2,4 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente.

Ocorreu maior teor de Nm no tratamento UMC na camada mais superficial (0-0,1 m) em relação a todos os tratamentos. Cabe destacar que nesse tratamento foram aplicados  $144 \text{ kg de N ha}^{-1}$  em cobertura no estágio V6, e como decorrência, esse N aplicado propiciou maiores teores de N inorgânico no solo. Os teores observados no 100% U foram similares ao do controle, enquanto que os teores nos tratamentos com URP foram menores que o UMC, e maiores que o 100% U e controle. Os resultados parecem lógicos, uma vez que todo o N do 100% U foi prontamente disponibilizado e talvez perdido para camadas mais profundas ou absorvido pelas plantas. O N no solo dos tratamentos com URP parece ter sido liberado gradualmente, uma vez que apresenta menores teores em relação ao N disponibilizado pela ureia convencional do tratamento UMC na camada 0-0,1 m. Shaviv, Raban e Zaidel (2003b) relatam que esse é o comportamento padrão desses fertilizantes e que por isso os mesmos têm um grande potencial de uso na agricultura, porque são capazes de fornecer nutrientes conforme a cultura necessita.

Na Figura 15 constam as regressões lineares dos teores médios de Nm em relação à proporção de URP nas misturas de fertilizantes em três profundidades. Nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m pode ser verificado que o comportamento foi alterado em relação à amostragem em V6 (Figura 13). Na Figura 15, os teores de Nm no solo nas profundidades 0-01 e 01-02m aumentaram com a proporção de URP na mistura. Um fato curioso e interessante foi observado na profundidade de 0,2-0,4 m (Figura 15), ocorrendo comportamento contrário ao das camadas mais superficiais. Nesta camada do solo, o teor de Nm diminuiu quando a proporção de URP foi maior. Pode-se inferir que isso ocorreu porque a URP libera N gradualmente, e neste estágio, o Nm proveniente do fertilizante de liberação controlada ainda não atingiu essa profundidade.

Cabe destacar que no LVd (experimento no bairro de Tanquinho) as regressões para Nm em relação às proporções de URP no fertilizante só foram significativas na camada de 0-0,1 m em todos os estádios da cultura de milho. Entretanto, no solo LVAd (experimento no campo experimental da ESALQ), por exemplo no V6 foi observado efeito significativo nas quatro camadas do solo, e no V14 em três camadas. Isso pode ser consequência da textura mais arenosa e menor CTC do LVAd nas camadas superficiais, possibilitando que o nitrato fosse mais facilmente deslocado verticalmente pelo arraste da água de percolação.



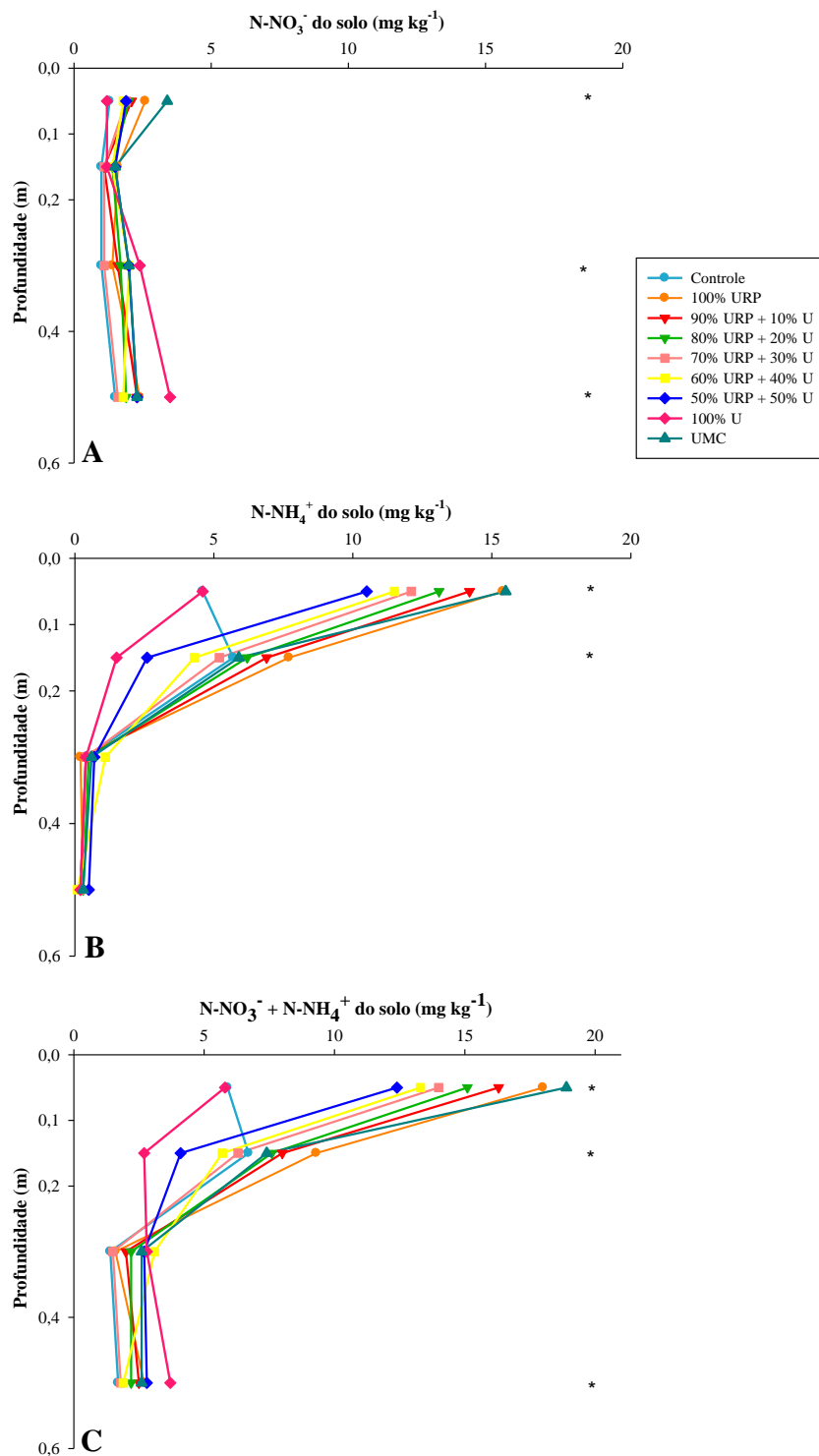


Figura 14 - Teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (A), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (B) e Nm (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (C) em diferentes profundidades no LVAd no estágio V14 da cultura do milho. \* indica efeito significativo dos tratamentos com p ≤ 0,1

Tabela 7 - Estimativas de contraste para valores de  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4^+$  e Nm ( $N-NO_3^- + N-NH_4^+$ ) em  $mg\ kg^{-1}$ , nas diferentes profundidades no LVAd. Amostragem realizada no estádio V14 da cultura de milho

| Contraste          | Estádio V14 da cultura do milho        |            |        |            |            |        |            |            |      |            |            |       |
|--------------------|--|------------|--------|------------|------------|--------|------------|------------|------|------------|------------|-------|
|                    | Estimativa de contraste <sup>(1)</sup> |            |        |            |            |        |            |            |      |            |            |       |
|                    | $N-NO_3^-$                             | $N-NH_4^+$ | Nm     | $N-NO_3^-$ | $N-NH_4^+$ | Nm     | $N-NO_3^-$ | $N-NH_4^+$ | Nm   | $N-NO_3^-$ | $N-NH_4^+$ | Nm    |
|                    | 0-0,1 m                                |            |        | 0,1-0,2 m  |            |        | 0,2-0,4 m  |            |      | 0,4-0,6 m  |            |       |
| URP vs Controle    | 4,5*                                   | 172,9*     | 53,7*  | 2,2        | -1,2       | 0,9    | 3,7        | 0,8        | 4,5  | 3,5        | 0,7        | 4,3   |
| URP vs 100% U      | 4,8*                                   | 173,8*     | 54,2*  | 0,6        | 23,9*      | 24,6** | -4,7*      | 1,2        | -3,6 | -8,8*      | 0,8        | -8,0* |
| URP vs UMC         | -8,0*                                  | 19,4       | -24,4* | -0,8       | -2,4       | -3,2   | -2,4       | -0,1       | -2,5 | -1,6       | 0,1        | -1,5  |
| 100% U vs Controle | -0,1                                   | 0,0        | -0,1   | 0,2        | -4,2*      | -3,9*  | 1,4*       | -0,1       | 1,3  | 2,0*       | 0,0        | 2,0*  |
| UMC vs Controle    | 2,1*                                   | 179,7*     | 13,0*  | 0,5        | 0,2        | 0,1    | 1,0*       | 0,1        | 1,2  | 0,9        | 0,1        | 1,0*  |
| 100% U vs UMC      | -2,1*                                  | 180,4*     | -13,1* | -0,2       | -4,4*      | -4,6*  | 0,4        | -0,2       | 0,2  | 1,2*       | 0,1        | 1,1*  |
| Linear % URP       | -4,2                                   | 48,2*      | -37,8* | 0,01       | -34,7*     | -34,7* | 3,7        | 4,4*       | 8,2* | -2,0       | 0,7        | -1,8  |
| Quadrático % URP   | 2,7                                    | 0,4        | 6,1    | 3,5*       | -5,1       | -1,6   | 2,9        | -0,3       | 2,6  | 4,8        | 0,7        | 6,4   |
| C.V. (%)           | 27,0                                   | 23,5       | 18,3   | 22,0       | 38,6       | 32,4   | 32,9       | 80,9       | 31,2 | 23,7       | 54,1       | 22,3  |

<sup>(1)</sup> Valores positivos indicam superioridade do primeiro grupo, enquanto valores negativos indicam superioridade do segundo grupo; \* indica efeito significativo dos contrastes com  $p \leq 0,1$

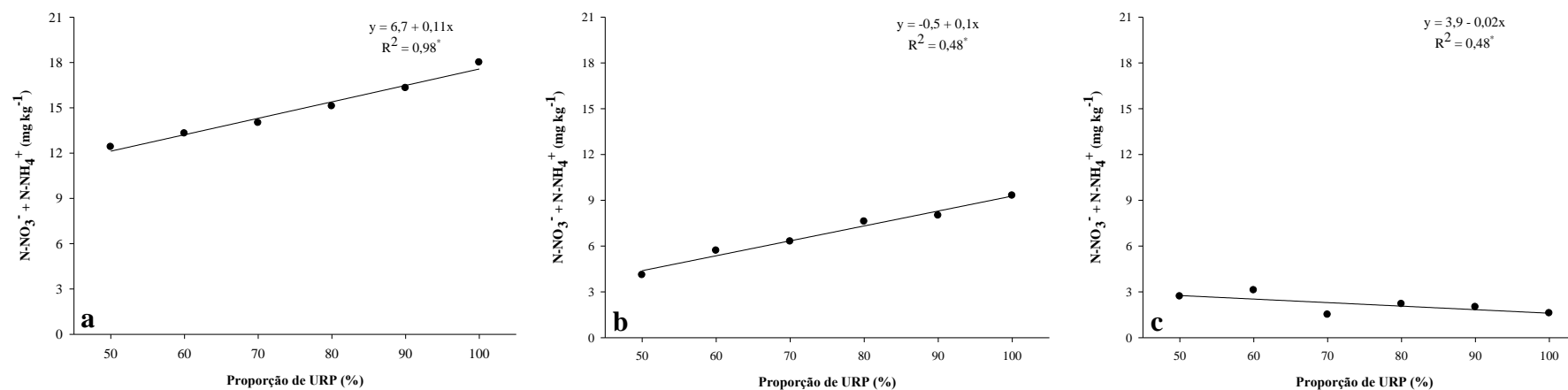


Figura 15 - Teores de N mineral ( $N-NO_3^- + N-NH_4^+$ ) nas camadas de: a) 0-0,1 m, b) 0,1-0,2 m, e c) 0,2-0,4 m no LVAd em função da proporção de URP aplicada na semeadura. Amostragem de solo realizada no estádio V14 da cultura do milho. \* indica significância com  $p \leq 0,1$

### **Estádio R4 da cultura de milho no LVAd**

No estágio R4 da cultura de milho, os grãos acumulam continuamente amido no endosperma, o que faz com que fluido interno leitoso fique mais espesso, atingindo uma consistência pastosa. Geralmente, quatro folhas embrionárias se formaram até esse momento, e o embrião aumentou bastante desde o estágio R3 (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993).

Os teores médios de N inorgânico são mostrados na Figura 16 e as estimativas dos contrastes na Tabela 8. Foram observados teores baixos de N inorgânico comparando-se com as amostragens em estádios anteriores. Os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  passaram a ser maiores que os de  $\text{N-NH}_4^+$ . As diferenças entre tratamentos persistiram nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m. Os tratamentos com URP propiciaram maiores teores de Nm nesse estágio em relação aos demais. O tratamento 100% U, o UMC e o controle mostraram resultados muito próximos, o que parece indicar que não existia mais no solo N derivado da ureia convencional. Da mesma forma que no LVd, embora no LVAd mostrando teores bem menores, a URP se mostrou capaz de disponibilizar N até os estádios mais tardios da cultura de milho.

Os teores de Nm foram menores no estágio R4 da cultura de milho no LVAd. Comparando-se com os teores observados nas duas amostragens anteriores, pode-se constatar que a quantidade de Nm decresceu grandemente. A planta pode ter absorvido grande parte desse N, sendo o restante lixiviado no solo para camadas mais profundas, ou mesmo perdido do sistema por via gasosa ( $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{N}_2$  pelo processo de nitrificação-desnitrificação). No estágio R3 do LVd por exemplo, o teor de Nm do tratamento controle na camada de 0-0,1 m foi de aproximadamente  $10 \text{ mg kg}^{-1}$ , enquanto que no LVAd o teor nessa camada não passou de  $1,2 \text{ mg kg}^{-1}$ . O tratamento que mostrou o maior teor médio de Nm na camada superficial do LVAd foi o 100% URP, com  $3,8 \text{ mg kg}^{-1}$ , enquanto que no LVd o teor encontrado nesse mesmo tratamento foi de aproximadamente  $40 \text{ mg kg}^{-1}$ , o que demonstra a grande diferença no potencial de disponibilização de N, assim como o mesmo fertilizante pode ter comportamento diferente em diferentes solos (ambientes).

Na Figura 17 são mostrados os teores médios de Nm em relação à proporção de URP nas misturas de fertilizantes, com efeito significativo desses tratamentos somente na camada de 0-0,1 m. O teor de Nm continuou evidenciando ser maior com o aumento da proporção de URP na mistura, o que demonstra, mais uma vez, que esses fertilizantes tem grande capacidade de disponibilizar N por longos períodos de tempo.

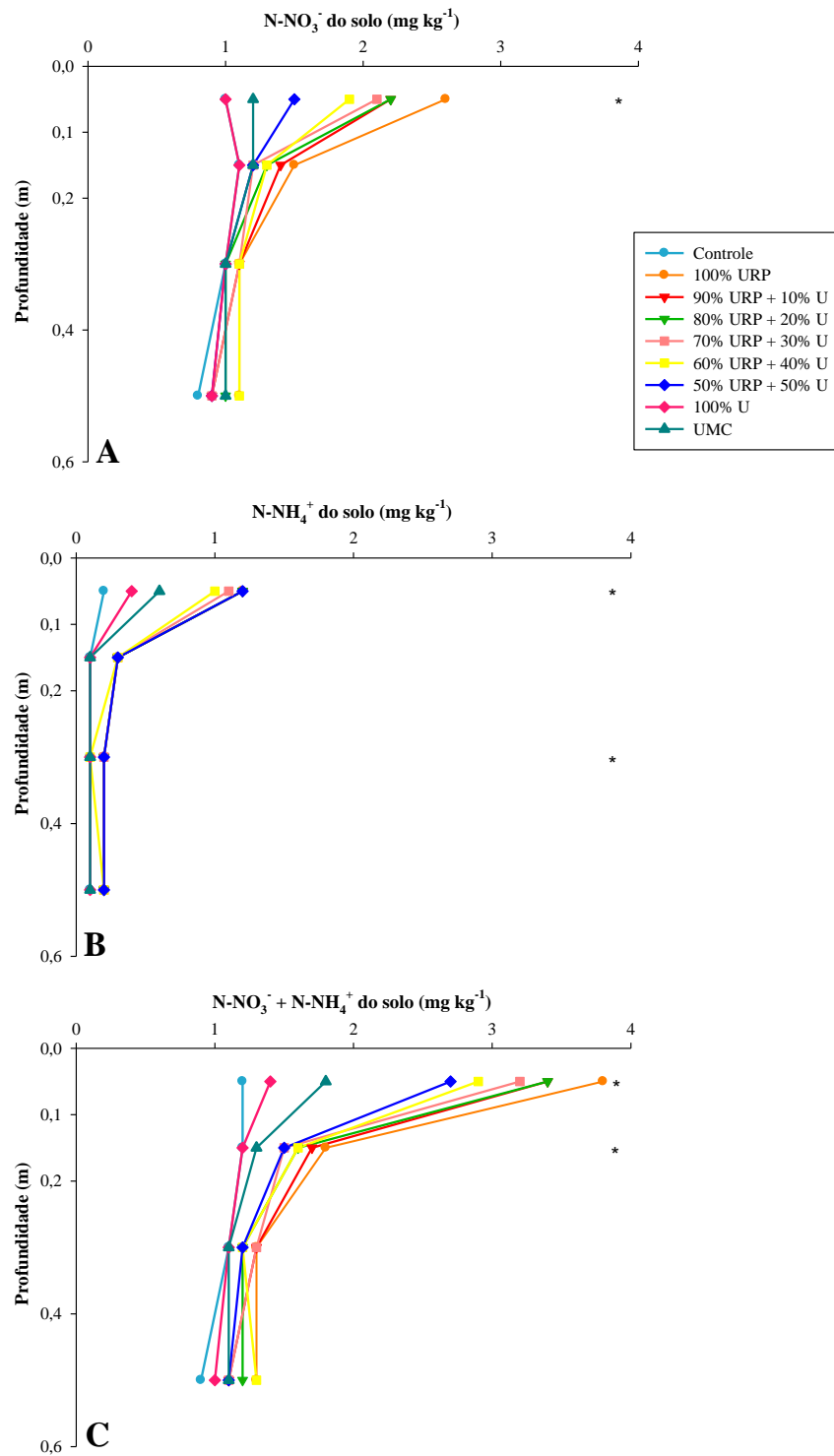


Figura 16 - Teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (A), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (B) e Nm (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (C) em diferentes profundidades no LVAd no estágio R4 da cultura de milho. \* indica efeito significativo dos tratamentos com  $p \leq 0,1$

Tabela 8 - Estimativas de contraste para valores de  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{N-NH}_4^+$  e Nm ( $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{N-NH}_4^+$ ) em  $\text{mg kg}^{-1}$ , nas diferentes profundidades no LVAd. Amostragem realizada no estádio R4 da cultura de milho

| Contraste          | Estádio R4 da cultura do milho         |                   |       |                   |                   |      |                   |                   |      |                   |                   |      |
|--------------------|--|-------------------|-------|-------------------|-------------------|------|-------------------|-------------------|------|-------------------|-------------------|------|
|                    | Estimativa de contraste <sup>(1)</sup> |                   |       |                   |                   |      |                   |                   |      |                   |                   |      |
|                    | $\text{N-NO}_3^-$                      | $\text{N-NH}_4^+$ | Nm    | $\text{N-NO}_3^-$ | $\text{N-NH}_4^+$ | Nm   | $\text{N-NO}_3^-$ | $\text{N-NH}_4^+$ | Nm   | $\text{N-NO}_3^-$ | $\text{N-NH}_4^+$ | Nm   |
|                    | 0-0,1 m                                |                   |       | 0,1-0,2 m         |                   |      | 0,2-0,4 m         |                   |      | 0,4-0,6 m         |                   |      |
| URP vs Controle    | 6,5*                                   | 5,4*              | 11,9* | 1,3               | 1,0               | 2,3* | 0,6               | 0,5*              | 1,2  | 0,9               | 0,4               | 1,3  |
| URP vs 100% U      | 6,4*                                   | 4,4*              | 10,8* | 1,5               | 0,8               | 2,3* | 0,2               | 0,4*              | 0,7  | 0,6               | 0,4               | 1,1  |
| URP vs UMC         | 5,0*                                   | 3,1*              | 8,1*  | 1,0               | 0,5               | 1,5* | 0,2               | 0,2               | 0,5  | 0,1               | 0,3               | 0,4  |
| 100% U vs Controle | 0,0                                    | 0,2               | 0,2   | -0,03             | 0,03              | 0,0  | 0,1               | 0,0               | 0,1  | 0,0               | 0,0               | 0,0  |
| UMC vs Controle    | 0,2                                    | 0,4*              | 0,6*  | 0,05              | 0,1               | 0,1  | 0,1               | 0,0               | 0,1  | 0,1               | 0,0               | 0,1  |
| 100% U vs UMC      | -0,2                                   | -0,2*             | -0,4  | -0,1              | -0,1              | -0,1 | 0,0               | -0,0              | 0,0  | -0,1              | 0,0               | -0,1 |
| Linear % URP       | -6,4*                                  | -0,9              | -7,3* | -1,4              | 0,05              | -1,4 | -0,3              | -0,1              | -0,5 | -0,7              | -0,1              | -0,8 |
| Quadrático % URP   | -1,3                                   | 0,7               | -0,6  | 0,7               | -0,3              | 0,4  | -0,1              | 0,1               | 0,1  | 0,3               | 0,1               | 0,4  |
| C.V. (%)           | 16,8                                   | 11,8              | 13,4  | 11,8              | 41,0              | 11,3 | 13,5              | 35,7              | 13,9 | 16,4              | 34,8              | 15,0 |

<sup>(1)</sup> Valores positivos indicam superioridade do primeiro grupo, enquanto valores negativos indicam superioridade do segundo grupo; \* indica efeito significativo dos contrastes com  $p \leq 0,1$

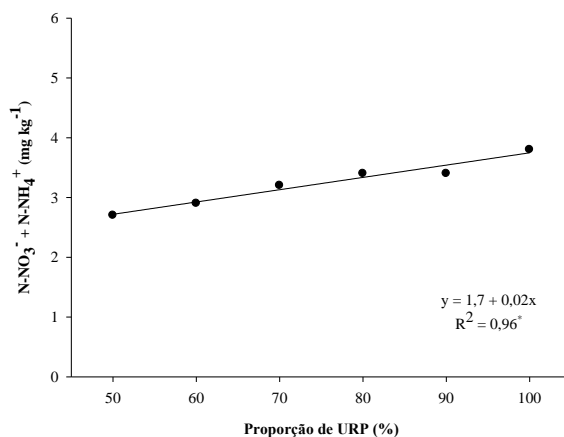


Figura 17 - Teores de N mineral na camada de 0-0,1 m no LVAd em função da proporção de URP aplicada na semeadura. Amostragem de solo realizada no estádio R4 da cultura de milho. \* indica significância com  $p \leq 0,1$

## 4.2 Produtividade de grãos, massa seca, e acúmulo de N da parte aérea

### 4.2.1 Experimento no LVd (bairro rural de Tanquinho)

Foi observada diferença visual no crescimento (altura) e coloração das folhas entre o controle e o restante dos tratamentos até aproximadamente o estágio V12 (Apêndice A). A partir desse estágio, visualmente todos os tratamentos passaram a se apresentar muito semelhantes sem destaque na altura e coloração das folhas.

Na Tabela 9 são mostrados os resultados de produtividade de grãos e outros índices agronômicos. Não houve diferença no rendimento do milho entre os tratamentos do experimento. Como o teste F não mostrou significância não foram realizadas as estimativas dos contrastes. Os resultados obtidos são atípicos para a cultura, uma vez que o milho normalmente é responsivo à aplicação de N. Uma hipótese provável que possa explicar os resultados de produtividade é que o solo do local pode ter alto potencial de mineralização de nitrogênio, e aliado às condições ambientais favoráveis (disponibilidade hídrica e temperatura), forneceu todo o N exigido pela cultura, não resultando em diferença de produtividade de grãos entre os tratamentos. O controle, que não recebeu N via fertilizante, e os demais tratamentos com adubação de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia, resultaram em produtividades semelhantes. Por esses resultados pode-se inferir que o solo disponibilizou N durante todo o desenvolvimento da cultura de milho, tanto nos estádios iniciais quando a disponibilidade de N tem relação com o potencial produtivo do milho, como nos estádios finais, atendendo eficientemente à demanda da cultura pelo nutriente.

Os dados de N inorgânico no solo (Figuras 4, 5, 7 e 9) servem para explicar os resultados de produtividade de grãos. Foram observados altos teores de Nm nas parcelas do tratamento controle, que atenderam as necessidades das plantas de milho. A título de exemplo, no estágio R3 foi observado um valor de 10 mg kg<sup>-1</sup> na camada 0-0,1 m do tratamento controle. Esse valor poderia ser considerado alto e suficiente para atender as necessidades da cultura. O exposto reforça a hipótese levantada, que o LVd nas condições do local do experimento (bairro rural de Tanquinho), considerado o manejo anterior têm alto potencial de mineralização de nitrogênio, e atendeu a demanda do nutriente pelo milho. Os altos teores de Nm observados nas distintas amostragens no LVd indicaram que a disponibilização de N pelo solo, em quantidade acima daquela que as plantas de milho necessitam, pode levar a uma absorção de luxo do nutriente pela cultura,

Os resultados referentes à produção de massa seca e o acúmulo de N na parte aérea do milho constam da Tabela 9. Normalmente, a cultura de milho é bastante responsiva à aplicação de N, e na grande maioria dos experimentos, embora às vezes não seja obtida diferença na produção de grãos, sempre se obtém diferença ao menos na produção de massa seca da parte aérea. Esse não foi o caso desse experimento, no qual a diferença entre o controle e os demais tratamentos foi nula, considerada a análise de variância dos resultados.

Conforme comentado anteriormente, o solo desse local (bairro rural de Tanquinho) deve possuir elevado potencial de mineralização de N, disponibilizando o nutriente à cultura de forma a nutrir adequadamente as plantas de milho, especialmente, nos estádios iniciais, não interferindo na definição do potencial produtivo da cultura que ocorre por volta dos estádios V4-V6, mesmo com diferenças visuais no crescimento das plantas de milho (Apêndice A), como informado anteriormente, entre o controle e demais tratamentos, o que pode ter ocorrido devido a uma nutrição de luxo nos tratamentos com N-fertilizante. Os resultados de acúmulo de N na parte aérea (Tabela 9) não evidenciaram diferenças entre tratamentos, embora o valor médio de N acumulado no controle se apresente menor que os demais tratamentos com N, o que pode ser um indicativo da nutrição de luxo acima aventada. O solo atendeu toda a exigência em nitrogênio da cultura, passando os tratamentos a se igualarem em crescimento após o V12, não ocorrendo diferenças marcantes tanto na MSPA como na quantidade de N acumulado no estágio R6. Uma hipótese que pode ser levantada em relação a esses resultados é que a partir de estágio V12 as raízes das plantas de milho exploraram um maior volume de solo, o que tornou à cultura mais hábil para absorver o N, inclusive de camadas mais profundas (Figuras 7 e 9). Dessa forma pode-se entender o motivo pelo qual nos estádios iniciais foram observadas diferenças visuais no crescimento de plantas de milho no LVd entre o controle e demais tratamentos, e a partir do V12 essas diferenças desapareceram.

Os resultados de produtividade de grãos do experimento (Tabela 9) também dão suporte à hipótese levantada anteriormente, uma vez que a produção de grãos não diferiu entre o tratamentos e foi da ordem de  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  (média de todos os tratamentos de  $10,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  de grãos) que atende ao critério de híbrido de milho de elevada produtividade. Para se obter produtividades dessa ordem a cultura exige elevada quantidade de nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA), que neste experimento foi em média de  $230 \text{ kg ha}^{-1}$ , correspondendo a cerca de 45 kg de grãos para cada kg de N acumulado pelas plantas de milho. Esse resultado é similar ao obtido por Bender et al. (2013a) que obtiveram nos Estados Unidos da América maior produtividade de grãos, da ordem de  $12 \text{ Mg ha}^{-1}$ , com milho híbrido transgênico, e

acúmulo de 280 kg ha<sup>-1</sup> de N (cerca de 45 kg de grãos para cada kg de N acumulado). Os resultados de eficiência de utilização interna de nitrogênio (EUIN) deste experimento (Tabela 9) foram em média de 22,4 kg de nitrogênio para cada Mg de grãos produzidos. Esses valores concordam com o informado por Sangoi et al. (2001), que estimaram que a cultura de milho acumula entre 20 a 25 kg de N para produzir um Mg de grãos.

A falta de resposta do milho à aplicação de 180 kg de N ha<sup>-1</sup> observada neste estudo leva a questionamentos sobre o sistema e os critérios de adubação nitrogenada na cultura. Não está sendo aplicado muito N nos agrossistemas com cultivo de milho? A eficiência de utilização de N pela cultura de milho não está sendo muito baixa? A recomendação de aplicação de N deve ser igual para todos os solos? Definitivamente, como evidenciado no LVd, existem solos nos quais não existe resposta à aplicação de N, ou mesmo que a resposta é baixa. Nesses casos, a adubação nitrogenada deve ser reavaliada, existindo a possibilidade de diminuir as doses e provavelmente obter as mesmas produtividades, o que levaria a menores dispêndios com insumos e maiores lucros para os produtores, que é o objetivo da agricultura moderna.

Com base nos resultados de exportação de N pelos grãos (ENG), mostrados na Tabela 9, pode se inferir que talvez em solos com características similares ao LVd de Tanquinho a adubação nitrogenada possa ser feita somente com fins de reposição do N exportado no controle, que em média, neste experimento foi de 133 kg ha<sup>-1</sup>.

Tabela 9 - Médias de produtividade de grãos (PG), massa seca da parte aérea (MSPA), nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA), exportação de nitrogênio nos grãos (ENG) e eficiência de utilização interna de nitrogênio (EUIN) na colheita do milho no LVd

| <b>Tratamentos</b> | <b>PG</b><br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | <b>MSPA</b><br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | <b>NAPA</b><br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | <b>ENG</b><br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | <b>EUIN</b><br>(kg Mg <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Controle           | 10,10                               | 18,81                                 | 207,53                                | 133,13                               | 20,59                                 |
| 100% URP           | 10,75                               | 19,90                                 | 234,75                                | 152,31                               | 21,93                                 |
| 90% URP + 10% U    | 10,19                               | 19,33                                 | 226,49                                | 145,10                               | 22,28                                 |
| 80% URP + 20% U    | 10,70                               | 20,81                                 | 240,00                                | 153,18                               | 22,53                                 |
| 70% URP + 30% U    | 10,06                               | 18,88                                 | 212,84                                | 137,08                               | 21,14                                 |
| 60% URP + 40% U    | 10,21                               | 20,43                                 | 252,61                                | 160,01                               | 24,74                                 |
| 50% URP + 50% U    | 10,61                               | 20,18                                 | 224,33                                | 144,13                               | 21,33                                 |
| 100% U             | 9,84                                | 19,64                                 | 222,86                                | 143,44                               | 22,67                                 |
| UMC                | 10,08                               | 20,97                                 | 242,22                                | 149,90                               | 24,03                                 |
| Valor de F         | 1,05 <sup>NS</sup>                  | 1,08 <sup>NS</sup>                    | 1,48 <sup>NS</sup>                    | 0,84 <sup>NS</sup>                   | 1,03 <sup>NS</sup>                    |
| C.V. (%)           | 6,12                                | 7,60                                  | 10,35                                 | 12,43                                | 11,87                                 |

NS= efeito não significativo com p≤0,1



Tabela 10 - Coeficientes de correlação (r) entre o teor de nitrogênio mineral ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) no perfil do solo nos estádios V4, V12 e R3 da cultura de milho e a produtividade final no LVd

| Variável             | 0-0,1 m             | 0,1-0,2 m                       | 0,2-0,4 m           | 0,4-0,6 m           |
|----------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|
|                      |                     | $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ |                     |                     |
|                      |                     | V6                              |                     |                     |
|                      | -0,01 <sup>NS</sup> | -0,02 <sup>NS</sup>             | -0,10 <sup>NS</sup> | -0,10 <sup>NS</sup> |
|                      |                     | V12                             |                     |                     |
| <b>Produtividade</b> | 0,1 <sup>NS</sup>   | -0,26 <sup>NS</sup>             | -0,20 <sup>NS</sup> | -0,01 <sup>NS</sup> |
|                      |                     | R1                              |                     |                     |
|                      | 0,23 <sup>NS</sup>  | 0,03 <sup>NS</sup>              | 0,05 <sup>NS</sup>  | 0,09 <sup>NS</sup>  |

NS= não significativo com  $p \leq 0,1$

Na Tabela 10, são mostrados os coeficientes de correlação entre o Nm no perfil do solo em diferentes estádios e a produtividade de grãos de milho. Não foram observadas correlações positivas entre o Nm e a produtividade em nenhum dos estádios nem em nenhuma das camadas amostradas. Isso parece demonstrar que em solos onde não existe limitação de disponibilidade de N, o teor de N inorgânico não tem relação direta com a produtividade final, ao contrário do que ocorre em solos com quantidades mais baixas de N mineral, como o LVAd (Tabela 13).

#### 4.2.2 Experimento no LVAd (campo experimental da ESALQ)

Na Tabela 11 constam os dados referentes à produtividade de grãos e outros índices agronômicos do experimento no LVAd e na Tabela 12 as estimativas dos contrastes. Neste experimento, diferentemente do discutido no LVd, foi observada diferença entre os tratamentos. O controle resultou em menor produtividade de grãos e diferiu de todos os tratamentos com aplicação de N-fertilizante. Entre os tratamentos com N, os que continham URP resultaram em maior produtividade que o 100% U e o UMC. Esses resultados podem significar que, como discutido anteriormente com os resultados de N inorgânico no solo, a disponibilização gradual de N realmente ocorreu e que a cultura de milho aproveitou melhor o nutriente do fertilizante de lenta liberação, resultando em maior produtividade de grãos. Esses dados evidenciaram que para ambientes em que cultura de milho apresenta resposta à aplicação de N-fertilizante, a URP pode ser considerada um fertilizante de eficiência aumentada e que sua utilização pode ser uma opção válida, e a utilização de misturas das duas fontes (URP e U) pode diminuir o custo total, não somente do fertilizante como também da operação de adubação, por ser aplicada a dose total de N na semeadura, sem necessidade de adubação em cobertura.

Neste estudo foram testadas as proporções desde 100% até 50% de URP na mistura com U. Essas estratégias resultaram em rendimento de grãos superior à utilização única de U. Dessa forma, fica demonstrado que misturas de URP e U em proporções de 100% a 50% com a fonte de liberação controlada, são eficientes na cultura de milho. No entanto, cabe ressaltar que são necessários mais estudos ao respeito do assunto em condições diversas de manejo, especialmente, no sistema plantio direto. Um dos principais questionamentos a ser feito pode ser em relação ao modo de aplicação dos fertilizantes nitrogenados. Neste estudo, os mesmos foram incorporados ao solo, operação que nem sempre é viável em campo, devido principalmente a limitações de implementos adequados para esse fim. Estudos envolvendo misturas de URP e U, mas com aplicação em superfície, podem ser interessantes para avaliar se tais misturas apresentam-se eficientes tal como quando incorporados ao solo. Essa prática poderia ser ainda mais interessantes para os produtores, levando em consideração o custo operacional que envolve a incorporação dos fertilizantes nitrogenados.

Os resultados de produção de MSPA constam da Tabela 11. Foram visíveis e contrastantes as diferenças na altura de plantas e na coloração das folhas entre o controle e demais tratamentos, durante todo o ciclo da cultura, mesmo até a colheita (Apêndice B). O mesmo fenômeno foi observado nos estádios iniciais antes do V6 entre o UMC e os tratamentos com URP, que receberam mesma dose de N. As plantas do UMC, nos estádios iniciais da cultura, mostraram-se visualmente menos nutridas que aquelas com a dose total aplicada na semeadura, evidenciando que o fornecimento de  $36 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicados na base, aparentemente, não atendeu a exigência do híbrido de milho no início de desenvolvimento. Após a aplicação de N em cobertura (estádio V6) no UMC, as plantas mostraram nítida recuperação e se igualaram em porte e coloração às plantas dos demais tratamentos com N-fertilizante. Foi constatada diferença entre os tratamentos com aplicação de N e o controle, mas não entre eles, nos resultados de MSPA.

Nos tratamentos com URP, foi possível verificar um comportamento quadrático da produção de MSPA em função da proporção dos fertilizantes de liberação controlada na mistura (Figura 18). Fazendo a derivada da equação apresentada na Figura 18, foi obtida a proporção de URP na qual seria atingida a maior produção de MSPA. A proporção indicada pela derivada de tal equação é de 67% de URP. Ou seja, a proporção de 67% de URP possivelmente seria a mais eficiente entre as misturas utilizadas, no referente a produção de MSPA.

Os resultados de N acumulado na parte aérea (NAPA) são mostrados também na Tabela 11. Pode ser observado que o tratamento controle acumulou menos N que todos os

tratamentos com aplicação de N-fertilizante. A média geral foi de  $226 \text{ kg ha}^{-1}$ , valor este muito próximo aos  $230 \text{ kg ha}^{-1}$  de média geral observados no LVd. No entanto, é importante ressaltar que no LVAd o milho do tratamento controle acumulou cerca de  $127 \text{ kg N ha}^{-1}$  ( $80 \text{ kg N ha}^{-1}$  menos que o controle do LVd). Bender et al. (2013a) observaram uma quantidade de NAPA de  $280 \text{ kg N ha}^{-1}$  em milho com PG de  $12 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Ciampitti e Vynn (2012), por sua vez, encontraram NAPA do milho da ordem de  $170 \text{ kg N ha}^{-1}$  para PG de  $9,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Fazendo os cálculos correspondentes, Bender et al. (2013a) obtiveram uma média de  $43 \text{ kg}$  de grãos por  $\text{kg}$  de N acumulado, entanto Ciampitti e Vynn (2012) chegaram a  $53 \text{ kg}$  de grãos por cada  $\text{kg}$  de N acumulado na parte aérea. Neste estudo, foi atingido um valor aproximado ao observado pelos dois autores, com uma média de  $45 \text{ kg}$  de grãos  $\text{kg}^{-1}$  de N. Comparando entre tratamentos, se pode ver que existiu diferença entre os que tiveram aplicação de N e o tratamento controle, mas não foi observada diferença entre eles.

Nos tratamentos com URP, foi possível verificar também um comportamento quadrático da quantidade de NAPA em função da proporção dos fertilizantes de liberação controlada na mistura (Figura 19). Fazendo a derivada da equação apresentada, foi obtida a proporção de URP na qual poderia ser atingida a maior quantidade de NAPA. A proporção indicada pela derivada de tal equação é de  $61\%$  de URP nas misturas. Ou seja, a proporção de  $61\%$  de URP possivelmente seria a mais eficiente entre as misturas utilizadas, para a produção de MSPA.

Os resultados de EUIN observada neste experimento foi em média  $22,2 \text{ kg}$  de N para cada  $\text{Mg}$  de grãos produzidos. Valor similar foi observado no LVAd, onde foi de  $22,4 \text{ kg}$  de N por  $\text{Mg}$  de grãos. Esses valores concordam com o informado por Sangoi et al. (2001), que estimaram que a cultura de milho acumula entre  $20$  a  $25 \text{ kg}$  de N para produzir um  $\text{Mg}$  de grãos.

Na Tabela 13, são mostrados os coeficientes de correlação entre o Nm no perfil do solo em diferentes estádios e a produtividade de grãos de milho. Nesse experimento, foram observadas correlações positivas principalmente com a camada de  $0-0,1 \text{ m}$ . Dessa forma, pode se inferir que em solos com limitações de N mineral, as quantidades no solo podem ter relação com a produtividade de grãos. Na literatura podem ser encontrados vários trabalhos em busca de métodos de avaliação da necessidade de adubação nitrogenada da cultura de milho, mas até hoje não foram obtidos resultados conclusivos ao respeito. Na maioria desses trabalhos, os autores consideram somente o teor de  $\text{NO}_3^-$  no solo, sem ter em consideração o  $\text{NH}_4^+$ , porque o primeiro está geralmente presente em maiores quantidades na solução do solo. Teores mais

altos de  $\text{NH}_4^+$  que  $\text{NO}_3^-$  são considerados praticamente exclusivos em solos alagados. Entretanto, neste trabalho foi observado que nem sempre isso é assim, e que em determinadas condições o teor de amônio pode ser maior que o de nitrato, pelo que resulta mais interessante analisar os dois tipos de N mineral em forma conjunta que separadamente.

Tabela 11 - Médias de produtividade de grãos (PG), massa seca da parte aérea (MSPA), nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA), exportação de nitrogênio nos grãos (ENG) e eficiência de utilização interna de nitrogênio (EUIN) na colheita do milho no LVAd

| <b>Tratamentos</b> | <b>PG</b><br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | <b>MSPA</b><br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | <b>NAPA</b><br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | <b>ENG</b><br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | <b>EUIN</b><br>(kg Mg <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Controle           | 7,53                                | 11,17                                 | 126,88                                | 96,10                                | 16,91                                 |
| 100% URP           | 11,45                               | 18,12                                 | 198,46                                | 140,47                               | 17,35                                 |
| 90% URP + 10% U    | 10,21                               | 21,43                                 | 244,84                                | 174,91                               | 24,13                                 |
| 80% URP + 20% U    | 10,68                               | 24,17                                 | 263,24                                | 180,72                               | 24,66                                 |
| 70% URP + 30% U    | 11,29                               | 22,39                                 | 237,39                                | 163,65                               | 21,31                                 |
| 60% URP + 40% U    | 11,28                               | 20,91                                 | 228,20                                | 159,68                               | 20,61                                 |
| 50% URP + 50% U    | 10,69                               | 22,81                                 | 253,52                                | 176,01                               | 23,68                                 |
| 100% U             | 9,24                                | 22,70                                 | 258,49                                | 174,00                               | 28,05                                 |
| UMC                | 9,57                                | 20,23                                 | 226,70                                | 156,32                               | 23,73                                 |
| Valor de F         | 4,01*                               | 9,89*                                 | 10,02*                                | 7,54*                                | 4,62*                                 |

\* Efeito significativo dos tratamentos com  $p \leq 0,1$

Tabela 12 - Estimativas de contraste para valores de produtividade de grãos (PG), massa seca da parte aérea (MSPA), nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA), exportação de nitrogênio nos grãos (ENG) e eficiência de utilização interna de nitrogênio (EUIN) na colheita do milho no LVAd

| <b>Contraste</b>   | <b>Estimativa de contraste</b>      |                                       |                                       |                                      |                                       |
|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
|                    | <b>PG</b><br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | <b>MSPA</b><br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | <b>NAPA</b><br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | <b>ENG</b><br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | <b>EUIN</b><br>(kg Mg <sup>-1</sup> ) |
| URP vs Controle    | 20,43*                              | 68,21*                                | 664,34*                               | 418,84*                              | 30,27*                                |
| URP vs 100% U      | 10,13*                              | -6,40                                 | -125,29                               | -48,57                               | -36,59*                               |
| URP vs UMC         | 8,19*                               | 8,62                                  | 65,44                                 | 57,51                                | -10,62                                |
| 100% U vs Controle | 1,72*                               | 1,53*                                 | 131,60*                               | 77,90*                               | 11,14*                                |
| UMC vs Controle    | 2,04*                               | 9,06*                                 | 99,82*                                | 60,22*                               | 6,81*                                 |
| 100% U vs UMC      | -0,32                               | 24,77                                 | 31,79                                 | 17,68                                | 4,32*                                 |
| Linear % URP       | 0,00                                | 20,09*                                | 199,54*                               | 114,97                               | 17,75                                 |
| Quadrático % URP   | 1,34                                | -23,92*                               | -215,62*                              | -129,63                              | -23,48                                |
| C.V. (%)           | 10,72                               | 10,48                                 | 10,21                                 | 10,53                                | 13,01                                 |

<sup>(1)</sup> Valores positivos indicam superioridade do primeiro grupo, enquanto valores negativos indicam superioridade do segundo grupo; \* indica efeito significativo dos contrastes com  $p \leq 0,1$

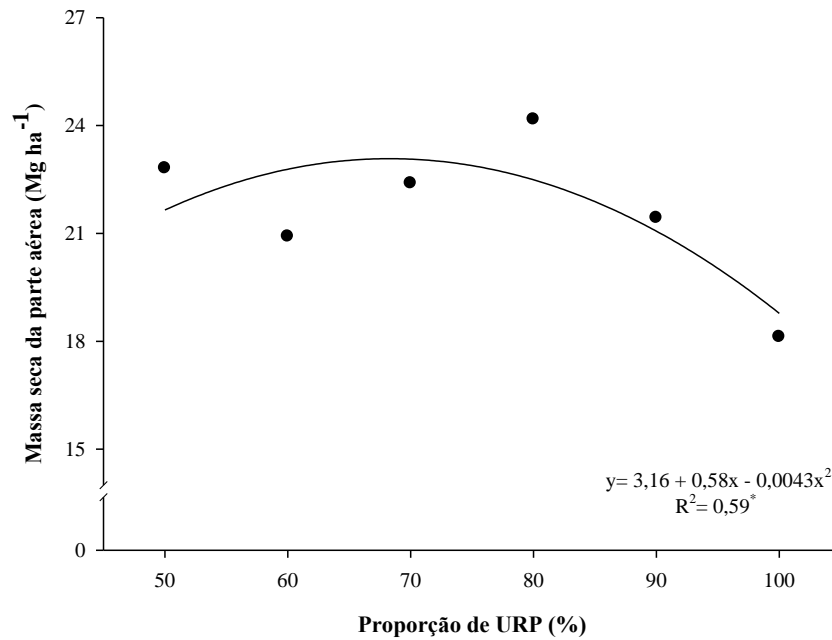


Figura 18 - Produção de massa seca da parte aérea (MSPA) do milho no LVAd em função da proporção de ureia revestida com polímeros (URP) aplicada na semeadura. Amostragem de plantas realizada na colheita do milho. \* indica significância com  $p \leq 0,1$

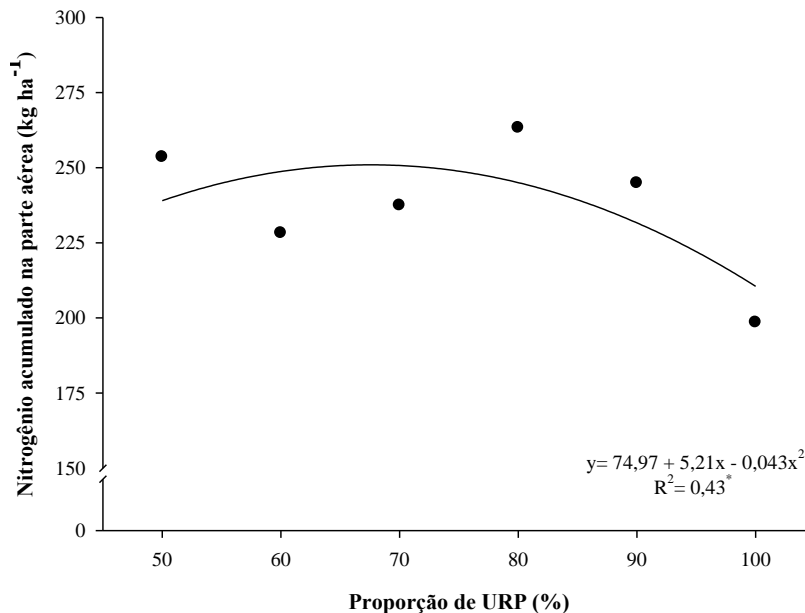


Figura 19 - Nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA) do milho no LVAd em função da proporção de ureia revestida com polímeros (URP) aplicada na semeadura. Amostragem de plantas realizada na colheita. \* indica significância com  $p \leq 0,1$

Tabela 13 - Coeficientes de correlação (r) entre o teor de nitrogênio mineral ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) no perfil do solo nos estádios V6, V12 e R4 da cultura de milho e a produtividade final no LVAd

| Variável             | 0-0,1 m | 0,1-0,2 m                       | 0,2-0,4 m          | 0,4-0,6 m           |
|----------------------|---------|---------------------------------|--------------------|---------------------|
|                      |         | $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ |                    |                     |
|                      |         | V6                              |                    |                     |
|                      | 0,43*   | 0,39*                           | 0,40*              | 0,27 <sup>NS</sup>  |
|                      |         | V12                             |                    |                     |
| <b>Produtividade</b> | 0,55*   | 0,10 <sup>NS</sup>              | 0,04 <sup>NS</sup> | -0,20 <sup>NS</sup> |
|                      |         | R4                              |                    |                     |
|                      | 0,55*   | 0,58*                           | 0,25 <sup>NS</sup> | 0,27 <sup>NS</sup>  |

<sup>NS</sup> indica a ausência de efeito significativo

\* indica efeito significativo com  $p \leq 0,1$

As seguintes inferências podem ser feitas a respeito dos dois experimentos desenvolvidos. No LVd e no LVAd, a ureia revestida com polímeros (URP) propiciou disponibilização de nitrogênio (N) no solo de forma mais eficiente que a ureia convencional ao longo do ciclo da cultura de milho. Entretanto, efeitos na produtividade só foram observados no LVAd, onde a utilização de URP demonstrou ser mais eficiente, atingindo produtividades maiores que no manejo convencional, com parcelamento da dose de N uréia convencional aplicada em superfície, ou a dose de ureia aplicada incorporada ao solo, toda na semeadura.

Os tipos de solo e o potencial de mineralização de N dos mesmos podem determinar a possibilidade de resposta da cultura de milho à aplicação de N-fertilizante. Neste estudo foi observado que solos arenosos como o LVAd têm mais probabilidade de resposta positiva a esses produtos que solos mais argilosos, como o LVd.



## **5 CONCLUSÕES**

- A ureia revestida com polímeros disponibilizou nitrogênio mineral no solo ao longo de todo o ciclo da cultura de milho, o que resultou em produtividades mais elevadas em relação à utilização de ureia convencional sob condição edafoclimática favorável.

- A utilização de misturas de ureia revestida com polímeros e ureia convencional na adubação da cultura do milho, com proporções variando de 100% a 50% da fonte de liberação controlada, mostrou-se eficiente e pode ser considerada uma estratégia que fornece nitrogênio conforme a exigência da cultura.





## REFERÊNCIAS

AFUAKWA, J.J.; CROOKSTON, R.K. Using the kernel milk line to visually monitor grain maturity in maize. **Crop Science**, Madison, v. 24 p. 687-691, 1984.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; HÜBNER, A.P.; CHIAPINOTTO, I.C.; FRIES, M.R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. I- Dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 739-749, 2004.

ANDRASKI, T.W.; BUNDY, L.G.; BRYE, K.R. Crop management and corn nitrogen rate effects on nitrate leaching. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 29, p. 1095-1103, 2000.

BENDER, R.R.; HAEGELE, J.W.; RUFFO, M.L.; BELOW, F.E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 161-170, 2013a.

\_\_\_\_\_. Transgenic corn rootworm protection enhances uptake and post-flowering mineral nutrient accumulation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 1626-1634, 2013b.

BLACKMER, A.M.; POTTKER, D.; CERRATO, M.E.; WEBB, J. Correlations between soil nitrate concentrations in late spring and corn yields in Iowa, **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 2, p. 103-109, 1989.

BLACKSHAW, R.E.; HAO, X.; HARKER, K.N.; O'DONOVAN, J.T.; JOHNSON, E.N.; VERA, C.L. Barley productivity response to polymer-coated urea in a no-till production system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, p. 1100-1105, 2011.

BRONSON, K.F. Forms of inorganic nitrogen in soil. In: SCHEPERS, J.S.; RAUN, W.R.; (Ed.). **Nitrogen in agricultural systems**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2008. p. 31-56. (Agronomy Monograph, 49).

CANTARELLA, H. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. (Ed.). **Tecnologias de produção de milho**. Viçosa: Editora UFV, 2004. p. 139-182.

\_\_\_\_\_. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação do nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 271-276.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p. 43-70.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 102, p. 267-322, 2009.

CIAMPITTI, I.A.; VYNN, T.J. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 133, p. 48-67, 2012.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. Balanço de nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) em um latossolo vermelho-escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, p.187-193, 1992.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em:  
<<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 25 out. 2013.

CREWS, T.E.; PEOPLES, M.B. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer based agroecosystems? A review. **Nutrient Cycling Agroecosystem**, Dordrecht, v. 72, p. 101-120, 2005.

DINNES, D.L.; KARLEN, D.L.; JAYBES, D.B.; KASPAR, T.C.; HATFIELD, J.L.; COLVIN, T.S.; CAMBARDELLA, C.A. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 153-171, 2002.

DOBERMANN, A. Nutrient use efficiency measurement and management. In: INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. **Fertilizer best management practices: general principles, strategy for their adoption and voluntary initiatives vs regulations**. Paris, 2007. chap. 1, p. 1-28.

DU, C.; TANG, D.; ZHOU, J.; WANG, H.; SHAVIV, A. Prediction of nitrate release from polymer-coated fertilizers using an artificial neural network model. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 99, p. 478-486, 2008.

DUSENBURY, M.P.; ENGEL, R.E.; MILLER, P.R.; LEMKE, R.L.; WALLANDER, R. Nitrous oxide emissions from a Northern Great Plains soil as influenced by nitrogen management and cropping system. **Journal of Environmental Quality**. Madison, v. 37, p. 542-550, 2008.

ERNANI, P.R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo com variáveis da forma de aplicação de ureia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 993-1000, 2002.

FAN, X. H.; LI, Y. C. Nitrogen release from slow release fertilizers as affect by soil type and temperature. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, p. 1635-1641, 2010.

FILLERY, I.R.P. Plant-based manipulation of nitrification in soil: a new approach to managing N loss? **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 299, p. 55-64, 2007.

FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, E.C.A. & TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 121, p. 29-41, 2011.

FUJINUMA, R.; BALSTER, N.J.; NORMAN, J.M. An improved model of nitrogen release for surface-applied controlled-release fertilizer. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, p. 2043-2050, 2009.

FUJITA, T.C.; TAKAHASHI, C.; YOSHIDA, S.; HIMIZU, H. **Coated granular fertilizer capable of controlling the effects of temperature on dissolution-out rate**. US.Patent 4369055. Date issued: 18 January.

GAGNON, B.; ZIADI, N.; GRANT, C. Urea fertilizer forms affect grain corn yield and nitrogen use efficiency. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 92, p. 341-351, 2012.

GANDEZA, A.T.; SHOJI, S.; YAMADA, I. Simulation of crop response to polyolefin-coated urea: I. Field dissolution. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 1462-1467, 1991.

GINÉ, M.F.; BERGAMIN FILHO, H.; ZAGATTO, E.A.G.; REIS, B.F. Simultaneous determination of nitrate and nitrite by flows injection analysis. **Analytica Chimica Acta**, New York, v. 114, p. 191-197, 1980.

GOPALAKRISHNAN, S.; SUBBARAO, G.V.; NAKAHARA, K.; YOSHIHASHI, T.; ITO, O.; MAEDA, I.; ONO, H.; YOSHIDA, M. Nitrification inhibitors from the root tissues of *Brachiaria humidicola*, a tropical grass. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 55, p. 1385-1388, 2007.

GRANT, C.A.; WU, R.; SELLES, F.; HARKER, K.N.; CLAYTON, G.W.; BITTMAN, S.; ZEBARTH, B.J.; LUPWAYI, N.Z. Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared to non-coated urea applied at seeding. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 127, p. 170-180, 2012.

HAEGELE, J.W.; COOK, K.A.; NICHOLS, D.M.; BELOW, F.E. Changes in nitrogen use traits associated with genetic improvement for grain yield of maize hybrids releases in different decades. **Crop Science**, Madison, v. 53, p. 1256-1268, 2013.

HALVORSON, A.D.; BARTOLO, M.E. Nitrogen source and rate effects on irrigated corn yields and nitrogen-use efficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 1-13, 2013.

HANWAY, J.J. Corn growth and composition in relation to soil fertility: II. Uptake of N, P, and K and their distribution in different plant parts during the growing season. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p. 217-222, 1962.

HAO, X.; CHANG, C.; CAREFOOT, J.M.; JANZEN, H.H.; ELLERT, B.H. Nitrous oxide emissions from an irrigated soil as affected by fertilizer and straw management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 60, p. 1-8, 2001.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I.S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. In: MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3<sup>rd</sup> ed. London: Academic Press, 2012. p. 135-189.

HONG, N.; SCHARF, P.C.; DAVIS, J.G.; KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A. Economically optimal nitrogen rate reduces soil residual nitrate. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 36, p. 354-362, 2007.

HU, H.; NING, T.; LI, Z.; HAN, H.; ZHANG, Z.; QIN, S.; ZHENG, Y. Coupling effects of urea types and subsoiling on nitrogen-water use and yield of different varieties of maize in northern China. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 142, p. 85-94, 2012.

KARLEN, D.L.; FLANNERY, R.L.; SADLER, E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 232-242, 1988.

KIEHL, J.C. Distribuição e retenção da amônia no solo após aplicação de uréia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 75-80, 1989.

KÖPPEN, W. **Climatology: a study of the climates of the earth**. Mexico City: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 233 p.

LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de amônia na cultura do milho: II Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 489-496, 1997.

LARA-CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; KONDÖRFER, G.H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída de cobertura na cultura do milho, em sistema plantio direto no triângulo mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 363-376, 2000.

LATKOVIĆ, D.; JAĆIMOVIĆ, G.; MALEŠEVIĆ, M.; MARINKOVIĆ, B.; CRNOBARAC, J. Corn monoculture yield response to fertilization and nitrate nitrogen distribution. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 43, p. 1015-1023, 2012.

LI, G.H.; ZHAO, L.P.; ZHANG, S.X.; HOSEN, H.; YAGI, K. Recovery and leaching of <sup>15</sup>N-labeled urea in a lysimeter system in the north China plain. **Pedosphere**, Beijing, v. 21, p. 763-772, 2011.

MARIANO, E. **Mineralização de nitrogênio em solos cultivados com cana-de-açúcar**. 2010. 92 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MARIANO, E.; TRIVELIN, P.C.O.; LEITE, J.M.; MEGDA, M.X.V.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J. Incubation methods for assessing mineralizable nitrogen in soils under sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 450-461, 2013.

MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Manuseio e conservação de amostras de solo para preservação do N inorgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 423-431, 1995.

MEISINGER, J.J., BANDEL, V.A.; ANGLE, J.S.; O’KEEFE, B.E.; REYNOLDS, C.M. Presidedress soil nitrate test in Maryland. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, p. 1527–1532, 1992.

MILLER, A.J.; CRAMER, M.D. Root nitrogen acquisition and assimilation. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 274, p. 1-36, 2004.

MOTAVALLI, P.P.; GOYNE, KW.; UDAWATTA, R.P. Environmental impacts of enhanced-efficiency nitrogen fertilizers. **Crop Management**, Missouri. 2008. <<http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/symposium/enhanced/impacts/>>. Acesso em: 15 out. 2013.

NASH, P.R.; NELSON, K.A.; MOTAVALLI, P.P.; MEINHARDT, C.G. Effects of polymer-coated urea application ratios and dates on wheat and subsequent double-crop soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, 1074-1084, 2012.

NÄSHOLM, T.; KIELLAND, K.; GANETEG, U. Uptake of organic nitrogen by plants. **New Phytologist**, Lancaster, v. 182, p. 31-48, 2009.

NEIVERTH, C. A. **Lixiviação de nitrato e amônio em colunas de solos de uma pedosequencia do Paraná**. 2013. 115 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

NOELLSCH, A.J.; MOTAVALLI, P.P.; NELSON, K.A.; KITCHEN, N.R. Corn response to conventional and slow-release nitrogen fertilizers across a clay pan landscape. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, p. 607-614, 2009.

NORTON, J.M. Nitrification in agricultural soils. In: SCHEPERS, J.S.; RAUN, W.R. (Ed.). **Nitrogen in agricultural systems**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2008. p. 173-200. (Agronomy Monograph, 49).

OWEN, A.G.; JONES, D.L. Competition for amino acids between wheat roots and rizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 33, p. 651-657, 2001.

PAVINATO, P.S.; CERETTA, C.A.; GIROTTO, E.; MOREIRA, I.C.L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 358-364, 2008.

POLETTO, N.; GROHS, D.; MUNDSTOCK, C. Flutuação diária e estacional de nitrato e amônio em um argissolo vermelho distrófico típico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1619-1626, 2008.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade do solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RECOUS, S.; MARY, B.; FAURIE, G. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in cultivated soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 22, p. 913-922, 1990.

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

REIS, B.F.; VIEIRA, J.A.; KRUG, F.J.; GINÉ, M.F. Development of a flow injections system two analytical paths for ammonium determination in soil extracts by conductometry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 8, p. 524-528, 1997.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University, 1993. 92 p.

SAINJU, U.M.; SINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F.; WANG, S. Accumulation and crop uptake of soil mineral nitrogen as influenced by tillage, cover crops, and nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 99, p. 682-691, 2007.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; SILVA, P.R.F. Maize response to nitrogen fertilization timing in two tillages system in a soil with high organic matter content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 507-517, 2007.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; KONFLANZ, V.A. Nitrogen fertilization impact on agronomic traits of maize hybrids released at different decades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 757-764, 2001.

SAS Institute INC. SAS/STAT™ SAS user's guide for windows environment. 6.11 ed. Cary: SAS Institute, 1995.

SAYRE, J.D. Mineral accumulation in corn. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 23, p. 267-281, 1948.

SHAVIV, A. Advances in controlled release of fertilizers. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 71, p. 1-49, 2000.

SHAVIV, A.; MIKKELSEN, R.L. Controlled-release fertilizers to increase the efficiency of nutrient and minimize environmental degradation: a review. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 35, p. 1-12, 1993.

SHAVIV, A.; RABAN, S.; ZAIDEL, E. Modelling controlled nutrient release from polymer coated fertilizers: diffusion release from single granules. **Environmental Science & Technology**, Iowa, v. 37, p. 2251-2256, 2003a.

\_\_\_\_\_. Modelling controlled nutrient release from a population of polymer coated fertilizers: statically based model for diffusion release. **Environmental Science & Technology**, Iowa, v. 37, p. 2257-2261, 2003b.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Frankfurt: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-13.

SHOJI, S.; KANNO, H. Use of polyolefin-coated fertilizers for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate leaching and nitrous oxide emissions. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 39, 147-152, 1994.

SHOJI, S.; GANDEZA, A.T.; KIMURA, K. Simulation of crop response to polyolefin-coated urea. II. Nitrogen uptake by corn. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 1468-1473, 1991.

SHOJI, S.; DELGADO, J.; MOSIER, A.; MIURA, Y. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Madison, v. 32, n. 7/8, p. 1051-1070, 2001.

SILVA, E.C.; FERREIRA, S.M.; SILVA, G.P.; ASSIS, R.L.; GUIMARÃES, G.L. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 725-733, 2005.



STEVENSON, F.J. Organic forms of soil nitrogen. In: \_\_\_\_\_. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 1982. p. 67–122. (Agronomy Monograph, 22).

SUBBARAO, G.V.; ISHIKAWA, T.; ITO, O.; OKADA, K. Suppression of nitrification and nitrous oxide emission by the tropical grass *Brachiaria humidicola*. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 255, p. 413–419, 2003.

SUBBARAO, G.V.; ISHIKAWA, T.; ITO, O.; NAKAHARA, K.; WANG, H.Y.; BERRY, W.L. A bioluminescence assay to detect nitrification inhibitors released from plant roots: a case study with *Brachiaria humidicola*. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 288, p. 101–112, 2006a.

SUBBARAO, G.V.; WANG, H.Y.; ITO, O.; NAKAHARA, K.; BERRY, W.L.  $\text{NH}_4^+$  triggers the synthesis and release of biological nitrification inhibition compounds in *Brachiaria humidicola* roots. **Plant Soil**, Netherlands, v. 290, p. 245–257, 2007a.

SUBBARAO, G.V.; RONDON, M.; ITO, O.; ISHIKAWA, T.; RAO, I. M.; NAKAHARA, K.; LASCANO, C.; BERRY, W.L. Biological nitrification inhibition (BNI): is it a widespread phenomenon? **Plant Soil**, Amsterdam, v. 294, p. 5–18, 2007b.

SUBBARAO, G.V.; ITO, O.; SAHRAWAT, K.L.; BERRY, W.L.; NAKAHARA, K.; ISHIKAWA, T.; WATANABE, T.; SUENAGA, K.; RONDON, M.; RAO, I. M. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems: challenges and opportunities. **Critical Reviews in Plant Sciences**, London, v. 25, p. 303–335, 2006b.

SUBBARAO, G.V.; NAKAHARA, K.; ISHIKAWA, T.; YOSHIHASHI, T.; ITO, O.; ONO, H.; OHNISHI-KAMEYAMA, M.; YOSHIDA, M.; KAWANO, N.; BERRY, W.L. Free fatty acids from the pasture grass *Brachiaria humidicola* and one of their methyl esters as inhibitors of nitrification. **Plant Soil**, Amsterdam, v. 313, p. 89–99, 2008.

SUBBARAO, G.V.; NAKAHARA, K.; HURTADOB, M.P.; ONO, H.; MORETA, D.E.; SALCEDO, A.F.; YOSHIHASHI, A.T.; ISHIKAWA, T.; ISHITANI, M.; OHNISHI-KAMEYAMA, M.; YOSHIDA, M.; RONDON, M.; RAO, I.M.; LASCANO, C.E.; BERRY, W.L.; ITO, O. Evidence for biological nitrification inhibition in *Brachiaria* pastures. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Stanford, v. 41, p. 17302-17307, 2009.

TRENKEL, M.E. **Slow and controlled release and stabilized fertilizers**: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. 2<sup>nd</sup> ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 160 p.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; BENDASOLLI, J.A. Perdas de nitrogênio da ureia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 193-201, 2002.

WILSON, M.L.; ROSEN, C.J.; MONCRIEF, J.F. Potato response to a polymer-coated urea on an irrigated, coarse-texture soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, p. 897-905, 2009.

YANG, Y.; ZHANG, M.; LI, Y.C.; FAN, X.; GENG, Y. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, activities of leaf enzymes, and rice yield. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 76, p. 2307-2317, 2013.

YANG, Y.C.; ZHANG, M.; ZHENG, L.; CHENG, D.D.; LIU, M.; GENG, Y.Q. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, yield and quality of wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, p. 479-485, 2011.

ZHAO, S.L.; GUPTA S.C.; HUGGINS, D.R.; MONCRIEF, J.F. Tillage and nutrient source effects on surface and subsurface water quality at corn planting. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 30, p. 998–1008, 2001.

ZIADI, N.; GRANT, C.; SAMSON, N.; NYIRANEZA, J.; BELANGER, G.; PARENT, L.E. Efficiency of controlled-release urea for a potato production system in Quebec, Canada. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, p. 60-66, 2011.



## **APÊNDICES**



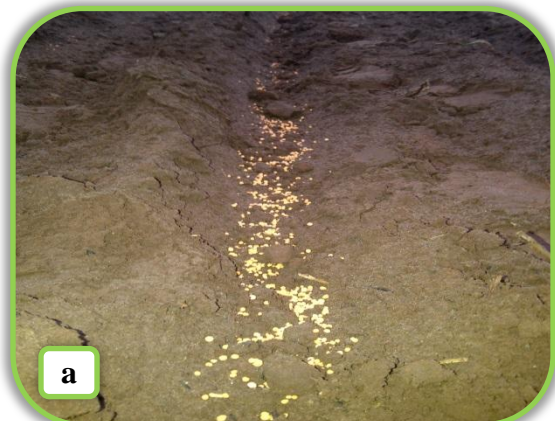
**APÉNDICE A – Fotos do experimento no LVd (bairro rural de Tanquinho)**



**Descrição das fotos**

- a) Aplicação do tratamento 100% URP
- b) Aplicação de um dos tratamentos com mistura entre URP e U
- c) Vista geral do experimento
- d) Tratamento controle com sintomas de deficiência de N (estádio V4 do milho)
- e) Aplicação de ureia convencional em cobertura (tratamento UMC)
- f) Espigas de milho após a colheita e antes do debulhado



**APÉNDICE B – Fotos do experimento no LVAd (campo experimental da ESALQ)****Descrição das fotos**

- a) Aplicação do tratamento 100% URP
- b) Aplicação de um dos tratamentos com misturas de URP e U
- c) Vista geral do experimento
- d) Vista geral do experimento. Tratamento controle com sintomas de deficiência de N
- e) Tratamento controle com sintomas de deficiência de N, contrastando com os demais
- f) Grânulos de URP ainda presentes no solo em volta das raízes no estágio R4 do milho

## APÊNDICE C – Fotos de amostragem de solo e determinação de N mineral no solo



### Descrição das fotos

- a) Amostragem de solo com trado holandês para determinação de N inorgânico
- b) Armazenamento das amostras de solo em caixa térmica com gelo
- c) Pesagem de amostras para a extração de N inorgânico e determinação de umidade
- d) Agitação horizontal da mistura solo:solução (relação 1:10, KCl 1 mol L<sup>-1</sup>)
- e) FIA Nitrato. Equipamento utilizado para a determinação da concentração de N-nitrato
- f) FIA Amônio. Equipamento utilizado para a determinação da concentração de N-amônio





**ANEXOS**



ANEXO A - Coeficientes de contraste para valores de N-nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), N-amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ), nitrogênio mineral ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ), produtividade de grãos (PG), massa seca da parte aérea (MSPA), nitrogênio acumulado na parte aérea (NAPA), exportação de nitrogênio nos grãos (ENG) e eficiência de utilização interna de nitrogênio (EUIN) no LVd e no LVAd

| Contraste                      | Tratamento <sup>(1)</sup> |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------------|---------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                | T1                        | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 |
| URP <sup>(2)</sup> vs Controle | -6                        | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  |
| URP vs 100% U <sup>(2)</sup>   | 0                         | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | -6 | 0  |
| URP vs UMC                     | 0                         | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | -6 |
| 100% U vs Controle             | -1                        | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |
| UMC vs Controle                | -1                        | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 100% U vs UMC <sup>(2)</sup>   | 0                         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | -1 |
| Linear URP                     | 0                         | -5 | -3 | -1 | 1  | 3  | 5  | 0  | 0  |
| Quadrática URP                 | 0                         | 5  | -1 | -4 | -4 | -1 | 5  | 0  | 0  |

<sup>(1)</sup> T1= Controle; T2= 100% URP; T3= 90% URP + 10% U; T4= 80% URP + 20% U; T5= 70% URP + 30% U; T6= 60% URP+ 40% U; T7= 50% URP + 50% U; T8= 100% U; T9= UMC

<sup>(2)</sup> URP= ureia revestida com polímeros; U= ureia convencional; UMC= ureia em manejo convencional com dose de N ( $180 \text{ kg ha}^{-1}$ ) aplicada parceladamente (20% na semeadura e 80% em cobertura)