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

Eficiência da adubação com misturas de ureia comercial e ureia recoberta com enxofre e polímero na semeadura do milho

Pedro Lopes Garcia

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

Piracicaba
2017

Pedro Lopes Garcia
Engenheiro Agrônomo

**Eficiência da adubação com misturas de ureia comercial e ureia recoberta com enxofre e
polímero na semeadura do 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
2017

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

Garcia, Pedro Lopes

Eficiência da adubação com misturas de ureia comercial e ureia recoberta com enxofre e polímero na semeadura do milho / Pedro Lopes Garcia - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011, - - Piracicaba, 2017.

129 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Zea mays* L. 2. Eficiência de uso de nitrogênio 3. Fertilizante de liberação controlada 4. Acúmulo de nutrientes I. Título

Aos meus pais

José Carlos e Silvia

Aos meus irmãos

Júlia, Theo e Dario

Ao meu sobrinho

Gabriel

Aos meus avós

Marlene, Zito Garcia (*in memoriam*), **Maria de Lourdes e Luiz Antonio** (*in memoriam*)

Aos meus parentes

Delma (*in memoriam*), **Mari, Pedro Angelo, Joseane e Juquinha**

Aos meus amigos

Dedico e Ofereço

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP por possibilitar a realização do curso de Mestrado e todo o corpo docente pelos ensinamentos.

Ao Professor Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin por ter me aceitado como seu orientado de Mestrado, pela excelente orientação, apoio e ensinamentos durante o programa.

À CAPES e ao CNPq pela concessão da bolsa de Mestrado.

Ao Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) pela estrutura e apoio.

À Fundação AGRISUS e à empresa Produquímica Indústria e Comércio S/A pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Ao Professor Dr. Paulo Sérgio Pavinato pelo suporte com a casa de vegetação usada nos experimentos.

À Professora Dra. Renata Alcarde Sermarini pelo tempo e pela grande contribuição nas análises estatísticas.

À equipe do Laboratório de Isótopos Estáveis (Prof. Dr. Albertino Bendassoli, Prof. Dr. Helder de Oliveira, Prof. Dr. Jefferson Mortatti; técnicos Ana Paula, Hugo Batagello, Pingin; secretária Magda; estagiários: Carol, Jussara, Elis, Henrique, Gustavo, Letícia, Maick, Milena e Catherine; funcionários: Bento e Clélber) pela amizade, contribuições e troca de conhecimentos.

Aos alunos de pós-graduação Hugo Abelardo, Beatriz Nastaro, Eduardo Mariano, Bruno Moschini, Nicole Cheng, Luis Rinaldi, e ao Pós-doutor Carlos Sant'Ana pela amizade, contribuições e troca de conhecimentos.

Ao Mário Croffi, Nilce Miranda e Ricardo Pansa (Nutriplant Ind. e Com. S/A) pelo reconhecimento profissional.

E a todos que contribuíram para tornar este sonho realidade.

MUITO OBRIGADO!

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê .”*

Arthur Schopenhauer

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Cultura do milho.....	13
2.2 Produção de milho.....	14
2.3 Nitrogênio na cultura do milho	14
2.4 Acúmulo e particionamento de nutrientes e massa seca na cultura do milho	15
2.5 Ureia e a eficiência de uso de nitrogênio	16
2.6 Efeitos da aplicação concentrada de ureia.....	18
2.7 Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada.....	19
2.7.1 Ureia revestida com enxofre e polímero.....	20
2.7.2 Mistura de ureia comercial e ureia revestida com enxofre e polímero.....	23
2.8 Índices de eficiência de uso do nitrogênio	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Experimentos em campo	25
3.1.1 Solos e locais	25
3.1.2 Tratamentos e delineamento estatístico	25
3.1.3 Híbrido de milho.....	28
3.1.4 Instalação e condução.....	29
3.1.5 Avaliações	30
3.1.5.1 Produtividade de grãos.....	30
3.1.5.2 Índices de eficiência de uso do nitrogênio	31
3.1.5.3 Massa seca da parte aérea e acúmulo de macronutrientes	31
3.1.6 Análises estatísticas	32
3.2 Experimento em casa de vegetação (I).....	33
3.2.1 Solo.....	33
3.2.2 Unidade experimental, tratamentos e delineamento estatístico.....	34
3.2.3 Híbrido de milho.....	36
3.2.4 Instalação e condução.....	36
3.2.5 Avaliações	38
3.2.6 Análise estatística	39
3.3 Experimento em casa de vegetação (II)	39
3.3.1 Solo.....	39
3.3.2 Unidade experimental, tratamentos e delineamento estatístico.....	40

3.3.3 Híbrido de milho	41
3.3.4 Instalação e condução.....	41
3.3.5 Avaliações	42
3.3.6 Análise estatística.....	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Experimento em campo	47
4.1.1 Condições climáticas.....	47
4.1.2 Produtividade de grãos e índices de eficiência de uso do nitrogênio.....	47
4.1.3 Acúmulo e particionamento da massa seca e dos macronutrientes da parte aérea ao longo do ciclo do milho.....	52
4.1.3.1 Acúmulo e particionamento da massa seca	52
4.1.3.2 Acúmulo e particionamento de nitrogênio	57
4.1.3.3 Acúmulo e particionamento de fósforo	66
4.1.3.4 Acúmulo e particionamento de potássio.....	70
4.1.3.5 Acúmulo e particionamento de cálcio	74
4.1.3.6 Acúmulo e particionamento de magnésio	78
4.1.3.7 Acúmulo e particionamento de enxofre.....	83
4.2 Experimento em casa de vegetação (I)	88
4.3 Experimento em casa de vegetação (II)	99
5 CONCLUSÕES	107
REFERÊNCIAS	109
ANEXOS	128

RESUMO

Eficiência da adubação com misturas de ureia comercial e ureia recoberta com enxofre e polímero na semeadura do milho

Misturas de ureia (U) e ureia revestida com enxofre e polímero (URP) podem ser uma alternativa para melhorar a eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) e reduzir custos quando aplicadas de uma única vez em cultivos agrícolas. Em experimentos de campo foram investigados diferentes índices de EUN (eficiência de recuperação aparente (ERA), eficiência fisiológica (EF), eficiência de utilização interna (EUI), eficiência agrônômica (EA) e fator parcial (FPP) do N aplicado) e o acúmulo e particionamento de macronutrientes no milho (*Zea mays* L.) com misturas de U e URP na dose de 180 kg ha⁻¹ aplicados totalmente na semeadura em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd). Foi incluído tratamento com ureia em manejo convencional (UMC). As misturas de URP+U foram incorporadas em faixa, 5 cm abaixo e 10 cm ao lado da linha de semeadura. As plantas foram amostradas em quatro estádios e divididas em quatro frações da planta (partes da planta) para a determinação de nutrientes. No LVAd, tratamentos com 100%URP, 70%URP+30%U e 60%URP+40%U apresentaram maior produtividade que o tratamento controle; 100%U e UMC tiveram menor EF e EUI que o 100%URP; todos os tratamentos com N apresentaram maior acúmulo total de N e massa seca que o controle em R6; a proporção de 70%URP+30%U apresentou maior acúmulo de S total do que o controle e UMC em R6. Não foram verificadas diferenças entre os tratamentos para produtividade, índices de EUN e acúmulo total de nutrientes no LVd. Em experimentos em casa de vegetação foram avaliados a condutividade elétrica (CE) e o pH do solo, altura, diâmetro, massa seca e acúmulo de N no desenvolvimento inicial de plantas de milho usando a mistura de 70%URP+30%U aplicada em faixa na semeadura do milho, das seguintes maneiras: 1) aplicando-se uma dose equivalente a 180 kg ha⁻¹ de N em diferentes posições (5, 10 e 15 cm abaixo e 0, 5 e 10 cm ao lado da linha de semeadura) em um Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) e comparando com 100%U; 2) variando as doses de N (equivalente a 0, 90, 180, 360 e 540 kg ha⁻¹ de N) em uma posição considerada adequada (15 cm abaixo e 10 cm ao lado da linha de semeadura) no LVe e no LVAd. As aplicações feitas 15 cm abaixo da linha de semeadura apresentaram maior CE na linha do fertilizante na camada 9-18cm, pH na linha do fertilizante, massa seca total e N total que 5 e 10 cm. 70%URP+30%U apresentou maior altura, massa seca total e N total que 100%U quando aplicados abaixo da linha de semeadura. Nas aplicações 10 cm ao lado da linha de semeadura observou-se menor CE na linha do fertilizante comparado com as de 0 cm. No LVAd, massa seca total e N total apresentaram comportamento quadrático em resposta ao aumento da dose de N. Misturas de U e URP são eficientes quando aplicadas na semeadura do milho e elevadas doses interferem no desenvolvimento inicial de plantas de milho mesmo em uma posição considerada adequada no LVAd.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; Eficiência de uso de nitrogênio; Fertilizante de liberação controlada; Ureia; Acúmulo de nutrientes

ABSTRACT

Efficiency of fertilization at corn sowing with blends of urea and polymer sulfur coated urea

Blends of urea (U) and polymer sulfur coated urea (PSCU) can be an alternative to improve nitrogen (N) use efficiency (NUE) and reduce costs when applied in a single application in agricultural crops. Different indices of NUE (apparent crop recovery applied N (RE), physiological efficiency of applied N (PE), internal utilization efficiency of N (IE), agronomic efficiency of applied N (AE), partial factor productivity of applied N (PFP)) were investigated in field experiments, as well as nutrient uptake and partitioning in corn (*Zea mays* L.) with blends of U and PSCU applied in a single application of 180 kg N ha⁻¹ at sowing in a Typic Haplustox and Rhodic Haplustox. It was included a treatment with urea in conventional management (UCM). The blends of U and PSCU were incorporated in a band 5 cm below and 10 cm to the side of the seed row. Plants were sampled at four growth stages and divided into four fractions for nutrient determination. In the Typic Haplustox, treatments with 100%PSCU, 70%PSCU+30%U and 60%PSCU+40%U had higher grain yield than control treatment (without N application); treatments with 100%U and UCM had lesser PE and IE than 100%PSCU; all the N treatments had higher total biomass and total N uptake than control at physiological maturity (R6); treatment with 70%PSCU+30%U had higher total S uptake than control and UCM at R6. There weren't differences between treatments for grain yield, indices of NUE, and total nutrient uptake at R6 in the Rhodic Haplustox. In greenhouse experiments, electrical conductivity (EC) and pH of soil, height, diameter, dry weight and nitrogen uptake in early plant growth were evaluated using a blend of 70%PSCU+30%U applied in a band at sowing maize in the following ways: 1) applying a rate equivalent to 180 kg N ha⁻¹ in different positions (5 , 10 and 15 cm below and 0, 5 and 10 cm to the side of the seed) in a Rhodic Eutruxox and comparing with 100%U; 2) varying rates (equivalent to 0, 90, 180, 360, 540 kg N ha⁻¹) in a position considered adequate (15 cm below and 10 cm to the side of the seed) in a Rhodic Eutruxox and Typic Haplustox. The N fertilizer application 15 cm below of the seed had higher EC in fertilizer row at 9-18cm, pH in fertilizer row, total dry weight and total N uptake than 5 and 10 cm below of the seed. The treatment with 70%PSCU+30%U had higher height, total dry weight and total N uptake than 100%U in the application 0 cm to the side of the seed. The N fertilizer application 10 cm to the side of seed had lesser EC in the fertilizer row than 0 cm. In the Typic Haplustox, total dry weight and total N uptake had quadratic behavior in response to increase N rates. Blends of U and PSCU are efficient when applied at corn sowing and can affect early plant growth at high rates even in a position considered adequate in Typic Haplustox.

Keywords: *Zea mays* L.; Nitrogen use efficiency; Controlled release fertilizer; Urea; Nutrients uptake

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é exigente em nitrogênio (N), sendo esse nutriente um dos mais limitantes à produção da cultura. No Brasil a cultura do milho apresenta baixa produtividade de grãos por hectare estando diretamente relacionado com a baixa eficiência de utilização de N (EUN) dessa cultura. A principal fonte de N utilizada no milho no Brasil é a ureia (U), por apresentar baixo custo e elevada concentração de N. A baixa EUN, portanto, pode ser explicada pelos diversos mecanismos de transformações que ocorrem com o N após a aplicação de U na superfície do solo, sendo eles: volatilização de amônia (NH_3), lixiviação de nitrato e desnitrificação. Para tentar contornar a baixa EUN com o uso de U são feitas várias aplicações ao longo do ciclo da cultura, sendo uma na semeadura e uma ou mais em cobertura. Esses parcelamentos geram custos adicionais, além de dificultar o gerenciamento das operações agrícolas, uma vez que as aplicações nitrogenadas após a semeadura podem coincidir com outras operações mecanizadas. Além disso, a U quando aplicada concentrada próximo das sementes do milho pode reduzir a germinação principalmente pelo efeito tóxico da amônia (produto da hidrólise enzimática da ureia) e também interferir no desenvolvimento inicial da cultura, devido ao efeito salino da referida fonte.

Uma das formas de se elevar a EUN na cultura do milho é com o uso de fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada. Dentre as opções desse tipo de fertilizante, os denominados fertilizantes de liberação controlada (FLC) estão sendo bastante avaliados nessa cultura, como é o caso da ureia revestida com enxofre e polímeros (URP). Os FLC apresentam como principal vantagem poderem ser aplicados uma única vez, com dose total na semeadura, fornecendo o nutriente de forma controlada, por fatores conhecidos e previsíveis, atendendo a demanda da planta ao longo do desenvolvimento da cultura. Normalmente apresentam baixa salinidade e toxidez. Um dos fatores limitantes do uso do FLC é o seu preço de mercado que pode ser de 2 a 3 vezes superior aos fertilizantes tradicionais. Além disso, os FLC podem apresentar baixa disponibilidade de N nos estádios iniciais do milho.

A mistura do FLC com fertilizantes tradicionais é uma alternativa para reduzir os custos e solucionar os problemas da baixa disponibilidade de N no início do ciclo da cultura. São escassos os trabalhos avaliando essas misturas na cultura do milho em clima tropical e não há trabalhos avaliando o potencial de salinização e toxidez dessas combinações.

Sendo assim, as hipóteses deste trabalho foram: 1) as misturas de URP e U são eficientes no fornecimento de nitrogênio quando aplicadas incorporadas, com dose total, na semeadura do milho; 2) o posicionamento da aplicação da mistura de 70%URP + 30%U

interfere no desenvolvimento inicial de plantas de milho, considerando a aplicação incorporada da dose total de N na semeadura; 3) o aumento da dose de N com a aplicação da mistura de 70%URP + 30%U, mesmo em posição considerada adequada, interfere no desenvolvimento inicial de planta de milho devido ao efeito salino.

Os objetivos específicos foram: avaliar em experimentos de campo, a eficiência de utilização de N com diferentes índices agronômicos, bem como a produtividade de grãos em solos distintos com o uso de misturas de URP e U; avaliar em experimentos de campo, a marcha de acúmulo de massa seca e de macronutrientes em plantas de milho com o uso de misturas de URP e U em solos distintos; avaliar em experimentos em casa de vegetação a massa seca e o acúmulo de N das raízes e da parte aérea de planta de milho, bem como a condutividade elétrica do solo, pH do solo, altura e diâmetro do colmo de planta de milho, no desenvolvimento inicial, com o uso de 70%URP + 30%U e 100%U aplicados incorporado em diferentes posições com dose total na semeadura, e variando doses de N usando a mistura de 70%URP + 30%U em posição considerada adequada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie pertencente a família Poaceae, com origem na América, provavelmente da região onde se situa o México. Foi domesticado num período entre 7.000 e 10.000 anos atrás. Apresenta grande adaptabilidade, representada por vários genótipos, permitindo o seu cultivo em diversas regiões do mundo desde o nível do mar até altitudes superiores a 3.600 m, encontrando-se em climas temperados, tropicais e subtropicais (LERAYER, 2006). O milho se caracteriza por ser destinado tanto para o consumo humano como para alimentação de animais.

O ciclo da cultura do milho com base em número de dias pode levar a equívocos de interpretação, havendo variações no tempo para a ocorrência de eventos fisiológicos na planta entre cultivares. Richie, Hanway e Benson (1993) dividem o ciclo da cultura do milho em estádios fenológicos, determinados pela ocorrência de eventos fisiológicos, como folhas totalmente expandidas, estruturas reprodutivas e consistência dos grãos. Esses autores fazem uma divisão entre estádios vegetativos (VE (emergência); V1 (uma folha totalmente expandida); V2 (duas folhas totalmente expandidas); V3 (três folhas totalmente expandidas); V6 (seis folhas totalmente expandidas); V9 (nove folhas totalmente expandidas); V12 (doze folhas totalmente expandidas); V15 (quinze folhas totalmente expandidas); V18 ou V(n) (dezoito folhas ou enésima folha totalmente expandida)) e reprodutivos (R1 (Florescimento); R2 (Grão leitoso); R3 (Grão pastoso); R4 (Grão farinácio); R5 (Grão farinácio-duro); R6 (Maturidade fisiológica (final da cultura do milho))). A maturidade fisiológica ocorre com o aparecimento de uma camada negra na interseção do grão com o sabugo.

O ciclo da cultura do milho também leva em consideração as unidades de calor acumuladas ao longo do desenvolvimento, sendo expressas em graus-dia de desenvolvimento (GDD) (SAYRE, 1948; HANWAY, 1962b; KARLEN; FLANNERY; SADLER, 1988); BENDER et al., 2013). O conceito de graus-dia assume a existência de uma temperatura base (10 °C), abaixo da qual o desenvolvimento e o crescimento são reduzidos ou interrompidos. Dessa forma, o tempo entre a semeadura e o florescimento da cultura está relacionado com a temperatura (soma térmica) do subperíodo emergência-florescimento. O ideal é ter temperaturas em torno de 25 e 30 °C durante o dia, e noites em torno de 16 e 19 °C. Noites e dias quentes aceleram o ciclo e a perda de rendimento, enquanto noites e dias frios aumentam o ciclo não havendo vantagem para o rendimento final (EMBRAPA, 2011).

O potencial de produção das plantas de milho é definido entre os estádios V4 e V6, e a confirmação do número de fileiras por espiga entre V7 e V9 (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

2.2 Produção de milho

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo, chegando-se na safra 2015/2016 a produção de 67 milhões de toneladas, ficando o país atrás da China e dos Estados Unidos da América que produziram no mesmo período, respectivamente, 224,5 e 345,5 milhões de toneladas. Além de produtor o Brasil é o terceiro maior exportador mundial com 16,5 milhões de toneladas na safra 2015/2016, estando em primeiro lugar os Estados Unidos da América com 48,2 milhões de toneladas (USDA, 2016).

A produtividade média brasileira na safra 2015/2016 foi de 4797 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016). Alguns dos fatores que interferem na produtividade de milho são as condições climáticas, potencial genético das plantas, manejo de pragas e doenças e manejo nutricional (HOEFT, 2003).

2.3 Nitrogênio na cultura do milho

O nitrogênio (N) representa 78% do volume da atmosfera terrestre, sendo componente de toda a matéria viva.

Dentre os nutrientes usados na adubação do milho, o N é o mais exigido pela cultura, influenciando na produtividade, além de ser o nutriente que mais encarece os custos de produção (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002; SILVA et al., 2005), sendo constituinte de aminoácidos, proteínas, vitaminas, ácidos nucleicos, clorofila, além de constituir parte do protoplasma (HAVLIN et al., 1999). O fornecimento de nitrogênio para a cultura é feito basicamente com o uso de adubos nitrogenados e o nutriente é também disponibilizado à cultura pela mineralização da matéria orgânica do solo. A absorção desse nutriente pela cultura ocorre tanto em estádios vegetativos quanto em reprodutivos (SAYRE, 1948; HANWAY, 1962b; KARLEN; FLANNERY; SADLER, 1988; BENDER et al., 2013).

Os teores de N considerados adequados para o crescimento normal das plantas variam de 20 a 50 g kg⁻¹ de matéria seca da planta (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1989; PAIS; JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004).

As interações do N com outros macronutrientes são bem conhecidas na literatura para a cultura do milho (BÜLL, 1993). Trabalhos mostram que o N influencia no aumento da absorção de fósforo (P) mesmo em solos com teores elevados de P disponível (TERMAN; NOGGLE, 1973; KAMPRATH, 1987), em que as plantas não apresentavam resposta à adubação com P. O P é participante de vários processos nas plantas, como transferência de energia, síntese de ácidos nucleicos, glicose, respiração, ativação e desativação de enzimas, metabolismos de carboidratos, fixação de N₂ (VANCE; UHDE-STONE; ALLEN, 2003).

O fornecimento adequado de N e potássio (K) normalmente aumenta a resposta desses nutrientes, porém o não fornecimento de um deles, em solos com deficiência, pode reduzir a resposta ao outro tanto em produção quanto em acúmulo de nutriente (CANTARELLA, 2007), sendo o K o cátion mais abundante nas plantas, apresentando funções no estado energético da planta, no armazenamento e translocação de assimilados e na manutenção da água nos tecidos vegetais (MEURER, 2006).

Vale et al. (1993) observaram que plantas de milho quando adubadas com N, sem aplicação de enxofre (S), não assimilaram o N nas proteínas, ocorrendo um acúmulo de N na forma de aminoácidos solúveis, amidas e aminas. Sendo o S constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina, e sua deficiência reduz a produção desses aminoácidos e as proteínas que possuem enxofre não podem ser formadas (CANTARELLA, 2007).

As faixas dos teores considerados adequados para o crescimento normal das plantas considerando o P, K e S são, respectivamente, 1 a 1,5, 10 a 30, 1 a 3 g kg⁻¹ de massa seca (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1989; PAIS; JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004).

A deficiência de N proporciona menor síntese de clorofila (BERG; PERKIS, 2004), não permitindo que a planta utilize a luz solar para o processo de fotossíntese, interferindo na execução de funções essenciais, como a absorção de nutrientes (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

2.4 Acúmulo e particionamento de nutrientes e massa seca na cultura do milho

Avaliar o acúmulo e o particionamento de nutrientes e massa seca da parte aérea do milho ao longo do desenvolvimento é uma técnica bastante usada para pesquisar a eficiência de híbridos de milho (SAYRE, 1948; HANWAY, 1962b; KARLEN; FLANNERY; SADLER, 1988; BENDER et al., 2013). Em trabalho mais recente, Bender et al. (2013) avaliaram o acúmulo de nutrientes e a massa seca nos novos híbridos de milho com

tecnologia transgênica usando práticas modernas de manejo, gerando modelos de acúmulo para os macronutrientes, micronutrientes e massa seca, bem como as respectivas taxas máximas de acúmulo de cada nutriente e da massa seca, o que proporcionou oportunidade para refinar os métodos de recomendação e o tempo de aplicação de fertilizantes visando altas produtividades.

Porém, são escassos os trabalhos que avaliam o acúmulo e o particionamento de nutrientes e massa seca de plantas de milho pesquisando a eficiência de fertilizantes ou diferentes formas de aplicação nesse cultivo. Schoninger (2014) avaliando diferentes formas de aplicação de ureia no milho gerou modelo de acúmulo para o nitrogênio e massa seca da parte aérea em duas safras, bem como as respectivas taxas máximas de acúmulo de nitrogênio e massa seca para cada tratamento, proporcionando resultados importantes para a tomada de decisão quanto a forma de aplicação dessa fonte, para a cultura do milho.

2.5 Ureia e a eficiência de uso de nitrogênio

Os fertilizantes nitrogenados mais utilizados no Brasil são a ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$], o nitrato de amônio (NH_4NO_3) e o sulfato de amônio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$]. Esses fertilizantes são sintetizados a partir da amônia (NH_3), que é gerada a partir do N_2 atmosférico e do H pelo processo Haber-Bosch (SMIL, 1997). A combinação de ácido nítrico (HNO_3) com o NH_3 origina o nitrato de amônio; e outros ácidos neutralizando a amônia dão origem ao sulfato de amônio. A ureia é produzida reagindo o NH_3 com o CO_2 , que é um subproduto da sua síntese, o que proporciona em menor custo comparado com as outras fontes, além de não envolver reações com ácidos (CANTARELLA, 2007).

A ureia, além de possuir baixo custo de produção, apresenta teor de 44 a 46% de N (na forma amídica), que é superior comparado com outros adubos sólidos (RAIJ; CANTARELLA, 1997), o que reduz o custo com transporte e aplicação. Outras vantagens da ureia estão relacionadas com a sua alta solubilidade, baixa corrosividade e pronta absorção pelas plantas via foliar (GOULD; HAGEDORN; McCREADY, 1986).

Em contrapartida, a ureia apresenta desvantagens relacionadas com a possibilidade de perdas de N por volatilização de NH_3 (LARA CABEZAS; KORNDÖRFER; MOTTA, 1997; LARA CABEZAS et al., 2000), por lixiviação de nitrato (NO_3^-) (ANDRASKI; BUNDY; BRYE, 2000; HONG et al., 2007) e desnitrificação (HAO et al., 2001; DUSENBURY et al., 2008), podendo também ocorrer imobilização de N pelos microrganismos do solo, o que reduz a eficiência de uso de nitrogênio (EUN) pelas culturas agrícolas.

A volatilização de NH_3 no solo é dependente do pH, havendo um equilíbrio entre o íon amônio (NH_4^+) e a amônia (NH_3). Em condições de pH ácido há predominância do íon amônio. Quando a ureia é aplicada no solo ela é rapidamente hidrolisada formando NH_4^+ pela ação da enzima urease $\{[\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{CO}_3]\}$. Essa hidrólise consome H^+ elevando o pH ao redor dos grânulos, entre 6,5 e 8,8 (OVERREIN; MOE, 1967), resultando em perdas de N por volatilização de NH_3 mesmo em solos ácidos, principalmente quando a aplicação é feita na superfície do solo (CANTARELLA, 2007). As perdas por volatilização de NH_3 podem ser minimizadas com a aplicação da ureia de forma incorporada (TRIVELIN et al., 2002), porém a incorporação mecânica é mais demorada e onerosa comparado com a aplicação em superfície.

O íon amônio pode ser absorvido pelas plantas, ser imobilizado por microrganismos ou sofrer nitrificação, passando para a forma de nitrato. O processo de nitrificação ocorre em duas etapas, nitritação e nitratação. Na nitritação o amônio é oxidado a nitrito (NO_2^-), principalmente por bactérias do gênero *Nitrosomonas* (FIRESTONE, 1982) $\{[\text{NH}_4^+ + 1,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+]\}$. Na nitratação, o nitrito é oxidado a nitrato por bactérias do gênero *Nitrobacter* $\{[\text{NO}_2^- + 0,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-]\}$. A nitrificação contribui com a redução do pH do solo havendo a liberação de dois íons H^+ para cada amônio oxidado.

O nitrato pode ser absorvido pelas plantas, sofrer lixiviação ou desnitrificação. A lixiviação do nitrato depende da quantidade de água que percola no perfil do solo (TERRY; McCANTS, 1970; REICHARDT; LIBARDI; URQUIAGA, 1982), podendo ser retardada em horizontes com cargas positivas (RAIJ; CAMARGO, 1974). A desnitrificação é realizada por bactérias anaeróbicas facultativas que na ausência de O_2 utilizam o nitrato como receptor de elétrons, sendo o principal processo biológico em que o N reativo retorna para a atmosfera na forma de N_2 , havendo também outras formas como o N_2O . Em solos não saturados com água ocorre uma limitação na desnitrificação (ROBERTSON, 2000).

Em dados da literatura mundial para a cultura do milho compilados por Dobermann (2005), citado por Cantarella (2007), a eficiência média de recuperação do N do fertilizante na massa seca da parte aérea foi de 63%. Coelho et al. (1991) avaliando o balanço de N na cultura do milho usando ureia marcada com ^{15}N observaram baixa porcentagem de recuperação de N pelas plantas de milho, chegando a 56%, mesmo quando aplicada incorporada ao solo. Lara Cabezas et al. (2000), também avaliando o balanço de N no milho usando ureia marcada com ^{15}N , observaram na colheita que o N da ureia absorvido pelas plantas correspondeu a 29,5% do N aplicado considerando uma aplicação incorporada e de

20,8% quando a aplicação foi feita em superfície. Quanto maior a dose de N menor é a EUN (REDDY; REDDY, 1993; FERNANDES et al., 1998).

Visando atender a demanda de N pela cultura do milho a ureia é aplicada na semeadura e também em cobertura uma ou mais vezes. As aplicações parceladas geram gastos adicionais, consumo de combustível, horas de trabalho, correndo o risco de se perder a janela de aplicação, além de poder danificar a cultura com a entrada do maquinário na área e, também, ser ineficiente se feita na superfície do solo (GRANT et al., 2012).

2.6 Efeitos da aplicação concentrada de ureia

A aplicação concentrada de elevadas doses de ureia na semeadura do milho pode ser prejudicial para a germinação das sementes e para o desenvolvimento inicial da cultura, principalmente devido ao efeito tóxico causado pelo NH_3 , gerado pela hidrólise enzimática da ureia, em aplicações feitas próximas das sementes (COURT; STEPHEN; WEID, 1964; BREMMER; KROGMEIER, 1988; 1989; FAN, MACKENZIE, 1994; BREMMER, 1995; OUYANG; MACKENZIE; FAN, 1998). Além disso, também são sugeridos que os efeitos tóxicos podem ser causados por impurezas da ureia como o biureto (GASSER, 1964; TOMLINSON, 1970), pela elevada concentração de íons NH_4^+ resultantes da hidrólise enzimática da ureia (COURT; STEPHEN; WAID, 1964), ou pelo nitrito produzido pela nitrificação do N-ureia levada a efeito pelos microrganismos (COURT; STEPHEN; WAID, 1962; 1964).

O excesso de sais, proveniente da aplicação concentrada da ureia, pode restringir a captação de água pelas sementes, reduzindo as taxas de germinação (LOPES et al., 2008). Pode ocorrer, também, inibição da mobilidade das reservas e distúrbios nos sistemas de membranas do eixo embrionário (PRISCO, 1987).

As plantas jovens podem apresentar clorose nas folhas devido ao efeito tóxico da salinidade e da amônia (OLIVEIRA, 2013) podendo haver alterações no balanço hormonal, redução da atividade metabólica, e perda da turgescência das células guarda (FERREIRA; TÁVORA; HERNANDEZ, 2001).

A elevada dose de ureia pode ser menos danosa para a germinação da semente e para o desenvolvimento inicial do milho quando é evitado o contato com a semente e mantendo uma certa distância. Porém o excesso de sais dissolvidos na região de aplicação do fertilizante ainda pode causar efeito deletério nas plantas em função do efeito osmótico, havendo um

estresse hídrico no local de aplicação, reduzindo a absorção de água e nutrientes nessa região, inibindo o crescimento das plantas (MUNNS, 2002).

Aplicações de ureia no solo, abaixo da linha da semeadura do milho favorecem o contato da semente com o fertilizante, reduzindo a taxa de germinação das sementes devido a queimaduras nas mesmas causadas pelo fertilizante (SU et al., 2010).

Guo et al. (2016) observaram, em experimentos em campo, que a ureia juntamente com um agente retentor de água aplicados na distância de 10 cm e na profundidade de 5 cm, a partir da semente do milho, aumentaram a EUN e a eficiência de uso da água comparado com uma aplicação a 10 cm de distância na mesma profundidade da semente. Esses autores aplicaram 225 kg ha⁻¹ de N totalmente na semeadura do milho.

2.7 Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada

Melhorias contínuas são feitas em fertilizantes nitrogenados já em uso, ou por meio do desenvolvimento de novos fertilizantes, visando elevar a EUN e minimizar possíveis impactos ambientais (TRENKEL, 2010).

Um fertilizante ideal deve fornecer, em uma única aplicação, nutriente suficiente para atender a demanda da planta ao longo de todo o ciclo, possuir uma elevada porcentagem de recuperação do nutriente para haver um maior custo benefício, e minimizar os efeitos prejudiciais no solo, água e ambiente atmosférico (SHOJI; KANNO, 1994; TRENKEL, 2010).

Os fertilizantes nitrogenados que atendem de forma significativa os requisitos de um fertilizante ideal são os denominados fertilizantes estabilizados, fertilizantes de liberação lenta e fertilizantes de liberação controlada (AAPFCO, 1997). Embora esses fertilizantes possam contribuir para melhorar a EUN, minimizando os efeitos ambientais negativos, os erros no campo e no manejo da cultura não podem ser compensados pelo uso desses tipos de fertilizantes (TRENKEL, 2010).

Os fertilizantes nitrogenados estabilizados, de acordo com “Association of American Plant Food Control Officials” (AAPFCO, 1997), são aqueles que foram adicionados um estabilizador de N, mantendo o fertilizante na forma de N-ureia ou N-amoniacal. Esses estabilizadores podem ser divididos em inibidores de nitrificação e inibidores de urease. Os inibidores de nitrificação são substâncias que retardam a oxidação bacteriana do íon amônio, por um período variando de 4 a 10 semanas, reprimindo a atividade da bactéria do gênero *Nitrosomonas*, sendo exemplos desse tipo de inibidor o DCD (Dicyandiamide) e o Nitrapyrin

[2-chloro-6-(trichloromethyl-pyridine)]. Os inibidores de urease previnem durante certo período de tempo a transformação de N-amídico da ureia para o amônio pela ação hidrolítica da enzima urease, sendo exemplos desse inibidor o NBPT [N-(n-Butyl) thiophosphoric triamide] e a hidroquinona.

A AAPFCO (1997) não diferencia os fertilizantes de liberação lenta dos de liberação controlada, definindo-os como fertilizantes que contém nutrientes em uma forma que retarda, após sua aplicação, a disponibilidade do nutriente e utilização pelas plantas ou que estende a sua disponibilidade por um período significativamente maior que um fertilizante de rápida disponibilização, como a ureia, nitrato de amônio entre outros.

De acordo com Shaviv (2005), citado por Trenkel (2010), os fertilizantes de liberação controlada se diferem dos fertilizantes de liberação lenta por possuírem taxas, padrões e duração de liberação de nutrientes governadas por fatores conhecidos e previsíveis, enquanto que os fertilizantes de liberação lenta são mais imprevisíveis quanto ao caráter de liberação. São exemplos de fertilizantes de liberação lenta os produtos nitrogenados decompostos biologicamente como a ureia formaldeído e os decompostos quimicamente como o IBDU (isobutilideno-diureia). A ureia revestida com enxofre também é considerada um exemplo de fertilizante de liberação lenta e por apresentar baixa resistência ao atrito podem ocorrer rachaduras na camada de enxofre e os nutrientes podem ser liberados imediatamente após o contato com a água no solo. A liberação de nutrientes da ureia revestida com enxofre é diretamente afetado pela espessura e qualidade do revestimento ocorrendo a dissolução da ureia na solução do solo pela degradação hidrolítica e microbiana do revestimento de proteção de enxofre. São exemplos de fertilizantes de liberação controlada as ureias revestidas com polímeros e as ureias revestidas com enxofre e polímeros.

2.7.1 Ureia revestida com enxofre e polímero

As desvantagens da liberação irregular de nutrientes da ureia revestida somente com enxofre levaram ao desenvolvimento da ureia revestida com enxofre e polímeros, proporcionando melhores características de liberação (GOERTZ, 1993; TRENKEL, 2010).

A fabricação, normalmente, consiste do pré-aquecimento dos grânulos de ureia (71 a 82 °C), seguida da pulverização com enxofre fundido (143 °C) em um tambor rotativo e por fim é feita uma pulverização com determinado polímero. Os principais problemas na produção de fertilizantes revestidos com polímero são a escolha do material de revestimento e o processo utilizado para fazer a aplicação (SHAVIV, 2001). Os revestimentos com polímeros

podem ser membranas semi-permeáveis ou impermeáveis com minúsculos poros, resina alquílica, poliuretano, entre outros. A liberação de nutrientes através do polímero não é afetada por propriedades do solo, tais como pH, salinidade, textura, atividade microbiana, mas sim pela permeabilidade do polímero e temperatura, assim sendo possível prever a liberação dos nutrientes (FUJITA; SHOJI, 1999).

Hauck (1985) descreveu que a liberação de nutrientes de um fertilizante revestido com resina alquílica segue a entrada de água nos poros microscópicos do revestimento, aumentando a pressão osmótica dentro dos poros e os nutrientes são liberados através do microporo alargado. A permeabilidade do polímero pode ser controlada alterando a composição do material utilizado (FUJITA; SHOJI, 1999). Kloth (1996), citado por Trenkel (2010), afirmou que após cessar o fornecimento de nutrientes do produto deve ocorrer destruição física e ataque microbiano da cápsula de polímero.

A ureia revestida com enxofre e polímero pode apresentar liberação linear ou sigmoide e isso é determinado de acordo com a produção do fertilizante, sendo que a sigmoide indicaria que a liberação do nutriente começa depois de alguns dias após a aplicação (FUJITA; SHOJI, 1999). A composição da ureia revestida com enxofre e polímero pode variar de 38,5 a 42% de N e 9 a 15% de S (TRENKEL, 2010).

Fertilizantes de liberação controlada são uma das maneiras de elevar a EUN na cultura do milho (SHAO et al., 2013; GUO et al., 2016). Eles podem resultar em maior EUN, pela redução das perdas, como volatilização de NH_3 (PEREIRA et al., 2009), desnitrificação (YAN; HOSEN; YAGI, 2001; HALVORSON; DEL GROSSO; REULE, 2010; HALVORSON; DEL GROSSO, 2012) e lixiviação de nitrato (MIKKELSEN; WILLIAMS; BAHREL, 1994; SHOJI et al., 2001; WILSON; ROSEN; MONCRIEF, 2009), o que permite, em certas ocasiões, a utilização de menores doses de N, podendo essa redução chegar de 20 a 30% ou até mais (CHENG et al., 2002; TRENKEL, 2010).

De maneira geral, a ureia revestida com enxofre e polímero não possui grande potencial de salinização e possibilitam a redução da toxidez de amônia, amônio ou nitrito, causada pela aplicação concentrada, no sulco da semeadura, de doses elevadas de ureia (COURT; STEPHEN; WEID, 1964; BREMMER; KROGMEIER, 1988; 1989; FAN, MACKENZIE, 1994; BREMMER, 1995; OUYANG; MACKENZIE; FAN, 1998). Dessa forma, o uso dessas fontes também permite a aplicação da dose total de N exigida pela cultura, toda na operação de semeadura (SHAO et al., 2013; GUO et al., 2016). Isso se deve ao caráter de liberação controlada desse insumo, de forma contrária ao que normalmente ocorreria com os fertilizantes comerciais de alta solubilidade (SHAVIV; MIKKELSEN, 1993;

SHAVIV, 2000; TRENKEL, 2010; SU et al., 2010; GUO et al., 2016). Além disso, o uso da ureia revestida com enxofre e polímero pode proporcionar economia com as operações de aplicação de fertilizantes, reduzindo o uso de combustíveis e trabalho associado às várias aplicações/parcelamentos.

Na cultura do milho, os benefícios dos fertilizantes de liberação controlada comparado com o uso de fertilizantes nitrogenados solúveis foram observados por vários autores, como: aumento na produtividade (NOELLSCH et al., 2009; GAGNON; ZIADI; GRANT, 2012; HU et al., 2013; SHAO et al., 2013; GUO et al., 2016), aumento do teor de N e outros nutrientes nos grãos (NOELLSCH et al., 2009; GUO et al., 2016), assim como aumento na EUN (SHOJI et al., 2001; NOELLSCH et al., 2009; LI et al., 2011; SHAO et al., 2013; GUO et al., 2016).

Vale destacar que a aplicação de fertilizantes de liberação controlada, incorporados ao solo, além de aumentarem a produtividade de grãos e a EUN, podem aumentar a eficiência de uso da água (HU et al., 2013; GUO et al., 2016), uma vez que os polímeros podem elevar a capacidade de água disponível no solo na região do fertilizante (BUSSCHER; BJORNEBERG; SOJKA, 2009; YU et al., 2012; LI et al., 2014). Guo et al. (2016) observaram, em experimentos de campo, que a ureia revestida com uma determinada resina quando aplicada na semeadura do milho, a uma profundidade de 10 cm abaixo da linha de semeadura, proporcionou maior produtividade de grãos, EUN, eficiência de uso da água e maior lucro comparado com a aplicação em conjunto com um agente retentor de água e também comparando aplicações de ureia com agente retentor de água. Esses autores aplicaram 225 kg ha^{-1} de N totalmente na semeadura do milho.

Em contrapartida, Grant et al. (2012) observaram para a cultura do milho redução no acúmulo de massa seca e de N iniciais (estádio V9), além de perdas de produtividade da cultura em função do uso de fertilizantes de liberação controlada (FLC) comparado à aplicação de ureia convencional, o que foi atribuído à baixa disponibilidade de N mineral no solo, nos estádios iniciais do milho fertilizado com FLC. Além disso, outro fator limitante à adoção dessa tecnologia é seu preço de mercado, que pode ser superior de 4 a 8 vezes em relação aos fertilizantes tradicionais (TRENKEL, 2010), embora a diferença de preço esteja, hoje, sendo reduzida a cerca da metade, sendo que o desenvolvimento de ureia recobertas com polímeros de baixo custo tem tornado a tecnologia acessível para sistemas de produção de grãos e oleaginosas (CHEN et al., 2008; GAGNON; ZIADI; GRANT, 2012).

2.7.2 Mistura de ureia comercial e ureia revestida com enxofre e polímero

A combinação de fertilizantes de liberação controlada com fertilizantes tradicionais surge como uma alternativa para reduzir 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”) de ureia comercial com ureia revestida com enxofre e polímero. Normalmente, essas misturas variam de 10 a 30% de fertilizantes convencionais e 90 a 70% de fertilizantes de eficiência aumentada.

González Villalba (2013) avaliando diferentes proporções da mistura de ureia convencional com ureia revestida com enxofre e polímero em solos distintos, no Brasil, observou que as proporções com 70% de ureia recoberta com enxofre e polímero e acima disso, forneceram maior quantidade de N mineral no solo comparado com proporções com menores quantidades de ureia recoberta com enxofre e polímero.

Todavia, os estudos avaliando a utilização de fertilizantes de liberação controlada em combinações com fontes convencionais são escassos e foram realizados, em sua maioria, em condições de clima temperado (NOELLSCH et al., 2009; GRANT et al., 2012). Além disso, não existem trabalhos na literatura envolvendo misturas de fertilizantes de liberação controlada com fontes convencionais sobre o potencial de salinização / toxidez das referidas fontes.

2.8 Índices de eficiência de uso do nitrogênio

Cooke (1987) definiu a EUN como o aumento da produção agrícola por kg de N aplicado.

Para entender as melhores práticas de manejo com o uso de fertilizantes foram criados índices agronômicos para avaliações rápidas da EUN (NOVOA; LOOMIS, 1981; CASSMAN; DOBERMANN; WALTERS, 2002). Esses índices são simples e usam o método da diferença para calcular a EUN, sendo uma forma indireta de avaliação.

Estudos mais detalhados e precisos, considerados como a forma direta de avaliação da EUN, são realizados com o uso de fertilizantes nitrogenados marcados com o isótopo ^{15}N .

O método da diferença é baseado no cálculo da diferença entre a produtividade da cultura e/ou acúmulo de nutriente no tratamento em que foi aplicado o fertilizante e naquele onde não foi feita aplicação.

Dobermann (2007) resumiu cinco dos índices mais usados em pesquisa agronômica, denominando-os de eficiência de recuperação aparente do N aplicado, eficiência fisiológica do N aplicado, eficiência de utilização interna do N, eficiência agronômica do N aplicado e fator parcial do N aplicado.

Outros índices também são usados (GOURLEY; ALLAN; RUSSELE, 1993; HUGGINS; PAN, 1993), mas não apresentam vantagens adicionais para o entendimento das melhores práticas de uso de fertilizantes (DOBERMANN, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimentos em campo

3.1.1 Solos e locais

Na safra 2012/2013 foram realizados dois experimentos em campo com a cultura do milho, o primeiro em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico de textura média (LVAd) e o segundo em um LATOSSOLO VERMELHO distrófico de textura argilosa (LVd) (EMBRAPA, 2013). O experimento no LVAd foi realizado no período de 28 de dezembro de 2012 a 19 de junho de 2013, no campo experimental da Universidade de São Paulo, campus “Luiz de Queiroz”(ESALQ/USP) (22°42'47" S; 47°37'11" W; 578 m de altitude); o experimento no LVd foi realizado no período de 20 de dezembro de 2012 a 8 de junho de 2013 no Bairro de Tanquinho (22°34'27" S; 47°36'30" W; 594 m de altitude), ambos no município de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil. O clima dos locais foi classificado como subtropical com estação seca (Cwa) (KÖPPEN, 1948). Durante os experimentos foram coletados os dados de pluviosidade diária e de temperaturas ambiente máxima e mínima diária (Figura 1). Os atributos químicos para fins de fertilidade (RAIJ et al., 2001) incluindo-se o nitrogênio total (NTS), determinado em espectrômetro de massa (BARRIE; PROSSER, 1996) e o nitrogênio inorgânico dos solos (NH_4^+ e NO_3^-), determinado pela análise por injeção em fluxo (FIA – “flow injection analyses”) usando solo:solução extratora ($\text{KCl } 2 \text{ mol L}^{-1}$) na relação 1:5 – m:v (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001), assim como a composição textural (GEE; BAUDER, 1986) dos solos foram realizadas em amostras compostas dos solos amostrados com trado do tipo holandês, nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, e podem ser observados na Tabela 1.

3.1.2 Tratamentos e delineamento estatístico

Foram realizados oito tratamentos usando fontes de nitrogênio na dose de 180 kg ha^{-1} , de N, além de um tratamento controle (sem aplicação de nitrogênio). A dose de N foi escolhida por ser a usada por produtores de milho, visando altas produtividades. As fontes foram ureia convencional (U), com 45% de nitrogênio, e a ureia revestida com enxofre e polímero (URP) com 39% de nitrogênio. A URP é revestida com uma camada de 9,73% de enxofre elementar (S^0) e 0,78% de polímeros vegetais.

(A)

(B)

Figura 1 - Temperaturas ambientes máxima e mínima diária e pluviosidade diária nos períodos dos experimentos nos locais com LVAd (A) e com LVd (B). GDD_C: Graus-dia de desenvolvimento em °C. VE= emergência do milho; V4= quatro folhas totalmente expandidas; V12= doze folhas totalmente expandidas; R3= grãos leitosos; R6= maturidade fisiológica.

Tabela 1 - Caracterização química e física do LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd) e do LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico (LVAd) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidades.

Prof. cm	pH CaCl ₂	MOS* g dm ⁻³	NTS** ——	NH ₄ ⁺ mg kg ⁻¹	NO ₃ ⁻ ——	S mg dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K ——	Ca ——	Mg mmol _c dm ⁻³	H+Al ——	Al ——	CTC ——	V %	areia ——	silte g kg ⁻¹	argila ——
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico																	
0-20	4,8	12	945	1,9	2,8	11	26	1,2	14	4	28	1	48	40	822	28	150
20-40	4,8	9	840	1,8	6,8	16	14	1,3	13	3	26	1	44	39	777	22	202
LATOSSOLO VERMELHO distrófico																	
0-20	4,8	30	1673	2,5	4,85	14	29	1,3	16	9	47	2	73	36	349	66	585
20-40	4,6	24	1134	2,1	16,8	22	21	0,6	10	7	52	3	70	25	325	70	605

Prof. = Profundidade; * MOS = Matéria orgânica do solo; ** NTS = Nitrogênio total.

Sete dos tratamentos foram feitos com diferentes proporções de URP + U (100% URP + 0% U; 90% URP + 10% U; 80% URP + 20% U; 70% URP + 30% U; 60% URP + 40% U; 50% URP + 50% U; 0% URP + 100% U) aplicados com a dose total inteiramente na semeadura, incorporados manualmente a 5 cm de profundidade e 10 cm de distância da semente em linha paralela a semeadura, para evitar perdas por volatilização de NH_3 oriundo da hidrólise da ureia (TRIVELIN et al., 2002) e, também, a fim de reduzir a interferência do possível efeito salino no desenvolvimento inicial das plantas de milho. Incluiu-se um tratamento, usando o manejo convencional de nitrogênio na cultura do milho, sendo aplicada U na mesma dose, parcelada 20% na semeadura e 80% em cobertura, no estágio V4 do milho. Os tratamentos podem ser observados na Tabela 2.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. As parcelas apresentaram 10 linhas de milho com 10 m de comprimento e um espaçamento entrelinhas de 0,5 m.

Tabela 2 - Tratamentos dos experimentos em campo com a cultura do milho nos solos LVd e LVAd usando diferentes proporções de ureia revestida com enxofre e polímero (URP) e ureia convencional (U) (tratamentos 2 a 8), além do controle e do tratamento com ureia em manejo convencional (UMC).

tratamento *		URP kg ha ⁻¹ de S ⁰	URP	U kg ha ⁻¹ de N	dose total
1	controle	-	-	-	-
2	100% URP	44,9	180	-	180
3	90% URP + 10% U	40,4	162	18	180
4	80% URP + 20% U	35,9	144	36	180
5	70% URP + 30% U	31,4	126	54	180
6	60% URP + 40% U	26,9	108	72	180
7	50% URP + 50% U	22,4	90	90	180
8	100% U	-	-	180	180
9	UMC **	-	-	180	180

* Tratamentos 2 a 8: aplicação da dose de N (180 kg ha⁻¹) 100% incorporada na semeadura a 10 cm de distância da linha de semeadura e a 5 cm de profundidade da semente.

** UMC = ureia em manejo convencional. Dose de N (180 kg ha⁻¹) aplicada parcelada, sendo 20% (36 kg ha⁻¹) aplicado na semeadura e 80% (144 kg ha⁻¹) aplicado em cobertura no estágio V4 do milho.

3.1.3 Híbrido de milho

O híbrido de milho utilizado foi o 30F35 HR da Pioneer[®] com tecnologia Herculex[®], controlando a broca da cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*) e a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), e com tecnologia RoundupReady[®], com resistência à herbicidas contendo glifosato como ingrediente ativo.

3.1.4 Instalação e condução

Dois meses antes dos experimentos serem instalados foi feito o preparo do solo. No LVd foram feitas duas gradagens e no LVAd realizou-se uma aração e duas gradagens e em ambos os solos fez-se uma aplicação de calcário, visando elevar a saturação por bases em 70% (RAIJ et al., 2001).

A semeadura do milho foi feita de forma manual colocando-se duas sementes de milho por cova na profundidade de 2 cm. O espaçamento entre covas na linha de semeadura foi de 30 cm e de 50 cm entre sulcos. No LVd a semeadura deu-se no dia 20/12/2012 e no LVAd no dia 28/12/2012, quando os solos apresentavam umidade adequada para a semeadura e a frequência na ocorrência de chuvas já indicava possibilidade de manutenção da umidade dos solos, condição essa essencial para a germinação do milho e desenvolvimento inicial da cultura. Visando manter uma planta de milho por cova com espaçamento uniforme e uma população de 60.000 plantas ha^{-1} foi realizado o desbaste de plantas entre os estádios fenológicos V3 (três folhas totalmente expandidas) e V4 (quatro folhas totalmente expandidas). No dia da semeadura antes dessa operação, fez-se a aplicação de 130 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato simples (SPS) e 40 kg ha^{-1} de K_2O na forma de cloreto de potássio (KCl), adubação essa feita a uma profundidade abaixo de 5 cm das posições das sementes de milho. O SPS forneceu também 57 kg ha^{-1} de S. Em V4 foi aplicado superficialmente mais 90 kg ha^{-1} de K_2O na forma de KCl. Os tratamentos com as misturas de URP + U foram aplicados conforme Figura 2; no tratamento UMC aplicou-se na semeadura 36 kg ha^{-1} de N-ureia, juntamente com as fontes de fósforo e potássio, e os 144 kg ha^{-1} de N-ureia restantes, em V4, em superfície e em faixas na entrelinha do milho.

Foram realizadas duas aplicações do herbicida glifosato (1080 g ha^{-1} de equivalente ácido) para o controle das plantas daninhas, uma em V5 (cinco folhas totalmente expandidas) e outra em V11 (onze folhas totalmente expandidas). Para o controle de doenças foram realizadas duas aplicações do fungicida ciproconazole + azoxistrobina (28 + 70 g ha^{-1} p.a.) uma em V4 e outra em V12 (doze folhas totalmente expandidas). No controle de pulgões e percevejos foram feitas duas aplicações de inseticidas, uma em V12 aplicando acefato (375 g ha^{-1} p.a.) e outra em V14 (quatorze folhas totalmente expandidas) misturando lambdacialotrina + tiametoxam (26,5 + 35,25 g ha^{-1} p.a.).

Os experimentos foram conduzidos até o final do ciclo da cultura do milho (estádio fenológico R6) sendo finalizado no LVd e no LVAd, respectivamente, em 08/06/2013 e 19/06/2013.

Figura 2 - Esquema da aplicação dos tratamentos com as diferentes proporções de ureia revestida com enxofre e polímero (URP) + ureia (U).

3.1.5 Avaliações

Durante o experimento, em todos os tratamentos, foram amostradas plantas para determinação do acúmulo da massa seca e dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) da parte aérea, nos estádios fenológicos: V4, V12, R3 e R6. No final do experimento, em R6, foram colhidas espigas a fim de se determinar a produtividade de grãos em cada tratamento. Além disso, foram determinados os seguintes índices de eficiência de uso do N: eficiência de recuperação aparente do N aplicado (ERA), eficiência fisiológica do N aplicado (EF), eficiência de utilização interna do N (EUI), eficiência agrônômica do N aplicado (EA) e fator parcial do N aplicado (FPP).

3.1.5.1 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos foi avaliada conforme González Villalba (2013), sendo coletada manualmente as espigas do milho nas duas linhas centrais das parcelas, desconsiderando 1 m nas extremidades das linhas. Nas duas áreas experimentais a colheita das espigas foi realizada no final do ciclo no estágio R6. Após a colheita, as espigas foram

debulhadas, sendo pesados os grãos, determinado a umidade dos grãos, e a umidade dos grãos foi corrigida para 13%, sendo os resultados expressos em Mg ha⁻¹.

3.1.5.2 Índices de eficiência de uso do nitrogênio

Os índices de eficiência de uso do N foram calculados de acordo com Dobermann (2007):

$$ERA = (N_{(a)} - N_{(0)}) / D_{(N)}$$

$$EF = (PG_{(N)} - PG_{(0)}) / (N_{(a)} - N_{(0)})$$

$$EUI = PG_{(N)} / N_{(a)}$$

$$EA = (PG_{(N)} - PG_{(0)}) / D_{(N)}$$

$$FPP = PG_{(N)} / D_{(N)}$$

Onde, N_(a)= nitrogênio acumulado na parte aérea nos tratamentos que receberam fertilizante nitrogenado (kg ha⁻¹) ; N₍₀₎= nitrogênio acumulado na parte aérea do tratamento controle, sem aplicação de fertilizante nitrogenado (kg ha⁻¹); D_(N)= Dose de N aplicada (kg ha⁻¹); PG_(N)= produtividade de grãos nos tratamentos com aplicação de fertilizante nitrogenado (kg ha⁻¹); PG₍₀₎= Produtividade de grãos no controle, sem aplicação de fertilizante nitrogenado (kg ha⁻¹).

3.1.5.3 Massa seca da parte aérea e acúmulo de macronutrientes

Foram realizadas quatro amostragens de plantas ao longo do ciclo da cultura do milho, nos dois experimentos, para a determinação da massa seca da parte aérea e acúmulo de macronutrientes. A primeira, segunda, terceira e quarta amostragens ocorreram, respectivamente, nos estádios fenológicos V4 (quatro folhas totalmente expandidas) quando ocorre a definição do potencial de produção do milho (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004), V12 (doze folhas totalmente expandidas) quando esta ocorrendo a taxa máxima de acúmulo massa seca e nutrientes (BENDER et al., 2013), R3 (grãos leitosos) e R6 (maturidade fisiológica). Em cada amostragem foram colhidas aleatoriamente quatro plantas por parcela. As plantas foram levadas para o laboratório, onde foram separadas em frações ou partes da planta de milho, a saber: folha, colmo, sabugo e grãos, havendo em V4 uma fração (folha), em V12 duas frações (folha e colmo) e em R3 e R6 quatro frações (folha, colmo, sabugo e grãos). Após separação, cada parte da planta foi seca em estufa a 65 °C, e após atingirem massa constante, foram tomados os seus pesos, e os resultados foram apresentados

em kg ha^{-1} , considerando o estande de 60.000 plantas por ha. Após determinação da massa seca da parte aérea, o material foi triturado no moinho do tipo Willey, homogeneizado e subamostrado para a determinação das concentrações (g kg^{-1}) de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (BATAGLIA et al., 1983). O acúmulo de cada macronutriente foi determinado para cada parte da planta, por meio do produto da concentração de cada macronutriente com a massa seca da fração da planta (kg ha^{-1}), sendo expresso em kg ha^{-1} .

Foram calculadas as taxas máximas de acúmulo de massa seca e de nutrientes. Para isso foi usada a função sigmoideal $Y = Y_{\max} / (1 + (X/X_0)^B)$ que melhor se ajustou aos acúmulos totais da massa seca da parte aérea e dos macronutrientes, nos estádios fenológicos coletados, sendo que o ponto de inflexão (X_0) correspondeu à época em dias após a emergência (DAE) que ocorreu a taxa máxima de acúmulo de massa seca da parte aérea ou de nutrientes, e que posteriormente foi convertido em graus-dia de desenvolvimento ($^{\circ}\text{C}$). Os valores da taxa máxima de acúmulo de massa seca e de nutrientes, em $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, foram determinados subtraindo o valor obtido no ponto de inflexão (X_0) com o do dia anterior (LAVIOLA et al., 2009). Y corresponde ao acúmulo de massa seca ou nutrientes (kg ha^{-1}); $Y_{\max}$ ao acúmulo máximo de massa seca ou nutrientes (kg ha^{-1}); X é o período de VE (emergência do milho) a R6; X_0 é quando ocorreu o ponto de inflexão e B é uma constante. Os valores de $Y_{\max}$, X_0 e B constam no Anexo A. O período de tempo foi convertido em graus-dia de desenvolvimento ($^{\circ}\text{C}$) usando o mesmo cálculo realizado por Karlen et al. (1988), em que o graus-dia correspondeu a soma da temperatura mínima com a temperatura máxima, nesse caso em $^{\circ}\text{C}$, dividido por 2 e subtraído por 10°C , sendo que a temperatura mínima correspondeu a temperatura mínima do dia ou 10°C , caso seja menor, e a temperatura máxima correspondeu a temperatura máxima do dia ou 30°C , caso seja maior.

3.1.6 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) e quando o teste F foi significativo as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As análises foram feitas utilizando o programa SAS. O particionamento da massa seca e dos macronutrientes foram feitos no programa SigmaPlot usando a equação Gaussiana a seguir:

$$Y = A \times \exp\{-0,5 \times ((\text{GDD}_C - B)/C)^2\}$$

Onde, Y é a massa seca ou nutriente acumulado na parte aérea (kg ha^{-1}); GDD_C é o graus-dia de desenvolvimento em $^{\circ}\text{C}$; A , B e C são constantes. Os valores das constantes constam no Anexo B.

3.2 Experimento em casa de vegetação (I)

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), no município de Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil, no período de 24 de outubro a 30 de novembro de 2015.

3.2.1 Solo

Foi utilizado o LATOSSOLO VERMELHO eutrófico de textura argilosa (LVe) (EMBRAPA, 2013) da estação experimental da empresa Produquímica S/A, do município de Iracemápolis, Estado de São Paulo, Brasil, em área em que o solo estava corrigido e a última cultura implantada foi o algodão.

Foi coletada uma camada do solo de 0-20 cm e amostrado para análise química e física, no local de coleta e na mesma camada, com trado do tipo holandês. O solo apresentou as seguintes características, de acordo com análise química (RAIJ et al., 2001): $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ de 5,3; 23 g dm^{-3} de matéria orgânica (MO); 11 mg dm^{-3} de S; 19 mg dm^{-3} de P_{resina} ; K, Ca, Mg, H+Al, Al e capacidade de troca de cátions (CTC) sendo, respectivamente, 2,3, 28, 10, 20, 0 e $60,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; 67% de saturação por bases; nitrogênio total (NTS) de 1230 mg kg^{-1} determinado em espectrômetro de massa (BARRIE; PROSSER, 1996), NH_4^+ e NO_3^- , respectivamente, de 14,7 e $109,9 \text{ mg kg}^{-1}$, determinados pela análise por injeção em fluxo (FIA – “flow injection analyses”) usando solo:solução extratora ($\text{KCl } 2 \text{ mol L}^{-1}$) na relação 1:5 – m:v (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001). A composição textural do solo (GEE; BAUDER, 1986) para areia, silte e argila foi, respectivamente, de 347, 185 e 469 g kg^{-1} . A terra coletada ficou secando ao ar por 15 dias, depois foi peneirada em granulometria menor do que 4 mm.

A capacidade máxima de retenção de água (CMRA) do solo foi $0,434 \text{ g de H}_2\text{O} / \text{g de solo}$, sendo determinada com a ISO (2003), subtraindo os valores do solo saturado com água pelo solo seco (a 105°C); para saturar o solo adicionou-se 20 g de solo em copos plástico perfurados na base e selados com membrana (abertura de poros de 100 Mesh), em seguida, os copos permaneceram por 3 h em bandeja com água, por 2 h em areia úmida para drenar a água livre e pesados.

3.2.2 Unidade experimental, tratamentos e delineamento estatístico

A unidade experimental usada foi um vaso plástico (Figura 3) de bases retangulares e de mesmas dimensões nas bases (30 x 21 cm) e altura de 21 cm, sem dreno, com capacidade de 12 L, preenchida com 14 kg de terra fina seca ao ar (TFSA).

Figura 3 - Disposição do solo na unidade experimental e visão geral dos tratamentos (T1 a T9 com 100%U ou 70%URP + 30%U), sendo um tratamento por unidade experimental.

Os tratamentos constaram da aplicação de duas fontes de nitrogênio (N) em diferentes distâncias e profundidades, tendo como referência o local da semente.

As fontes de N utilizadas foram a ureia convencional (U), com 46% de N, e a mistura de U com ureia revestida com enxofre e polímero (URP), na proporção de 30%U e 70%URP, apresentando na composição 40% de N. A mistura de U+URP possui a marca comercial de nome Polyblen® e a proporção 30%U e 70%URP é comercializada para a cultura do milho por apresentar menor custo comparado com as proporções com mais URP do que U. De

acordo com González Villalba (2013), essa proporção de U e URP apresentou maior quantidade de N mineral no solo, comparada com proporções que possuem menor quantidade de URP em experimentos de campo.

A dose de N empregada no experimento foi de 135 mg kg^{-1} para uma planta de milho, sendo aplicada perpendicularmente ao maior lado do vaso (comprimento), em uma linha reta de 21 cm, que correspondeu a largura do vaso utilizado. Essa dose equivaleria a quantidade que uma planta receberia no campo aplicando-se 180 kg ha^{-1} de N na semeadura do milho, para um espaçamento de 33 cm entre plantas na linha da semeadura (ou 3 plantas por metro), e uma população de 60.000 plantas ha^{-1} $\{[(180.000 \times 0,21) / 20.000] / 14 = 135 \text{ mg kg}^{-1} \text{ de N}\}$.

As fontes de N foram aplicadas em 3 profundidades (5, 10 e 15 cm) e em 3 distâncias (0, 5 e 10 cm) a partir da localização da semente do milho (Figura 3) e foram escolhidas por serem possíveis de aplicar no campo com o uso de máquinas agrícolas.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com 19 tratamentos e quatro repetições, no esquema fatorial incompleto $3 \times 3 \times 2 + 1$, que corresponderam à 3 distâncias, 3 profundidades e 2 fontes e 1 controle (sem aplicação de N). As especificações dos tratamentos constam na Tabela 3.

Tabela 3 - Tratamentos avaliando o posicionamento do fertilizante nitrogenado (100%U e 70%URP + 30%U) com relação à localização da semente do milho, considerando as profundidades de 5, 10 e 15 cm e as distâncias de 0, 5 e 10 cm, para uma dose de 135 mg kg^{-1} de N (equivalente a 180 kg ha^{-1} de N) aplicada totalmente na semeadura no LVe.

tratamento	fonte	profundidade	distância
		cm	
1	100% U	5	0
2	100% U	10	0
3	100% U	15	0
4	100% U	5	5
5	100% U	10	5
6	100% U	15	5
7	100% U	5	10
8	100% U	10	10
9	100% U	15	10
10	70% URP + 30% U	5	0
11	70% URP + 30% U	10	0
12	70% URP + 30% U	15	0
13	70% URP + 30% U	5	5
14	70% URP + 30% U	10	5
15	70% URP + 30% U	15	5
16	70% URP + 30% U	5	10
17	70% URP + 30% U	10	10
18	70% URP + 30% U	15	10
19	controle (sem N)	-	-

U: ureia; URP: ureia revestida com enxofre e polímero

3.2.3 Híbrido de milho

O híbrido de milho usado no experimento foi o MON 89034 da Dekalb® com tecnologia YeldGard VT PRO™ que contém os genes cry1A.105 e cry2Ab2 da bactéria Bt (*Bacillus thuringiensis*). Trata-se da segunda geração de híbrido de milho que é resistente a insetos da ordem Lepidóptera, controlando a lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*), lagarta da espiga (*Helicoverpa zea*) e broca do colmo (*Diatraea saccharalis*). Possui 85% de garantia de germinação mínima e 98% de garantia de pureza mínima.

3.2.4 Instalação e condução

Antes da instalação do experimento foi observado que 14 kg de TFSA ocupavam 18 cm de altura da unidade experimental, o suficiente para implantar todos os tratamentos, considerando a profundidade da aplicação da semente de milho no solo de 2 cm.

O experimento foi instalado no dia 24 de outubro de 2015. Foram feitas marcações nas laterais internas das unidades experimentais, demarcando-se o local de aplicação do fertilizante nitrogenado. As marcações foram feitas com o auxílio de uma régua, medindo-se de baixo para cima a profundidade de aplicação do fertilizante; e da direita para a esquerda a distância de aplicação do fertilizante, a partir do centro das laterais internas de maior comprimento (linha da semente). Para exemplificar, no tratamento com profundidade e distância de aplicação do fertilizante a partir da semente sendo, respectivamente, de 15 cm e 10 cm, foi medida a distância de 10 cm a partir da linha da semente e em seguida feita a marcação a 1 cm de altura, que correspondeu a 15 cm de profundidade a partir da semente, considerando o nível do solo atingindo 18 cm de altura e a profundidade da semente 2 cm (Figura 4).

Figura 4 - Em A detalhe das marcações na unidade experimental para o tratamento com fertilizante nitrogenado (70%URP + 30%U) a 15 cm de profundidade e 10 cm de distância da semente, com camada inicial de 1 cm de solo; e, em B unidade experimental com aplicação de fertilizante e após ser completado os 14 kg de solo. PS: profundidade da semente; NS: nível do solo; LS: linha de semeadura.

As unidades experimentais foram preenchidas com TFSA até atingirem as marcações dos locais de aplicação do fertilizante. Em seguida, foi feita a aplicação do fertilizante nitrogenado (100%U ou 70%URP + 30%U) sobre o solo e perpendicularmente à lateral do vaso em uma linha reta de 21 cm que correspondeu a largura do vaso. Após aplicação do fertilizante nitrogenado, cada unidade experimental recebeu o restante de TFSA para completar os 14 kg. Por fim, foram colocadas duas sementes de milho no centro de cada unidade experimental na profundidade de 2 cm e foi adicionada água desionizada até atingir 60% da CMRA do solo.

O experimento foi conduzido até o dia 30 de novembro de 2015. Durante o período experimental foram medidas as temperaturas mínima e máxima do ar no interior da casa de vegetação com um termômetro de mercúrio (Figura 5).

Figura 5 - Temperaturas máxima e mínima diária do ar durante o período experimental em que se avaliou os efeitos na planta do posicionamento do fertilizante (100%U e 70%URP + 30%U) em relação a semente do milho.

A emergência das plântulas de milho ocorreu no dia 28 de outubro de 2015, 4 dias após a semeadura. Efetuou-se o desbaste 5 dias após a emergência, mantendo-se uma planta por unidade experimental. Visando manter 60% da CMRA em cada unidade experimental, os vasos foram pesados diariamente com uma balança eletrônica e completaram-se com água desionizada as perdas diárias de água.

Foi aplicado 113 mg de potássio por vaso na forma de solução de KCl 1,5 M parcelado em duas vezes, uma aplicação no dia 13 e outra no dia 16 de novembro de 2015 (17 e 20 dias após a emergência (DAE)) quando as plantas estavam na transição do estágio V4 para V5, uma vez que verificou-se existir leve deficiência de K nas folhas.

No dia 30 de novembro de 2015 o experimento foi colhido, quando as plantas de milho se apresentavam no estágio V7.

3.2.5 Avaliações

Durante o experimento, em cada unidade experimental, foram feitas medidas da altura (cm) e do diâmetro (mm) dos colmos das plantas de milho e no final foram colhidas a parte aérea das plantas de milho, retiradas amostras de solo na linha do fertilizante e na linha da semeadura, e de raízes do milho.

A altura e o diâmetro das plantas de milho foram medidas, respectivamente, com uma régua e um paquímetro, aos 7, 12, 17, 22, 27 e 32 DAE. Para a altura foi considerada a distância vertical entre a superfície do solo e o ponto de inserção da última folha e o diâmetro do colmo foi medido a 3 cm da superfície do solo.

Quando as plantas de milho estavam com 34 DAE (estádio V7), que representa o estágio em que está aumentando a taxa de acúmulo de N, conforme observado nos resultados do experimento em campo (item 4.1) e também por Bender et al. (2013), e que ocorre a confirmação do número de fileiras por espiga (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004), as plantas foram colhidas sendo as partes aéreas de plantas de milho cortadas rente à superfície do solo.

Após colhidas as partes aéreas das plantas, o solo foi amostrado com uma mini-sonda nas camadas de 0-9 cm e 9-18 cm, em cada unidade experimental, na linha de semeadura e na linha de aplicação do fertilizante. Foram realizadas duas amostragens simples para formação de uma amostra composta, para cada camada de solo, na posição da linha da semeadura e na linha do fertilizante. As amostras de solo foram secas ao ar, peneiradas e foi determinado o pH em água e a condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) no sobrenadante a partir da mistura, tomada com base peso, de uma parte de solo para duas e meia de água destilada (EMBRAPA, 1997), usando um peagâmetro e um condutivímetro com eletródos de vidro. O mesmo extrato para medir a condutividade elétrica foi usado para o pH.

As raízes foram retiradas das unidades experimentais manualmente, separando-as do solo, e lavadas em água sobre peneira de 1 mm. As raízes e partes aéreas foram levadas para o laboratório e colocadas para secar em estufa a 65 °C até atingirem massa constante, e em seguida foram pesadas para determinação da massa seca (g planta^{-1}). Após determinação da massa seca, o material foi triturado no moinho do tipo Willey, homogeneizado e subamostrado para a determinação das concentrações (mg g^{-1}) de nitrogênio (BATAGLIA et

al., 1983) da parte aérea e raízes do milho. O acúmulo foi determinado por meio do produto da concentração do nitrogênio com a massa seca (g planta^{-1}), sendo expresso em mg planta^{-1} .

A Figura 6 ilustra alguns passos na colheita do experimento.

Figura 6 - Em A, medida da altura (cm) da parte aérea do milho com uma régua; em B, medida do diâmetro (mm) com um paquímetro; em C, amostragem de solo com sonda; em D, medida da condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) do solo com um condutivímetro; e em E, detalhe das raízes de milho após serem retiradas da unidade experimental e lavadas.

3.2.6 Análise estatística

A análise estatística utilizada foi a dos modelos mistos. A seleção dos modelos foi feita utilizando o critério de informação de Akaike corrigido (AICc). Os efeitos fixos foram testados utilizando o teste de Wald-F e as comparações múltiplas foram feitas pelo teste de Tukey. O nível de significância adotado foi 5%. As análises foram feitas utilizando o software estatístico SAS.

3.3 Experimento em casa de vegetação (II)

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), no município de Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil, no período de 14 de fevereiro a 24 de março de 2016.

3.3.1 Solo

Foram utilizados dois solos, um LATOSSOLO VERMELHO eutrófico de textura argilosa (LVe) e um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico de textura média (LVAd) (EMBRAPA, 2013). O primeiro solo foi o mesmo utilizado no experimento em casa de vegetação (I; item 3.2.1), sendo coletado da mesma forma, no mesmo local e data e suas características físicas e químicas constam do item 3.2.1. O outro solo (LVAd) foi coletado no

campo experimental da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), no município de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil; na camada 0-20 cm e amostrado para análise química e física, no local de coleta, com um trado do tipo holandês. Esse solo apresentou as seguintes características de acordo com análise química (RAIJ et al., 2001): $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ de 5; 17 g dm^{-3} de matéria orgânica (MO); 11 mg dm^{-3} de S; 11 mg dm^{-3} de P_{resina} ; K, Ca, Mg, H+Al, Al e capacidade de troca de cátions (CTC) sendo, respectivamente, 1,4, 10, 3, 28, 1 e $42,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; 34% de saturação por bases; nitrogênio total (NTS) de 650 mg kg^{-1} determinado em espectrômetro de massa (BARRIE; PROSSER, 1996); N-NH_4^+ e N-NO_3^- , respectivamente, de 2,4 e $6,7 \text{ mg kg}^{-1}$ determinado pela análise por injeção em fluxo (FIA “flow injection analyses”) usando, na extração das formas minerais, a relação de solo:solução extratora ($\text{KCl } 2 \text{ mol L}^{-1}$) de 1:5 - m:v (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001). A composição textural do segundo solo (GEE; BAUDER, 1986) apresentou para areia, silte e argila, respectivamente, 822, 28 e 150 g kg^{-1} .

Após coleta, os solos ficaram secando ao ar por 15 dias e depois foram peneirados com peneira de granulometria menor que 4 mm. A capacidade máxima de retenção de água (CRMA) do primeiro solo foi determinada e consta do item 3.2.1; a do segundo solo foi de $0,285 \text{ g de H}_2\text{O} / \text{g de solo}$, sendo realizada pelo método da ISO (2003).

3.3.2 Unidade experimental, tratamentos e delineamento estatístico

A unidade experimental foi a mesma usada no experimento em casa de vegetação (I) conforme consta do item 3.2.2, sendo preenchido cada vaso com 14 kg de terra fina seca ao ar (TFSA) de ambos os solos.

Os tratamentos do experimento foram doses de N de 0, 67,5, 135, 270 e 405 mg kg^{-1} , usando a mistura (“blend”) de ureia convencional e ureia recoberta com enxofre e polímero (U + URP) na proporção 30%U e 70%URP (40% N), aplicadas em posição considerada adequada de acordo com os resultados do experimento em casa de vegetação (I) (item 4.2), sendo de 10 cm de distância e 15 cm de profundidade da semente de milho, em ambos os solos. O fertilizante nitrogenado (70%URP + 30%U) foi o mesmo do experimento em casa de vegetação (I) e o local de aplicação pode ser observado no T9, nas Figuras 3 e 4. Esses tratamentos equivaleriam no campo às doses de 0, 90, 180, 360 e 540 kg ha^{-1} de N aplicados inteiramente na semeadura do milho, de acordo com cálculo utilizado no item 3.2.2 desta dissertação.

O delineamento do experimento foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, no esquema fatorial 5 x 2, sendo 5 tratamentos com doses de N, com 70%URP + 30%U, conforme descrito anteriormente, e dois solos (LVe e LVAd).

3.3.3 Híbrido de milho

O híbrido de milho usado foi o mesmo do experimento em casa de vegetação (I) conforme descrito no item 3.2.3.

3.3.4 Instalação e condução

Da mesma forma como descrito no experimento em casa de vegetação (I), antes da instalação do experimento foi observado que 14 kg de TFSA (LVe ou LVAd) ocupavam 18 cm de altura da unidade experimental, sendo suficiente para realizar os tratamentos com doses do fertilizante na distância de 10 cm e na profundidade de 15 cm da linha de semeadura, em ambos os solos.

Foram pesados 14 kg de TFSA para cada unidade experimental (vaso) e antes de ser colocados nos vasos, foram adicionados em sacos plástico transparente, e em seguida foi aplicado e misturado ao solo 200 mg kg⁻¹ de P, na forma de superfosfato simples (35,6 g por saco com 14 kg de solo), tanto para o LVe quanto para o LVAd. Visando elevar a saturação por bases para 70% no LVAd foi aplicado e misturado 11,06 g de calcário dolomítico por saco com 14 kg de solo, o PRNT do calcário usado é igual a 70%, e a quantidade foi determinada pelo método de saturação por bases (RAIJ et al., 2001). O LVe já possuía 67% de saturação por bases e não foi necessário o ajuste da saturação por bases.

O experimento foi instalado no dia 14 de fevereiro de 2016; para aplicação dos tratamentos com o fertilizante nitrogenado foi colocada uma camada de 1cm de TFSA em cada unidade experimental e por meio de marcações feitas nas laterais internas de cada unidade experimental foi demarcado o local de aplicação do fertilizante nitrogenado, conforme realizado no experimento em casa de vegetação (I), Figura 4. A aplicação de cada dose de N nas unidades experimentais foi feita seguindo as marcações nos vasos e, em seguida, colocou-se o restante do solo em cada parcela totalizando 14 kg de solo por vaso. Após todos os vasos estarem completos com os tratamentos com fertilizante nitrogenado e a quantidade total de solo, as sementes de milho foram semeadas aos pares no centro do vaso, na profundidade de 2cm, sendo adicionada água desionizada até atingir 60% da CMRA para

cada solo. Foi aplicado 113 mg de K ao solo de cada vaso na forma de KCl 1,5 M parcelado em duas vezes, uma aplicação na sementeira (14 de fevereiro de 2016) e outra aplicação no dia 2 de março de 2016, quando as plantas estavam no estágio V4.

O experimento foi conduzido até o dia 24 de março de 2016 e esse tempo foram medidas a umidade relativa média diária do ar e as temperaturas máxima e mínima diária do ar que foram registradas em “datalogger” (Figura 7).

Figura 7 - Temperatura máxima e mínima diária do ar e umidade relativa média diária do ar durante o período experimental do experimento II em casa de vegetação.

A emergência das plântulas de milho ocorreu no dia 17 de fevereiro de 2016, 3 dias após a sementeira. Efetuou-se o desbaste 5 dias após a emergência, mantendo uma planta por vaso. Visando manter 60% da CRMA, os vasos foram pesados diariamente com uma balança eletrônica, sendo adicionada água desionizada de acordo com as perdas diárias de água. No dia 24 de março de 2016 as plantas de milho atingiram o estágio V10 e as plantas do experimento foram colhidas.

3.3.5 Avaliações

Durante o experimento, em cada unidade experimental, foram feitas medidas da altura (cm) e do diâmetro (mm) dos colmos das plantas de milho e no final a parte aérea das plantas de milho foram colhidas, retiradas amostras de solo na linha do fertilizante e na linha da sementeira, e de raízes das plantas de milho.

A altura foi medida com uma régua e o diâmetro com um paquímetro, a cada cinco dias por 7 vezes, iniciando no sétimo dia após a emergência (DAE) do milho. Para a altura foi considerada a distância vertical entre a superfície do solo e o ponto de inserção da última folha e o diâmetro do colmo foi medido a 3 cm da superfície do solo.

Quando as plantas de milho estavam com 37 DAE (estádio V10), momento em que está aumentando a taxa de acúmulo de N, conforme observado nos resultados do experimento em campo (item 4.1), e que já havia ocorrido a confirmação do número de fileiras de grãos por espiga (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004), as partes aéreas das plantas de todos os vasos foram colhidas, sendo a parte aérea das plantas de milho cortadas rente à superfície do solo.

Após colhidas as partes aéreas das plantas, o solo foi amostrado com uma mini-sonda nas camadas 0-9 e 9-18 cm, em dois locais de amostragem em cada unidade experimental, na posição da linha de semeadura e na da linha de aplicação dos fertilizante. Foram realizadas duas amostragens simples para formação de uma amostra composta, para cada camada de solo, em cada ponto de amostragem. As amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas; foi medido o pH em água e a condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) no sobrenadante a partir da mistura, tomada com base peso, de uma parte de solo para duas e meia de água destilada (EMBRAPA, 1997), usando um peagâmetro e um condutivímetro com eletrôdos de vidro. O mesmo extrato para medir a condutividade elétrica foi usado para a medida do pH.

As raízes foram retiradas das unidades experimentais manualmente, separando-as do solo, e lavadas em água sobre peneira de 1 mm. As raízes e partes aéreas foram levadas para o laboratório e colocadas para secar em estufa a 65 °C até atingirem massa constante, e em seguida foram pesadas para determinação da massa seca (g planta^{-1}). Após determinação da massa seca, o material foi triturado no moinho do tipo Willey, homogeneizado e subamostrado para a determinação das concentrações (mg g^{-1}) de nitrogênio (BATAGLIA et al., 1983) da parte aérea e de raízes do milho. O acúmulo foi determinado por meio do produto da concentração do nitrogênio (mg g^{-1}) com a massa seca (g planta^{-1}), sendo expresso em mg planta^{-1} .

Na Figura 8 e 9 podem ser observados as partes aéreas das plantas e as raízes do milho, respectivamente, no final do experimento.

Figura 8 - Vista da parte aérea das plantas de milho em um dos blocos do Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) e do Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) na colheita do experimento. T1= sem aplicação de N; T2= 67,5 mg kg⁻¹ de N; T3=135 mg kg⁻¹ de N; T4= 270 mg kg⁻¹ de N; T5= 405 mg kg⁻¹ de N.

Figura 9 - Distribuição de raízes de plantas de milho no solo onde foi feita a aplicação dos tratamentos com 70%URP + 30%U (seta vermelha) em um dos blocos do Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) e do Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd), na colheita do experimento. Comprimento das raízes após serem separadas do solo e lavadas. T1= sem aplicação de N; T2= 67,5 mg kg⁻¹ de N; T3=135 mg kg⁻¹ de N; T4= 270 mg kg⁻¹ de N; T5= 405 mg kg⁻¹ de N.

3.3.6 Análise estatística

Foi feita a análise de variância conjunta para os solos. Quando detectado efeito significativo foram realizados testes de comparações múltiplas de Tukey e estudo de regressão quando o efeito da dose de N-(U+URP) foi significativo. Para as interações significativas foram avaliados os efeitos dos fatores dentro de cada nível do segundo fator envolvido. O nível de significância adotado foi 5%. As análises foram feitas utilizando o software estatístico SAS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento em campo

4.1.1 Condições climáticas

Os dados de temperatura ambiente máxima e mínima diária e pluviosidade diária nos períodos dos experimentos constam da Figura 1. No experimento realizado no LVAd a temperatura média diária foi de 23 °C e a pluviosidade total foi de 861 mm, sendo que a partir da semeadura do milho até o estágio V4 (quatro folhas totalmente expandidas), de V4 a V12 (doze folhas totalmente expandidas), de V12 a R3 (grãos leitosos), e de R3 a R6 (maturidade fisiológica), as pluviosidades foram, respectivamente, de 263, 112, 342 e 144 mm, apresentando 20 dias de estiagem a partir de R3 e chuvas esparsas ao longo de 17 dias antecedentes à colheita. No local do LVd a temperatura média diária foi de 23 °C, apresentando um total de pluviosidade de 670 mm sendo que da semeadura do milho até V4, de V4 a V12, de V12 a R3, e de R3 a R6, as pluviosidades foram, respectivamente, de 216, 119, 222 e 113 mm, apresentando um período de 30 dias de estiagem a partir de R3, e 113 mm de chuva após esse período e até a colheita do milho. Em ambas as áreas experimentais o período de estiagem atingiu os estádios fenológicos R4 (grãos pastosos) e R5 (formação de dente), podendo ter causado em maior quantidade de grãos leves e pequenos, comprometendo a produção (MAGALHÃES; DURÃES, 2006).

4.1.2 Produtividade de grãos e índices de eficiência de uso do nitrogênio

Na Tabela 4 podem ser observados os resultados de produtividade de grãos e os índices de eficiência de uso de nitrogênio (EUN) nos experimentos realizados no LVAd e no LVd, para os tratamentos com diferentes proporções da mistura de ureia revestida com enxofre e polímero (URP) com ureia (U), assim como no tratamento com UMC.

No LVAd, os tratamentos com 100% URP, 70% URP + 30% U e 60% URP + 40% U apresentaram maior produtividade de grãos comparado com o controle ($p \leq 0,05$). A média de produtividade desses três tratamentos foi de 11,2 Mg ha⁻¹ não havendo diferença significativa entre eles ($p \leq 0,05$); a produtividade média do controle foi de 7,5 Mg ha⁻¹.

Não foi verificada diferença significativa ($p \leq 0,05$) na produtividade de grãos entre os tratamentos em que foi realizada a adubação nitrogenada no LVAd, mesmo sendo observada

Tabela 4 - Produtividade média de grãos de milho (PG), eficiência de recuperação aparente do nitrogênio (ERA), eficiência fisiológica do nitrogênio aplicado (EF), eficiência de utilização interna do nitrogênio (EUI), eficiência agrônômica do nitrogênio aplicado (EA), fator parcial do nitrogênio aplicado (FPP) para os tratamentos com diferentes proporções da mistura de ureia (U) com ureia revestida com enxofre e polímero (URP) e manejo convencional (UMC) em dois solos distintos.

tratamento	PG Mg ha ⁻¹	ERA	EF	EUI kg kg ⁻¹	EA	FPP
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico						
controle	7,52 b	-	-	-	-	-
100% URP	11,45 a	0,39	56,54 a	57,95 a	21,80	63,62
90% URP + 10% U	10,21 ab	0,65	23,92 ab	42,74 ab	14,9	56,72
80% URP + 20% U	10,68 ab	0,75	23,14 ab	40,57 ab	17,52	59,35
70% URP + 30% U	11,29 a	0,61	36,81 ab	48,08 ab	20,90	62,73
60% URP + 40% U	11,27 a	0,56	37,68 ab	49,62 ab	20,82	62,65
50% URP + 50% U	10,69 ab	0,70	24,13 ab	42,26 ab	17,58	59,40
100% U	9,24 ab	0,73	13,04 b	36,10 b	9,54	51,36
UMC	9,56 ab	0,55	18,75 b	42,17 ab	11,33	53,16
Valor de <i>p</i>	0,008	0,08	0,02	0,02	0,2	0,1
C.V. (%)	11	21	42	14	36	10
Latossolo Vermelho distrófico						
controle	10,09	-	-	-	-	-
100% URP	10,75	0,15	0,74	46,33	3,63	59,74
90% URP + 10% U	10,19	0,10	11,45	45,28	0,51	56,61
80% URP + 20% U	10,69	0,18	-26,87	44,60	3,32	59,42
70% URP + 30% U	10,06	0,03	-10,92	47,41	-0,19	55,90
60% URP + 40% U	10,20	0,24	16,61	40,46	0,60	56,70
50% URP + 50% U	10,61	0,09	1,67	47,57	2,85	58,96
100% U	9,83	0,08	-2,58	45,35	-1,44	54,66
UMC	10,08	0,19	-7,94	41,66	-0,09	56,02
Valor de <i>p</i>	0,4	0,2	0,7	0,5	0,4	0,4
C.V. (%)	6	87	-1529	11	308	6

Letras minúsculas comparam as médias dos tratamentos em cada coluna e em cada solo ($p \leq 0,05$).

C.V. = Coeficiente de variação ; UMC = ureia em manejo convencional. *p* = probabilidade do teste F.

uma diferença na faixa de 1 a 2 Mg ha⁻¹ de grãos entre os tratamentos com URP e aqueles somente com U (100% U e ureia em manejo convencional (UMC)). A média de produtividade de grãos dos tratamentos com nitrogênio nesse solo foi de 10,5 Mg ha⁻¹, sendo superior a média nacional que é de aproximadamente 4,7 Mg ha⁻¹ para safra 2015/2016 (CONAB, 2016). Com relação aos índices de EUN no LVAd, não foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos para a eficiência de recuperação aparente de nitrogênio (ERA), eficiência agrônômica do nitrogênio aplicado (EA) e para a eficiência parcial do nitrogênio aplicado (FPP), sendo as médias dos tratamentos desses índices de 0,61, 16,8 e 58,6 kg kg⁻¹, respectivamente. Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre tratamentos para a eficiência fisiológica do nitrogênio aplicado (EF) e para a eficiência

de utilização interna do nitrogênio (EUI), sendo que para a EF o tratamento com 100% URP mostrou valor médio de $56,54 \text{ kg kg}^{-1}$, superior aos tratamentos com 100% U e UMC, com valores médios de $13,04$ e $18,75 \text{ kg kg}^{-1}$, respectivamente; para a EUI o tratamento com 100% URP apresentou o valor médio de $57,95 \text{ kg kg}^{-1}$ e também foi superior ao tratamento com 100% U com $36,10 \text{ kg kg}^{-1}$.

De acordo com Dobermann (2007), considerando o nitrogênio nos cereais, a ERA varia de $0,30$ a $0,50 \text{ kg kg}^{-1}$ podendo atingir uma faixa de $0,50$ a $0,80 \text{ kg kg}^{-1}$ em sistemas bem manejados para solos com baixo suprimento de nitrogênio, correspondendo a quantidade (kg) de nitrogênio acumulado na parte aérea do milho, no final do ciclo, por kg de nitrogênio aplicado. Segundo o mesmo autor a EA pode variar de 10 a 30 kg kg^{-1} e em sistemas bem manejados em solos com baixo suprimento de nitrogênio, podendo atingir valores superiores a 25 kg kg^{-1} que correspondem a quantidade (kg) de grãos produzidos por kg de nitrogênio aplicado; por outro lado, o FPP pode variar de 40 a 80 kg kg^{-1} e valores maiores que 60 são atingidos em sistemas bem manejados em solos com baixo suprimento de nitrogênio, correspondendo a quantidade (kg) de grãos produzidos por kg de nitrogênio aplicado; já a EF pode variar de 40 a 60 kg kg^{-1} e valores superiores a 50 kg kg^{-1} são atingidos em sistemas bem manejados em solos com baixo suprimento de nitrogênio, correspondendo a quantidade (kg) de grãos produzidos por kg de nitrogênio acumulado na parte aérea do milho no final do ciclo. Conforme Dobermann (2007) a EUI pode apresentar variações de 30 a 90 kg kg^{-1} e a faixa de 55 a 65 kg kg^{-1} é considerada ótima para condições de elevada produtividade, correspondendo a quantidade (kg) de grãos produzidos por kg de nitrogênio acumulado na parte aérea do milho no final do ciclo.

Baseado nos dados de produtividade de grãos e nos índices de EUN os tratamentos envolvendo URP atenderam a necessidade da cultura no LVAd proporcionando alta produtividade de grãos e índices de EUN na faixa adequada (DOBERMANN, 2007; SNYDER; BRUULSEMA, 2007), com destaque para os tratamentos com 100% URP, 70% URP + 30% U e 60% URP + 40% U, que foram superiores em produtividade quando comparados com o tratamento controle, e para o tratamento com 100% URP por apresentar maior EUI comparado com o tratamento com 100% U e maior EF comparado com os tratamentos 100% U e UMC. O valor de EUI do tratamento 100% U ($36,1 \text{ kg kg}^{-1}$) e os valores de EF do tratamento 100% U ($13,04 \text{ kg kg}^{-1}$) e UMC ($18,75 \text{ kg kg}^{-1}$) estão abaixo da faixa adequada, sendo que quando isso ocorre pode ser um indicativo de limitação na produtividade de grãos relacionados à deficiência nutricional, estresse hídrico, estresse de temperatura, toxidez e outros fatores limitantes (DOBERMANN, 2007). Nesse caso, apesar

da produtividade de grãos dos tratamentos 100% U e UMC não apresentarem diferença significativa ($p \leq 0,05$), comparado com os outros tratamentos adubados com nitrogênio, apresentaram os menores valores de produtividade no LVAd o que pode estar relacionado com a falta de água, como consequência de 20 dias de estiagem entre os estádios R3 ao R5 do milho, e também devido à baixa disponibilidade de nitrogênio para as plantas, principalmente no estágio inicial (V4 a V6) que é quando ocorre a definição do potencial produtivo da cultura, sendo que no tratamento com UMC foi o período que apresentou baixa quantidade de nitrogênio mineral na camada superficial conforme avaliações feitas por González Villalba (2013).

No LVd não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) para produtividade de grãos e para os índices de EUN entre os tratamentos. A média de produtividade dos tratamentos nesse solo, incluindo o controle, foi de $10,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, e a média dos tratamentos para a ERA, EA, FPP, EF e EUI foram, respectivamente, de 0,13, 1,14, 56,87, -2,23 e 44,83. O nitrogênio mineral no solo foi suficiente para atender as necessidades da cultura como pode ser constatado pela produtividade de grãos no tratamento controle e pelos índices de EUN, inclusive com valores negativos, podendo esse fato ser justificado pela alta capacidade de mineralização da matéria orgânica do solo (MOS), disponibilizando o nitrogênio necessário às plantas de milho, além de o solo possuir elevado teor de MOS na camada de 0-20 e 20-40 cm, com valores de 30 e 24 g dm^{-3} , respectivamente. Schoninger (2014), em experimento comparando épocas de aplicação de ureia na cultura do milho no mesmo LVd, também observou a baixa resposta dos tratamentos, possivelmente, pela alta capacidade de mineralização da MOS. Os baixos valores da EF e da EA estão relacionados, neste caso, com a produtividade de grãos do controle que foi similar com a dos outros tratamentos, uma vez que a produtividade de grãos do controle é um dos valores para o cálculo desses índices de eficiência, não estando relacionado com possíveis fatores limitantes no desenvolvimento da cultura. O baixo valor da ERA no LVd está relacionado com o acúmulo de nitrogênio no tratamento controle no final do ciclo que é um dos valores usados no cálculo desse índice, e o acúmulo de nitrogênio no controle foi próximo aos demais tratamentos com adubação com N, como será discutido no item 4.1.3.2. Os valores de EUI e FPP estão dentro da faixa adequada e nesse solo essas eficiências foram influenciadas pelo fornecimento de nitrogênio do solo, o que não ocorreu no LVAd.

Na literatura podem ser encontrados valores para alguns dos índices de EUN usados neste estudo para a cultura do milho, porém em situações diferentes em relação a forma de aplicação do fertilizante nitrogenado, fontes utilizadas, condições climáticas, tipo de solo etc.

Para a ERA podem ser encontrados valores como: 0,3 e 1,1 kg kg⁻¹ (AMADO et al., 2013) sendo o primeiro valor considerando para uma dose de 180 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia aplicada integralmente em superfície, na semeadura da cultura do milho e em sistema de plantio direto; o valor de 1,1 kg kg⁻¹ (AMADO et al., 2013) foi obtido para uma dose de 30 kg ha⁻¹ de N nas mesmas condições em um solo de textura argilosa no Paraguai. A explicação do autor para o elevado valor de ERA, acima da faixa de manejo eficiente (DOBERMANN, 2007), considerando a baixa dose de nitrogênio, estaria relacionado com o “efeito priming” em que o nitrogênio do fertilizante estimularia a mineralização do nitrogênio do solo e dessa forma elevaria o acúmulo de nitrogênio na planta; valores de 0,7 e 1,3 kg kg⁻¹ foram obtidos por Rillo e Richmond (2006) sendo o primeiro considerando para uma dose de N de 220 kg ha⁻¹ e o segundo para 46 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicados na forma de ureia em superfície, na semeadura do milho na Argentina. Para a EF podem ser encontrados valores como: 26,1 e 39,6 kg kg⁻¹ (AMADO et al., 2013), respectivamente, para doses de 30 e 180 kg ha⁻¹ de N. Para a EA podem ser encontrados valores como: 18,4 kg kg⁻¹ (AMADO et al., 2013) para uma dose de 105 kg ha⁻¹ de nitrogênio; 20 kg kg⁻¹ (FARINELLI; BORGES, 2010; FERNANDES et al., 2005) para uma dose de 180 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Para o FPP podem ser encontrados valores como: 19 kg kg⁻¹ (AMADO et al., 2013) para uma dose de 180 kg ha⁻¹ de N; 55 kg kg⁻¹ (RILLO; RICHMOND, 2006) para uma dose de 220 kg ha⁻¹ de N.

Os valores dos índices de EUN encontrados no experimento no LVAd, com o uso das diferentes proporções de URP + U, apresentaram valores próximos e em alguns casos superiores, comparado com os valores encontrados na literatura, em que também ocorreu eficiência considerada adequada (DOBERMANN, 2007), evidenciando que apesar deles avaliarem indiretamente a EUN, o uso da URP + U pode ser uma alternativa para melhorar a EUN em algumas condições, considerando por exemplo, o tipo de solo, uma vez que não houve resposta para a adubação nitrogenada no LVd, e no caso deste estudo considerando a aplicação da dose total na semeadura de forma incorporada ao lado da linha do milho. A condição de aplicação deve ser levada em consideração na tomada de decisão, uma vez que nem todos os produtores possuem máquinas e implementos adequados para essa finalidade. Além disso, o estudo com URP + U em outras condições de aplicação e manejo são importantes e podem viabilizar ainda mais o uso do manejo dessa fonte de N na cultura do milho.

4.1.3 Acúmulo e particionamento da massa seca e dos macronutrientes da parte aérea ao longo do ciclo do milho

4.1.3.1 Acúmulo e particionamento da massa seca

A Tabela 5 mostra os valores do acúmulo de massa seca da parte aérea (MSPA) em Mg ha^{-1} nas frações ou partes da planta (folha, colmo, sabugo e grão) nos estádios fenológicos do milho V4, V12, R3 e R6, bem como os acúmulos totais de MSPA em cada estágio fenológico, sendo que o acúmulo total em V4 correspondeu às folhas, em V12 correspondeu à soma dos acúmulos de folhas e colmo, em R3 e R6 à soma dos acúmulos de folhas, colmo, sabugo e grãos, nos tratamentos com diferentes proporções da mistura de URP + U no LVAd e no LVd.

Na Figura 10 constam os modelos do acúmulo de MSPA para as frações da planta ao longo dos estádios fenológicos com seus respectivos graus-dia de desenvolvimento em $^{\circ}\text{C}$ (GDD_C), que ilustram o comportamento do acúmulo de MSPA no ciclo do milho, considerando os tratamentos deste trabalho no LVAd e no LVd. Para geração dos modelos baseou-se na diferença estatística da produtividade de grãos (Tabela 4) e na diferença estatística dos totais acumulados em cada estágio fenológico (Tabela 5) entre os tratamentos, chegando em dois modelos para o LVAd, sendo um para o tratamento controle que apresentou diferença significativa de produtividade ($p \leq 0,05$) comparado com os tratamentos 100%URP, 70%URP + 30%U e 60%URP + 40%U, e que a partir do estágio fenológico V12 diferiu significativamente ($p \leq 0,05$) dos demais tratamentos em relação ao acúmulo total de MSPA (Tabela 5), e outro com a média dos tratamentos 100%URP, 70%URP + 30%U e 60%URP + 40%U que foram diferentes do controle em termos de produtividade ($p \leq 0,05$), e que representaram os tratamentos adubados com nitrogênio no que diz respeito ao acúmulo de MSPA, uma vez que não apresentaram diferença entre si a partir de V12 e diferiram do controle ($p \leq 0,05$) (Tabela 5). Para o LVd foi feito um único modelo com a média de todos os tratamentos incluindo o controle, uma vez que não apresentaram diferença significativa de produtividade de grãos ($p \leq 0,05$) (Tabela 4) e não apresentaram diferença de acúmulo de MSPA ($p \leq 0,05$) no final do ciclo, em R6 (Tabela 5).

No LVAd (Tabela 5) observou-se que em V4 os tratamentos 100%URP, 70%URP + 30%U e 100%U apresentaram maior acúmulo de MSPA do que o tratamento controle ($p \leq 0,05$), com média para os três tratamentos de $0,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ enquanto no controle foi de $0,2 \text{ Mg ha}^{-1}$. De V12 a R6 os acúmulos totais de MSPA dos tratamentos com nitrogênio não

Tabela 5 - Acúmulo de massa seca da parte aérea (Mg ha⁻¹) nas frações ou partes de plantas de milho (folhas (F), colmo (C), sabugo (S) e grãos (G)) nos estádios V4, V12, R3 e R6 do milho em tratamentos com diferentes proporções da mistura de ureia (U) com ureia revestida com enxofre e polímero (URP) em solos distintos.

Trat.*	Estádio fenológico													
	V 4		V12		R3				R6					
	Fração da planta													
	total	F	C	total	F	C	S	G	total	F	C	S	G	total
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico														
1	0,2±0,1b €	1,5±0,2b	0,4±0,1c	1,9±0,3b	4,3±0,4b	1,7±0,3b	1,1±0,1b	2,2±0,1b	9,2±0,8b	2,5±0,7b	1,2±0,5b	1,1±0,3c	6,4±0,9b	11,2±2,4b
2	0,5±0,1a	4,1±0,1a	1,8±0,1ab	5,9±0,2a	7,3±0,2a	3,7±0,2a	1,9±0,1a	4,1±0,4a	17,0±0,5a	4,4±0,3a	2,9±0,2ab	1,5±0,1b	9,2±0,4ab	18,1±0,6a
3	0,4±0,1ab	3,3±0,2a	1,5±0,1ab	4,8±0,3a	7,1±0,3a	3,4±0,2a	1,7±0,1a	3,7±0,3ab	15,8±0,5a	5,1±0,4a	3,6±0,4a	1,8±0,1ab	10,8±1,5a	21,4±2,4a
4	0,4±0,1ab	3,6±0,5a	1,7±0,3ab	5,3±0,7a	7,2±0,6a	3,7±0,3a	1,8±0,1a	3,7±0,3ab	16,5±1,3a	5,8±0,3a	4,3±0,3a	2,1±0,1a	11,9±0,4a	24,1±0,9a
5	0,5±0,1a	3,3±0,2a	1,5±0,1ab	4,8±0,3a	6,9±0,6a	3,4±0,4a	1,7±0,2a	3,6±0,5ab	15,6±1,5a	5,5±0,3a	3,7±0,2a	1,9±0,1ab	11,1±1,1a	22,3±1,6a
6	0,4±0,1ab	3,6±0,2a	1,7±0,1ab	5,3±0,3a	7,8±0,3a	3,9±0,2a	2,1±0,1a	4,2±0,3a	18,1±0,7a	4,9±0,5a	3,4±0,6a	1,7±0,2ab	10,7±0,9a	20,9±2,1a
7	0,4±0,1ab	3,7±0,1a	1,6±0,1ab	5,3±1,9a	7,6±0,3a	3,9±0,3a	1,9±0,1a	4,4±0,5a	17,8±1,1a	5,7±0,2a	3,9±0,5a	1,9±0,1ab	11,1±1,4a	22,8±0,1a
8	0,5±0,1a	4,1±0,4a	2,1±0,3a	6,2±0,7a	7,9±0,3a	4,1±0,2a	2,1±0,1a	4,6±0,1a	18,7±0,7a	5,4±0,4a	4,3±0,5a	1,9±0,2ab	11,1±0,9a	22,7±1,8a
9	0,3±0,1ab	3,1±0,1a	1,2±0,1bc	4,3±0,1a	7,6±0,4a	3,7±0,3a	1,9±0,1a	4,1±0,3a	17,4±1,1a	5,2±0,4a	3,2±0,2a	1,7±0,1ab	10,1±0,5a	20,2±0,9a
p**	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
Latossolo Vermelho distrófico														
1	0,3±0,1b	2,3±0,1b	0,5±0,1c	2,8±0,2b	6,3±0,1b	3,3±0,1b	1,3±0,1	1,4±0,3b	12,5±0,4b	4,7±0,2	2,8±0,2	1,5±0,1	9,6±0,5	18,8±0,9
2	0,4±0,1ab	2,6±0,2ab	0,7±0,1abc	3,4±0,3ab	6,8±0,1ab	3,7±0,1ab	1,5±0,1	2,3±0,4ab	14,3±0,6ab	4,9±0,1	3,2±0,1	1,6±0,1	10,1±0,1	19,9±0,6
3	0,5±0,1ab	2,8±0,1ab	0,7±0,1abc	3,5±0,2ab	7,3±0,2ab	4,1±0,1ab	1,7±0,1	2,4±0,3a	15,6±0,5a	4,7±0,1	3,1±0,2	1,5±0,1	9,9±0,3	19,3±0,2
4	0,5±0,1ab	3,1±0,2a	0,9±0,1ab	4,1±0,3a	7,1±0,1ab	4,1±0,2a	1,7±0,1	2,1±0,1ab	15,1±0,4ab	4,7±0,1	3,4±0,1	1,7±0,1	10,8±0,1	20,8±0,3
5	0,5±0,1ab	2,9±0,1ab	0,8±0,1abc	3,7±0,1ab	7,4±0,3a	3,9±0,2ab	1,6±0,1	2,1±0,1ab	15,1±0,6ab	4,6±0,2	3,1±0,1	1,4±0,1	9,6±0,3	18,8±0,5
6	0,5±0,1ab	2,7±0,1ab	0,7±0,1bc	3,4±0,1ab	7,2±0,4ab	4,1±0,1a	1,6±0,1	2,1±0,2ab	15,1±0,6ab	5,1±0,1	3,5±0,1	1,7±0,1	9,9±0,4	20,4±0,6
7	0,6±0,1a	3,3±0,2a	1,1±0,1a	4,4±0,4a	7,3±0,1ab	4,1±0,1a	1,6±0,1	2,4±0,2a	15,5±0,1a	4,8±0,1	3,3±0,3	1,6±0,1	10,2±0,2	20,1±0,6
8	0,6±0,1a	3,1±0,1a	0,8±0,1abc	3,9±1,5a	7,6±0,1a	4,3±0,1a	1,7±0,1	2,1±0,1ab	15,8±0,2a	4,9±0,2	3,1±0,1	1,6±0,1	9,8±1,1	19,6±1,5
9	0,4±0,1ab	2,8±0,1ab	0,8±0,1abc	3,6±0,3ab	6,7±0,3ab	3,9±0,2ab	1,5±0,1	1,8±0,2ab	14,1±0,9ab	5,1±0,1	3,4±0,2	1,6±0,1	10,6±0,3	20,9±0,6
p**	0,01	0,004	0,005	0,003	0,01	0,006	0,1	0,03	0,003	0,2	0,1	0,1	0,6	0,4

*Tratamento: 1 = controle; 2 = 100% URP; 3 = 90% URP + 10% U; 4 = 80% URP + 20% U; 5 = 70% URP + 30% U; 6 = 60% URP + 40% U; 7 = 50% URP + 50% U; 8 = 100% U; 9 = ureia em manejo convencional. ***p* = probabilidade do teste F; letras minúsculas comparam as médias dos tratamentos em cada coluna e em cada solo ($p \leq 0,05$). € m ± epm (média ± erro padrão da média). V4 = quatro folhas totalmente expandidas; V12 = doze folhas totalmente expandidas; R3 = grãos leitosos; R6 = maturação fisiológica.

Figura 10 - Acúmulo de massa seca na parte aérea (MSPA) do milho em diferentes estádios fenológicos do milho. Em A, média de três tratamentos (100% URP, 70% URP + 30% U, 60% URP + 40% U) no Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) com produtividade média de grãos de $11,2 \text{ Mg ha}^{-1}$. Em B, tratamento controle no LVAd com produtividade média de grãos de $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$. Em C, média de nove tratamentos no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) com produtividade média de grãos de $10,2 \text{ Mg ha}^{-1}$.

apresentaram diferença entre si e todos foram superiores ao controle ($p \leq 0,05$). A média de MSPA total para os com nitrogênio nos estádios V12, R3 e R6 foram de 5,3, 17,1 e 21,5 Mg ha⁻¹, respectivamente, e para o controle foi respectivamente de 1,9, 9,2 e 11,2 Mg ha⁻¹. O acúmulo de massa seca nos grãos em R6 foi em média de 10,7 Mg ha⁻¹ para os tratamentos com nitrogênio e de 6,4 Mg ha⁻¹ para o controle o que correspondeu a 49% e 57% da MSPA, respectivamente, conforme Figura 10 (A e B). Isso mostra que no acúmulo de MSPA a resposta ocorreu para a aplicação de N na cultura do milho, independente das proporções de URP+U, uma vez que todas as proporções juntamente com UMC apresentaram a mesma resposta na maturidade fisiológica do milho, diferindo do controle ($p \leq 0,05$).

No LVd (Tabela 5), apesar de existirem diferenças para o acúmulo de MSPA entre o controle e alguns tratamentos com adubação nitrogenada, ao longo do ciclo da cultura do milho, essas diferenças acabaram quando a cultura passou para o estágio fenológico R6, em que todos os tratamentos apresentaram médias similares de acúmulo, em cada compartimento da planta, e também no acúmulo total ($p \leq 0,05$). A média do acúmulo de MSPA total de todos os tratamentos em R6 foi de 19,8 Mg ha⁻¹, sendo que 10 Mg ha⁻¹ correspondeu ao acúmulo de massa seca nos grãos, equivalendo a 50% da MSPA conforme Figura 10 (C). Assim como observou-se no item de produtividade de grãos (4.1.2) que não ocorreu diferença de produtividade entre os tratamentos ($p \leq 0,05$), no LVd, o mesmo ocorreu com o acúmulo de MSPA quando a cultura atinge a maturidade fisiológica, o que também pode ser explicado pela elevada capacidade de mineralização da MOS (PAUL, 2007), fornecendo nitrogênio para a cultura e suprimindo a necessidade ao longo do ciclo da cultura, não havendo a necessidade da fertilização com N nesse solo.

Na Tabela 6, constam as taxas máximas de acúmulo (TMA) da MSPA em kg ha⁻¹ dia⁻¹ e de alguns dos macronutrientes avaliados neste estudo com seus respectivos graus-dia de desenvolvimento em °C (GDD_C), sendo que as taxas para os macronutrientes serão discutidas nos próximos itens. Para o LVAd foram geradas duas TMA para MSPA, uma considerando a média dos tratamentos adubados com nitrogênio, uma vez que não apresentaram diferença entre si, e outra para o tratamento controle que diferiu dos demais tratamentos ($p \leq 0,05$); e para o LVd foi gerada uma única TMA para MSPA com a média de todos os tratamentos incluindo o controle pois não houve diferença entre os tratamentos ($p \leq 0,05$). Da mesma forma procedeu-se para os macronutrientes (N, P, Ca e Mg), não ocorrendo ajuste do modelo para K e S (Anexo A).

A TMA da MSPA no LVAd para os tratamentos adubados com nitrogênio foi de 240 kg ha⁻¹ dia⁻¹ quando o milho havia atingido 1174 GDD_C e a do tratamento controle foi de 157

Tabela 6 - Taxa máxima de acúmulo (TMA) em $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e seu respectivo graus-dia de desenvolvimento em $^{\circ}\text{C}$ (GDD_C) para a massa seca (MS) e para os macronutrientes (N, P, Ca e Mg) na parte área de plantas de milho em tratamentos com diferentes proporções da mistura de ureia revestida com enxofre e polímero (URP) e ureia (U), em dois solos distintos.

tratamento	— MS —		— N —		— P —		— Ca —		— Mg —	
	TMA	GDD _C	TMA	GDD _C	TMA	GDD _C	TMA	GDD _C	TMA	GDD _C
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico										
média (8 trat.)*	240	1174	2,7	974	0,3	989	0,9	944	3,3	928
controle	157	1254	1,7	1119	0,2	1133	0,2	1251	0,2	1174
Latossolo Vermelho distrófico										
média (9 trat.)**	212	1357	2,3	1067	0,5	991	4,2	933	3,4	933

*média dos 8 tratamentos adubados com nitrogênio, envolvendo diferentes proporções de URP+U e também a ureia em manejo convencional (UMC).

**média de todos os tratamentos realizados no experimento incluindo o controle.

$\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ com 1254 GDD_C. No LVd considerando todos os tratamentos a TMA foi de 212 $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ quando o milho atingiu 1357 GDD_C. Nos dois solos a TMA da MSPA ocorreu depois da TMA dos macronutrientes (N, P, Ca e Mg) e em ambos ocorreram entre V10 e V14.

Bender et al. (2013), pesquisando o acúmulo e particionamento de nutrientes e comparando híbridos atuais de milho, com uso de modernas práticas de manejo agrícola nos Estados Unidos da América (USA) com adubação nitrogenada de 202 kg ha^{-1} antes da semeadura, 50 kg ha^{-1} na semeadura e 67 kg ha^{-1} em V6, em cultivo com espaçamento de 0,7 m entre linha e 0,15 m entre plantas, observou que os híbridos avaliados possuíam, em média, produtividade de grãos de 12 Mg ha^{-1} , acúmulo de MSPA de 23,2 Mg ha^{-1} em V6, sendo que 51 % da MSPA total acumulada correspondeu a grãos e com a taxa máxima de acúmulo de MSPA de 439 $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ocorrendo entre V10 (dez folhas totalmente expandidas) e V14 (quatorze folhas totalmente expandidas). Nesse intervalo dos estádios fisiológicos da cultura de milho também ocorreu a máxima taxa de acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas. Estudos realizados no passado com a mesma finalidade indicaram valores médios de acúmulo de MSPA de 13,7 Mg ha^{-1} (SAYRE, 1948) usando espaçamento de 1 m entre linha e 0,3 m entre plantas, com produtividade de grãos de 6,3 Mg ha^{-1} ; 13,6 Mg ha^{-1} (HANWAY, 1962a) usando um espaçamento de 1m entre linha e 0,6 m entre plantas, e produtividade de grãos de 4,6 Mg ha^{-1} ; 31,8 Mg ha^{-1} (KARLEN et al., 1988) usando um espaçamento de 0,3m entre linha e 0,3m entre plantas, atingindo uma produtividade de grãos de 16,3 Mg ha^{-1} .

Esses resultados indicaram que os híbridos modernos de milho possuem uma maior capacidade em acumular massa seca e, conseqüentemente, nutrientes, acumulando mais nos grãos (em média 51% da MSPA total acumulada), em função dos melhoramentos realizados para obtenção de maiores produtividades ao longo dos anos (maiores relações grãos / palha),

o que explicaria não haver diferença para o acúmulo de MSPA entre os tratamentos adubados com nitrogênio no LVAd ($p \leq 0,05$); apesar de o tratamento controle acumular menos MSPA com relação aos tratamentos adubados com nitrogênio ($p \leq 0,05$) nesse solo, o comportamento no acúmulo de MSPA ao longo do tempo é parecido (Figura 10 (A e B)), sendo que o tratamento controle no final do ciclo acumulou nos grãos 57% da MSPA total. Por outro lado, no LVd esse comportamento pode ser observado levando em consideração o solo como o principal fornecedor de nitrogênio (Figura 10 (C)).

4.1.3.2 Acúmulo e particionamento de nitrogênio

Na Tabela 7 constam os resultados do acúmulo de nitrogênio na parte aérea (NPA) em kg ha^{-1} nas partes de planta de milho (folha, colmo, sabugo e grão) nos estádios fenológicos do milho V4, V12, R3 e R6, bem como os acúmulos totais de NPA em cada estágio fenológico, nos tratamentos com diferentes proporções da mistura de URP + U no LVAd e no LVd.

Nas Figuras 11, 12 e 13 constam os modelos ajustados ao acúmulo dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) para as partes de plantas de milho ao longo dos estádios fenológicos com seus respectivos graus-dia de desenvolvimento em $^{\circ}\text{C}$ (GDD_C), que ilustram o comportamento do acúmulo dos macronutrientes no ciclo do milho, considerando os efeitos dos tratamentos deste trabalho no LVAd e LVd.

Os macronutrientes N, P, K, Mg e S, bem como a MSPA, seguem um padrão sigmoidal de acúmulo (BENDER et al., 2013). Neste trabalho observou-se que o Ca também segue esse padrão sigmoidal (Figuras 11, 12 e 13 (Ca)). Certos nutrientes possuem características de mobilidade na planta que permitem serem usados em uma parte ou órgão e depois remobilizados e usados em outro, como é o caso do N (BUCHANAN-WOLLASTON et al., 2003), P (SNAPP; LYNCH, 1996), K (MARSCHNER, 1995), Mg (SCHIMANSKY, 1973) e S (HERSCHBACH; RENNENBERG, 1994), sendo que o N, P, K e Mg são considerados móveis, o S pouco móvel e o Ca imóvel (MALAVOLTA, 1997).

Para geração dos modelos de ajustes de acúmulos para os macronutrientes, baseou-se na diferença estatística da produtividade de grãos (Tabela 4) e na diferença estatística dos totais acumulados para cada macronutriente em cada estágio fenológico entre os tratamentos. Para o LVAd chegou-se em dois modelos para cada macronutriente, sendo um modelo para o tratamento controle (Figura 12) e outro modelo com a média dos tratamentos 100% URP, 70%URP + 30%U e 60%URP + 40%U (Figura 11) que foram diferentes do controle em

Tabela 7 - Acúmulo de nitrogênio (kg ha^{-1}) nas frações ou partes de plantas de milho (folhas (F), colmo (C), sabugo (S) e grãos (G)) nos estádios V4, V12, R3 e R6 do milho em tratamentos com diferentes proporções da mistura de ureia (U) com ureia revestida com enxofre e polímero (URP) em solos distintos.

Trat.*	Estádio fenológico													
	V 4	V12			R3			R6						
	Fração da planta													
	total	F	C	total	F	C	S	G	total	F	C	S	G	total
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico														
1	4±1c €	32±7b	4±1c	36±7b	52±7	10±1b	9±1	41±2b	112±10b	19±6b	7±2b	6±1b	96±16b	128±25b
2	17±1a	91±4a	17±1ab	108±4a	84±1	19±2ab	13±1	67±6a	183±8ab	35±2ab	15±2ab	8±1ab	141±11ab	199±10a
3	12±2abc	68±5a	14±1ab	82±5a	105±11	19±1ab	15±1	65±2a	204±12a	37±2ab	22±3a	12±2a	175±21a	246±28a
4	13±2ab	83±9a	15±2ab	98±12a	91±11	18±3ab	12±2	61±4ab	182±18ab	47±3a	24±5a	11±2a	181±3a	263±3a
5	15±3ab	75±4a	12±1b	87±6a	104±22	16±2ab	12±3	63±8ab	195±33a	45±4a	18±2ab	11±2ab	163±14a	237±18a
6	13±1ab	80±4a	16±1ab	96±5a	98±10	19±2ab	16±1	74±4a	207±8a	43±2a	17±2ab	8±1ab	160±7a	228±10a
7	13±2ab	77±1a	16±1ab	93±1a	101±5	21±1a	17±1	77±6a	216±7a	46±5a	22±4a	11±1ab	176±18a	255±20a
8	14±2ab	97±11a	21±3a	118±14a	103±8	19±2ab	15±2	82±6a	219±16a	52±6a	23±3a	9±1ab	174±12a	258±18a
9	6±1bc	75±5a	15±1ab	90±6a	105±12	19±1ab	16±2	73±5a	213±19a	43±3a	19±3ab	8±1ab	156±7a	226±12a
p**	0,002	0,001	0,001	0,001	0,053	0,02	0,08	0,001	0,006	0,001	0,01	0,02	0,02	0,001
Latossolo Vermelho distrófico														
1	9±1c	56±4b	9±1c	65±5b	97±4	19±1	16±2	28±5b	160±6	48±4	15±1	12±1	133±11	208±15
2	14±1abc	78±6ab	12±1bc	90±8ab	113±5	22±2	17±1	42±8ab	194±13	52±4	19±1	11±1	152±10	234±14
3	16±1ab	77±4ab	13±1abc	90±5ab	124±5	24±2	16±1	46±3a	210±9	54±2	16±2	11±1	145±6	226±10
4	18±1ab	89±10a	15±2ab	104±11a	115±7	25±3	17±1	38±2ab	195±11	55±6	19±2	13±1	153±4	240±5
5	15±1ab	84±4ab	12±1abc	96±5ab	108±3	21±1	19±1	38±2ab	186±5	48±3	16±3	12±1	137±8	213±8
6	17±1ab	74±5ab	11±1bc	85±5ab	108±4	22±2	16±2	44±3ab	190±4	57±3	21±1	14±1	160±5	252±6
7	18±1ab	86±8a	18±1a	104±9a	109±4	27±1	16±1	46±3a	198±4	51±3	18±1	11±1	144±5	224±7
8	19±2a	78±6ab	15±1ab	93±7ab	116±4	23±1	18±1	39±3ab	196±7	51±1	16±2	12±1	144±17	223±20
9	12±1bc	79±5ab	15±1ab	94±6ab	107±8	24±2	15±2	38±5ab	184±16	58±2	21±2	14±1	150±7	243±10
p**	0,0001	0,03	0,001	0,01	0,07	0,2	0,5	0,03	0,054	0,3	0,2	0,06	0,5	0,2

*Tratamento: 1 = controle; 2 = 100% URP; 3 = 90% URP + 10% U; 4 = 80% URP + 20% U; 5 = 70% URP + 30% U; 6 = 60% URP + 40% U; 7 = 50% URP + 50% U; 8 = 100% U; 9 = ureia em manejo convencional. ***p* = probabilidade do teste F; letras minúsculas comparam as médias dos tratamentos em cada coluna e em cada solo ($p \leq 0,05$). € m ± epm (média ± erro padrão da média). V4 = quatro folhas totalmente expandidas; V12 = doze folhas totalmente expandidas; R3 = grãos leitosos; R6 = maturação fisiológica.

Figura 11 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea do milho em diferentes estádios fenológicos. Média de três tratamentos (100% URP, 70% URP + 30% U, 60% URP + 40% U) no Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) com produtividade média de grãos de 11,2 Mg ha⁻¹.

Figura 12 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea do milho em diferentes estádios fenológicos. Tratamento controle no Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) com produtividade média de grãos de 7,5 Mg ha⁻¹.

Figura 13 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea do milho em diferentes estádios fenológicos. Média de nove tratamentos no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) com produtividade média de grãos de $10,2 \text{ Mg ha}^{-1}$.

produtividade ($p \leq 0,05$) e que representaram os tratamentos adubados com nitrogênio no que diz respeito ao acúmulo de cada macronutriente, uma vez que não apresentaram diferença entre si ($p \leq 0,05$) ao longo do ciclo do milho, com exceção do tratamento UMC para o acúmulo do enxofre (S), que apresentou comportamento parecido com o do controle. Para o LVd foi feito um modelo para cada macronutriente (Figura 13) com a média de todos os tratamentos incluindo o controle, uma vez que não apresentaram diferença significativa de produtividade de grãos ($p \leq 0,05$) e não apresentaram diferença de acúmulo para cada

macronutriente ($p \leq 0,05$) no final do ciclo, em R6. Neste item será abordado sobre o nitrogênio e nos itens seguintes sobre os demais macronutrientes.

No estágio V4 do milho, observando os resultados no LVAd da Tabela 7, o acúmulo de NPA no tratamento com 100% URP (17 kg ha^{-1}) foi superior ao do tratamento controle (4 kg ha^{-1}) e também do tratamento com UMC (6 kg ha^{-1}), que se igualou ao tratamento controle ($p \leq 0,05$). Do estágio V12 ao R6 os acúmulos totais de NPA dos tratamentos adubados com N não apresentaram diferença entre si e foram superiores ao controle no estágio R6 ($p \leq 0,05$). A média do total acumulado de NPA dos tratamentos adubados com N nos estádios V12, R3 e R6 foi de 97, 202 e 239 kg ha^{-1} , respectivamente, e o acúmulo médio de NPA nos grãos no estágio R6 para os tratamentos adubados com N foi de 166 kg ha^{-1} que equivaleu a 69% do NPA total acumulado, como pode ser observado na Figura 11 (N). O tratamento controle apresentou um acúmulo total de NPA, no estágio R6 de 128 kg ha^{-1} , e o acúmulo de NPA nos grãos foi de 96 kg ha^{-1} que equivaleu a 75% do acúmulo total de nitrogênio conforme Figura 12 (N). A TMA de N no LVAd para os tratamentos adubados com N foi de $2,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ quando o milho havia atingido 974 GDD_C e o tratamento controle apresentou TMA de $1,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ quando o milho havia atingido 1119 GDD_C (Tabela 6).

No LVd, na Tabela 7, pode ser observado no estágio V4 que o tratamento com 100% U apresentou maior acúmulo de NPA (19 kg ha^{-1}) que o tratamento controle (9 kg ha^{-1}) e o UMC (12 kg ha^{-1}) que se igualou ao tratamento controle ($p \leq 0,05$). Nos estádios R3 e R6 os acúmulos totais de NPA de todos os tratamentos foram similares ($p \leq 0,05$) e apresentaram médias totais de acúmulo de NPA, respectivamente, de 190 e 229 kg ha^{-1} e a média de acúmulo de NPA nos grãos foi de 146 kg ha^{-1} que correspondeu a 63% do acúmulo total de nitrogênio conforme Figura 13 (N). A TMA no LVd para todos os tratamentos foi de $2,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Tabela 6).

Durante o enchimento de grãos existem duas fontes de nitrogênio para as plantas, sendo o nitrogênio absorvido do solo e o nitrogênio remobilizado (TA; WEILAND, 1992). Para calcular a remobilização de nutriente da folha (F), colmo (C) ou sabugo (S) para os grãos pelo método da diferença, seriam necessários os valores de acúmulo de nutriente no estágio R1 (florescimento) e R6, bem como o acúmulo de nutriente nos grãos em R6 (DORBAS, 2009; DEBRUIN et al., 2013; CIAMPITTI et al., 2013a; 2013b). Para este estudo não foi realizado uma coleta em R1. O nitrogênio inicia a remobilização para os grãos a partir de R2 (SAYRE, 1948; HANWAY, 1962b; HANWAY, 1963; KARLEN et al., 1988). Como somente tem-se os dados de coleta de R3 e R6 para F, C e S, na Tabela 7, e considerando o LVAd, em que pode ser observado que não ocorreu diferença ($p \leq 0,05$) nos acúmulos de F, C

e S entre os tratamentos com N em R3 e R6, se for subtraído a média do somatório de F+C+S de R3 por R6 desses tratamentos, chega-se ao valor de 59 kg ha^{-1} de nitrogênio que pode corresponder uma parte do que foi remobilizado para os grãos nesse período, correspondendo a 35% (Figura 11 (N)). Considerando o mesmo cálculo para o tratamento controle no LVAd tem-se um valor de 39 kg ha^{-1} de nitrogênio que correspondeu a 40% do que foi remobilizado para os grãos (Figura 12 (N)); no LVd tomando como base a média de todos os tratamentos e usando o mesmo cálculo chega-se a 67 kg ha^{-1} de N correspondendo a 45% do que foi remobilizado para os grãos (Figura 13 (N)).

Bender et al. (2013), para os híbridos modernos de milho encontraram o valor de 63% do que foi remobilizado de N para os grãos, considerando R1 a R6. Ta e Weiland (1992), avaliando a taxa de remobilização de nitrogênio em milho, usando ^{15}N , observou que as folhas e os caules forneceram cerca de 45% do nitrogênio remobilizado durante o enchimento dos grãos, enquanto que as raízes contribuíram com 10%. Quando o N do solo e a remobilização são insuficientes para sustentar a demanda de nitrogênio para os grãos, ocorre uma aceleração no processo de senescência foliar, aumentando a remobilização do nitrogênio das folhas, e em menor número, do caule (BORREL; HAMMER, 2000), que pode ser observado no tratamento controle no LVAd (Figura 12 (N)).

Com a função usada para criação dos modelos pode ser observado ainda uma ligeira queda no acúmulo das MSPA de R3 a R6 (Figura 10 (A,B e C)), especificamente de folhas, que pode estar relacionado com a queda de folhas senescentes e possíveis perdas por lixiviação de potássio das mesmas (Figura 11, 12 e 13 (K)) (MORAES; ARENS, 1969; KARLEN et al., 1987; KARLEN et al., 1988; BENDER, 2012). Para todos os macronutrientes ocorreram pequena perda por senescência e queda de folhas. No caso do nitrogênio, ocorreu também a perda de amônia pelas folhas senescentes (FARQUHAR et al., 1979; FRANCO et al., 2008).

González Villalba (2013), neste mesmo experimento de pesquisa, avaliando o comportamento do nitrogênio mineral no solo observou que no LVAd, no estágio V4, os tratamentos em que foram aplicados URP apresentaram maior teor de nitrogênio mineral na camada 0-20 cm e 20-40 cm que os tratamentos controle e UMC, enquanto o tratamento com 100% U apresentou maior teor de nitrogênio mineral que todos os tratamentos nas duas camadas nesse estágio, sendo que na camada superficial havia mais amônio e na profunda mais nitrato; em V14, em função da aplicação da adubação de cobertura do tratamento com UMC, foi observado maior concentração de N mineral nas camadas superficiais nesse tratamento, sendo que o tratamento com 100% U apresentou os menores teores. Em R4, na

camada de 0-10 cm, o tratamento com 100% URP apresentou o maior teor de nitrogênio mineral. No LVd, na camada 0-20 cm em V4, o tratamento com 100% U apresentou maior quantidade de nitrogênio mineral que os demais tratamentos e nas camadas mais profundas foi encontrada quantidade similar aos tratamentos com URP, sendo que na camada superficial havia mais amônio e na profunda mais nitrato; em V12, nas camadas mais superficiais observou teores de nitrogênio mineral similares para a URP e a UMC e nas camadas mais profundas foi observado maiores teores para o tratamento com 100%U; por outro lado, em R3, na camada de 0-10 cm, os tratamentos com URP apresentaram maiores teores de nitrogênio mineral.

Considerando a pluviosidade, o acúmulo de NPA e o comportamento do nitrogênio mineral no solo, tem-se que:

1) No LVAd, entre a semeadura e o estágio V4 a pluviosidade foi de 263 mm, o acúmulo de NPA do tratamento com 100% URP foi superior ao tratamento com UMC em V4, os teores de nitrogênio mineral no solo, segundo González Villalba (2013) para os tratamentos com URP foram superiores ao tratamento com UMC e todos foram inferiores ao tratamento com 100% U em V4, e a quantidade de nitrato foi superior a de amônio na camada mais profunda.

2) No LVd, entre a semeadura e o estágio V4, a pluviosidade foi de 216 mm, o acúmulo de NPA do tratamento com 100% U foi superior ao tratamento com UMC, e o tratamento com 100% U, segundo González Villalba (2013) , apresentou maior concentração de N mineral na camada superficial que os demais tratamentos, e a quantidade de nitrato na camada mais profunda foi superior a de amônio.

Dessa forma, como o fertilizante foi incorporado, minimizando as perdas por volatilização da amônia da fonte ureia (LARA CABEZAS et al., 2000; TRIVELIN et al., 2002) pode-se supor que a elevada pluviosidade solubilizou a ureia e o nitrato percolou no perfil do solo (LARA CABEZAS et al., 2005) no LVAd. Terry e McCants (1970), observaram em um solo arenoso nos Estados Unidos da América que a lixiviação de nitrato atingiu taxas variando de 1 a 5 mm mm⁻¹ de chuva, enquanto em um solo argiloso no cerrado brasileiro foi observado valor de 1,5 mm mm⁻¹ de chuva (SUHET; PERES; VARGAS, 1986). A textura do solo influencia a lixiviação, que é superior em solos arenosos, devido a menor microporosidade (CANTARELLA, 2007). Como o LVd, por ser um solo argiloso, e possuir maior capacidade de armazenamento de água que solos como o LVAd, reduzindo a percolação de água pelo perfil e o arraste de íons para camadas mais profundas (LEPSCH, 2011), como o nitrato, isso explicaria o maior acúmulo de NPA do tratamento com 100% U

em comparação ao tratamento com UMC no LVd, e também o maior acúmulo de NPA do tratamento com 100% URP em comparação ao tratamento com UMC no LVAd. No tratamento com UMC, no estágio V4, parece que a quantidade de ureia não foi suficiente para as plantas. Em V4, para os tratamentos com URP+U no LVAd, pode-se inferir que a planta aproveitou a maior parte do nitrogênio da URP, uma vez que essa fonte liberou gradativamente o nutriente por difusão dos grânulos para a solução do solo, não ocorrendo movimento vertical do grânulo (TRENKEL, 2010), a U solubilizou e percolou para camadas mais profundas como nitrato (LARA CABEZAS et al., 2005), e a URP por estar em maior concentração na camada superficial e o sistema radicular, provavelmente ainda pouco desenvolvido, aproveitou melhor o N dessa fonte. Uma hipótese para o tratamento com 100% U no LVAd é que com a chuva o N percolou como nitrato e com o secamento do solo na superfície ou a absorção de água pelas plantas, o potencial de água no solo nas camadas superficiais tornou-se inferior ao do subsolo, ocorrendo ascensão capilar e os íons presentes na solução do solo subiram ou mesmo permaneceram próximo das raízes (CANTARELLA, 2007), uma vez que esse tratamento possuía maior concentração de U (pronta liberação) que os demais tratamentos. Possivelmente isso também ocorreu para a quantidade de 36 kg ha⁻¹ de nitrogênio que continha na primeira aplicação da UMC e para o nitrogênio da U das misturas de U+URP, porém estando em menor quantidade na solução do solo e sendo aproveitado em menor quantidade pelas plantas.

Do estágio V12 ao R6, em que os acúmulos totais de NPA foram similares para todos os tratamentos com N no LVAd, isso pode ter ocorrido devido ao tratamento com UMC receber uma adubação nitrogenada de cobertura em V4 (144 kg ha⁻¹ de N) e as plantas explorarem o nutriente tanto da camada superficial como das camadas mais profundas, sendo que o sistema radicular, possivelmente, estava mais desenvolvido que no estágio V4 e apesar de o nitrato ter percolado no início do ciclo, como ocorre em muitos solos tropicais, e por possuírem horizontes subsuperficiais com cargas positivas (RAIJ; CAMARGO, 1974), possivelmente a lixiviação foi retardada e as raízes exploraram o nutriente que percolou no início do ciclo. No tratamento com 100% U as plantas possivelmente passaram a explorar mais o nitrogênio mineral das camadas mais profundas, e nos tratamentos com URP+U as raízes passaram a explorar o nitrogênio da URP da camada mais superficial e o nitrogênio que possivelmente percolou no início do ciclo para as camadas mais profundas. Quando ocorreu a TMA de N não faltou esse nutriente em nenhum dos tratamentos com nitrogênio. No LVd, de V12 a R6, o solo passou a suprir a necessidade das plantas com a provável elevada capacidade de mineralização da MOS, juntamente com o nitrogênio do fertilizante, uma vez

que não ocorreu diferença de acúmulo de NPA ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos com N e o controle, não faltando o nutriente para as plantas quando no estágio da TMA para nitrogênio.

Schoninger (2014), avaliando diferentes épocas de aplicação de ureia no milho, observou acúmulo total de NPA na faixa de 191 e 195 kg ha⁻¹, com 56 a 67% do total de nitrogênio acumulado nos grãos, e valores de TMA de N na faixa de 2,5 a 4,1 kg ha⁻¹dia⁻¹, ocorrendo entre V8 e V12. Bender et al. (2013), avaliando híbridos modernos de milho, observaram acúmulo total de NPA de 286 kg ha⁻¹, sendo que nos grãos o acúmulo foi de 58% do total de nitrogênio e a TMA de nitrogênio foi de 8,9 kg ha⁻¹dia⁻¹, ocorrendo entre V10 e V14. Gava (2003), avaliando doses de nitrogênio no milho, observou acúmulo de NPA na faixa de 148 a 277 kg ha⁻¹, com 60 a 76% do total de nitrogênio acumulado nos grãos, e valores de TMA de nitrogênio na faixa de 3,65 a 6,47 kg ha⁻¹dia⁻¹ ocorrendo 30 a 40 dias após a emergência do milho.

Os resultados evidenciaram que tanto no LVAd quanto no LVd a TMA de nitrogênio ocorreu em época próxima com as encontradas por outros autores, sendo importante não faltar N para a cultura nesse período, ou seja entre os estádios V7 e V14, conforme o conjunto das observações de vários autores e também neste trabalho. Os tratamentos com misturas de URP+U se mostraram eficientes em fornecer nitrogênio nessa fase no LVAd, e nas outras fases de menor acúmulo diário que ocorrem antes e depois da TMA de N, assim como o tratamento com 100%U e UMC também apresentaram características semelhantes. A mistura de URP + U pode ser uma alternativa de fornecimento de nitrogênio para o milho considerando solos similares ao LVAd, e baseado no acúmulo de NPA pode-se inferir que quanto mais URP tiver na mistura de URP+U em condições de elevada pluviosidade no início do desenvolvimento, o aproveitamento pela planta em V4 parece ser mais eficiente, podendo ser melhor avaliado o comportamento das misturas nesse período em solos como o LVAd, em condições com alta e baixa pluviosidade.

4.1.3.3 Acúmulo e particionamento de fósforo

Na Tabela 8 podem ser observados os valores do acúmulo de fósforo na parte aérea (PPA) em kg ha⁻¹ nas frações da planta (folha, colmo, sabugo e grão) nos estádios fenológicos do milho V4, V12, R3 e R6, bem como os acúmulos totais de PPA, nos tratamentos com diferentes proporções da mistura de URP + U, no LVAd e LVd.

No LVAd (Tabela 8) no estágio V4 não ocorreram diferenças de acúmulo total de PPA entre os tratamentos ($p \leq 0,05$), com acúmulo médio de 1 kg ha⁻¹. Em V12, com exceção

Tabela 8 - Acúmulo de fósforo (kg ha⁻¹) nas frações ou partes de plantas de milho (folhas (F), colmo (C), sabugo (S) e grãos (G)) nos estádios V4, V12, R3 e R6 do milho em tratamentos com diferentes proporções da mistura de ureia (U) com ureia revestida com enxofre e polímero (URP) em solos distintos.

Trat.*	Estádio fenológico													
	V 4		V12		R3					R6				
	Fração da planta													
	total	F	C	total	F	C	S	G	total	F	C	S	G	total
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico														
1	0,6±0,1 €	4,8±0,4b	0,9±0,1b	5,8±0,4b	8,2±0,6b	1,9±0,2	2,4±0,3	3,4±0,4c	16,1±1,2b	1,5±0,3	0,4±0,1	0,5±0,1	18,7±3,3	21,3±3,8
2	1,4±0,2	10,8±0,2a	2,1±0,1a	12,9±0,2a	10,6±0,2ab	1,5±0,2	3,1±0,2	5,7±0,1ab	20,8±0,5ab	1,8±0,4	0,6±0,1	0,5±0,1	20,1±2,6	22,9±3,1
3	0,9±0,2	8,4±0,7ab	2,1±0,1a	10,4±0,9a	13,3±0,9a	2,1±0,2	3,6±0,3	4,9±0,4bc	23,9±1,4a	1,3±0,6	0,9±0,1	0,6±0,1	27,6±4,3	30,5±4,1
4	1,1±0,2	9,4±0,7a	2,1±0,3a	11,4±0,9a	10,8±0,8ab	1,9±0,1	3,1±0,3	4,5±0,3bc	20,4±1,3ab	2,3±0,3	1,1±0,2	0,7±0,1	27,6±1,6	31,7±1,9
5	1,3±0,4	8,3±0,4ab	1,7±0,2ab	10,1±0,4ab	11,3±1,9ab	1,8±0,4	3,2±0,8	4,9±0,2bc	21,3±3,3ab	2,5±0,4	0,8±0,1	0,8±0,1	25,4±1,7	29,7±2,1
6	1,1±0,2	9,1±0,7a	2,1±0,2a	11,1±0,6a	10,9±0,9ab	1,8±0,2	3,3±0,1	5,5±0,3ab	21,7±0,8ab	2,1±0,1	0,8±0,2	0,5±0,1	24,3±2,1	27,7±2,4
7	1,1±0,1	9,7±0,5a	2,1±0,1a	11,7±0,4a	11,1±0,7ab	2,1±0,1	3,4±0,3	5,4±0,3ab	22,1±0,7ab	2,4±0,1	0,9±0,1	0,8±0,2	21,4±6,2	28,4±6,4
8	1,2±0,2	11,4±1,3a	2,5±0,4a	13,9±1,6a	11,4±0,7ab	1,9±0,3	3,4±0,2	6,7±0,3a	23,6±1,1a	2,5±0,4	1,1±0,2	0,6±0,1	24,2±3,2	24,1±3,6
9	0,7±0,1	8,1±1,2ab	1,6±0,1ab	9,7±1,1ab	11,3±0,4ab	1,7±0,1	3,2±0,1	5,8±0,4ab	22,1±0,7ab	2,3±0,4	0,7±0,1	0,5±0,1	20,5±1,5	24,1±2,1
p**	0,2	0,001	0,002	0,001	0,2	0,8	0,4	0,001	0,06	0,2	0,06	0,1	0,4	0,4
Latossolo Vermelho distrófico														
1	1,1±0,1	7,1±0,6b	1,3±0,1b	8,4±0,7b	11,9±0,9c	2,8±0,2	4,7±0,5	4,3±1,1	23,9±0,9	3,2±0,4	0,9±0,1	0,8±0,1	23,1±3,4	28,1±3,7
2	1,1±0,1	8,9±0,6ab	1,7±0,2ab	10,6±0,8ab	13,3±0,5abc	2,9±0,1	4,8±0,4	5,8±1,4	26,9±1,9	3,5±0,3	1,2±0,1	0,8±0,2	22,9±1,5	28,5±1,3
3	1,4±0,1	8,8±0,2ab	1,9±0,2ab	10,7±0,3ab	14,6±1,1abc	3,5±0,2	4,5±0,3	7,1±1,1	29,6±2,1	3,6±0,2	1,1±0,2	0,7±0,1	20,5±1,3	26,1±1,7
4	1,5±0,1	9,9±0,5a	2,1±0,3ab	12,1±0,7a	14,2±0,4abc	3,6±0,1	4,6±0,3	6,1±1,4	28,7±1,3	3,5±0,2	1,4±0,3	0,8±0,1	27,4±2,1	33,3±2,3
5	1,2±0,1	8,4±0,4ab	1,7±0,1ab	10,2±0,4ab	13,8±0,8abc	2,8±0,3	5,3±0,4	6,2±0,8	28,1±1,8	3,2±0,3	0,9±0,2	0,8±0,1	22,1±0,6	27,1±0,7
6	1,4±0,2	8,2±0,3ab	1,5±0,1ab	9,8±0,4ab	14,2±1,1abc	3,2±0,1	5,1±0,4	8,1±0,4	30,6±1,4	3,9±0,4	1,4±0,1	1,1±0,1	27,7±2,8	34,3±2,8
7	1,5±0,1	9,4±0,9ab	2,2±0,2a	11,7±1,1a	15,3±0,3ab	3,9±0,3	4,2±0,4	4,6±0,4	28,1±0,7	3,4±0,3	1,1±0,1	0,6±0,2	24,1±1,6	29,2±1,9
8	1,5±0,1	9,5±0,6ab	2,1±0,1ab	11,5±0,7ab	16,5±0,4a	4,2±0,3	4,3±0,4	4,4±0,6	29,6±1,2	3,4±0,1	0,9±0,1	1,2±0,4	20,6±3,1	26,3±3,4
9	1,2±0,1	8,6±0,5ab	1,8±0,1ab	10,5±0,5ab	14,7±0,4abc	4,1±0,8	3,7±0,4	4,4±0,2	27,1±1,7	3,9±0,2	1,1±0,1	0,9±0,1	24,8±1,1	30,7±1,3
p**	0,06	0,04	0,02	0,02	0,002	0,06	0,1	0,06	0,1	0,5	0,2	0,3	0,2	0,2

*Tratamento: 1 = controle; 2 = 100% URP; 3 = 90% URP + 10% U; 4 = 80% URP + 20% U; 5 = 70% URP + 30% U; 6 = 60% URP + 40% U; 7 = 50% URP + 50% U; 8 = 100% U; 9 = ureia em manejo convencional. **p = probabilidade do teste F; letras minúsculas comparam as médias dos tratamentos em cada coluna e em cada solo (p ≤ 0,05). € m ± epm (média ± erro padrão da média). V4 = quatro folhas totalmente expandidas; V12 = doze folhas totalmente expandidas; R3 = grãos leitosos; R6 = maturação fisiológica.

dos tratamentos 70%URP + 30%U e UMC, os demais apresentaram maior acúmulo de PPA (11,6 kg ha⁻¹) que o controle (5,8 kg ha⁻¹); os tratamentos com nitrogênio não apresentaram diferença entre si ($p \leq 0,05$). No estágio R3, com exceção dos tratamentos 90%URP + 10%U e 100%U, os adubados com N apresentaram acúmulo de PPA similar ao controle, sendo a média dos tratamentos de 21,3 kg ha⁻¹. Em R6, não se constatou diferença de acúmulo de PPA em nenhum dos compartimentos da planta e a média do acúmulo total de PPA para os tratamentos foi de 26,7 kg ha⁻¹. O PPA médio nos grãos ao fim do ciclo do milho entre os tratamentos com N foi de 23,3 kg ha⁻¹, o que correspondeu a 87% do PPA total acumulado (Figura 11 e 12 (P)). A TMA de fósforo para os tratamentos adubados com N no LVAd foi de 0,3 kg ha⁻¹dia⁻¹ quando as plantas atingiram 989 GDD_C e a do controle foi de 0,2 kg ha⁻¹dia⁻¹ com 1133 GDD_C (Tabela 6). A interação do N com P é conhecida há muito tempo, podendo ser observados vários casos para cultura do milho em Büll (1993), e essa interação promove maior produtividade do que aquela obtida com a aplicação isolada de cada nutriente (DAVIDSON; HOWARTH, 2007). Para se ter uma ideia da relação entre esses nutrientes obtida neste trabalho, dividindo a média do acúmulo total do NPA pela média do PPA em R6 dos tratamentos adubados com nitrogênio no LVAd, tem-se uma relação N:P de 9:1, e para o tratamento controle 6:1.

No LVd, na Tabela 8, praticamente não foram observadas diferenças no acúmulo total de PPA ($p \leq 0,05$) no fim do ciclo do milho, sendo que em média nos estádios V4, V12, R3 e R6 ocorreram acúmulos totais de PPA de 1,3, 10,6, 28 e 29 kg ha⁻¹, respectivamente. O acúmulo de PPA nos grãos foi de 23,6 kg ha⁻¹ correspondendo a 80% do PPA total acumulado (Figura 13 (P)). A TMA de fósforo, considerando todos os tratamentos no LVd, foi de 0,5 kg ha⁻¹ dia⁻¹ quando as plantas estavam com 991 GDD_C. Considerando todos os tratamentos, a relação da média do acúmulo de NPA e PPA foi de 8:1.

A remobilização do fósforo para os grãos, assim como a do nitrogênio, ocorre a partir de R2 (SAYRE, 1948; HANWAY, 1962b; HANWAY, 1963; KARLEN et al., 1988).

Realizando o mesmo cálculo usado para o nitrogênio (item anterior) para estimar a parte do nutriente que foi remobilizado para os grãos da F+C+S de R3 a R6, observa que os tratamentos adubados com N no LVAd apresentaram, em média, 12,9 kg ha⁻¹ de fósforo que pode corresponder uma parte do que foi remobilizado para os grãos, e que correspondeu a 53% (Figura 11 (P)), enquanto no controle foi de 10,1 kg ha⁻¹ de P e equivalente a 47% do remobilizado (Figura 12 (P)). No LVd considerando todos os tratamentos, observou-se o valor de 16,8 kg ha⁻¹, correspondendo a 57% (Figura 13 (P)).

Bender et al. (2013), encontrou como valor médio de acúmulo de PPA, no estágio R6, em híbridos modernos de milho 114 kg ha^{-1} de P_2O_5 , equivalente a 50 kg ha^{-1} de P, considerando que foi aplicado 168 kg ha^{-1} de P_2O_5 na semeadura e 319 kg ha^{-1} de N. O acúmulo médio de PPA nos grãos foi de 79% do PPA total acumulado, sendo que 57% e 77% do acúmulo total de fósforo nas folhas e colmos respectivamente, foram translocados para os grãos a partir de R1. A TMA de fósforo foi de $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, que ocorreu entre V10 e V14. Calculando-se a relação do acúmulo de NPA e PPA no trabalho desses autores tem-se a relação N: P de 6:1. Sandras (2006) obteve a relação N:P de 6:1 para cereais e Ciampitti e Vyn (2014) obtiveram uma relação 5:1 para a cultura do milho em uma análise histórica com diversos países sendo considerado, para ambos os trabalhos cultivos de milho de elevada produtividade.

Pode ser observado neste estudo e no estudo de Bender et al. (2013) que o fósforo, bem como o nitrogênio, apresentaram nos grãos grande parte da porcentagem do nutriente total acumulado na planta toda e, também, a maior parte desse acúmulo nos grãos ocorrem por remobilização a partir de R2, sendo que o restante deu-se pela absorção do P do solo, com assimilação após o florescimento, sendo que a planta continuou absorvendo o nutriente do solo próximo da maturidade fisiológica dos grãos, sem redução visível no final do ciclo (KARLEN et al., 1987; LOUÉ, 1963). Sabe-se que é importante não faltar P para as plantas de milho entre V10 e V14 que é quando ocorre a TMA desse nutriente. Neste trabalho, em V12 no LVAd, observou-se que para os tratamentos com nitrogênio, na maioria dos casos, a resposta para o acúmulo total de P foi superior que no controle, o que indica que quando ocorreu a TMA de P, que coincide com a do N, os tratamentos com nitrogênio favoreceram o aproveitamento desse nutriente.

Observando as relações N:P apresentadas neste trabalho com as que foram apresentadas por autores de trabalhos na literatura e principalmente a de Bender et al. (2013), pode-se constatar que neste trabalho o acúmulo total de P ($26,7 \text{ kg ha}^{-1}$), mesmo sendo igual nos tratamentos com N e o controle, foi abaixo do verificado por Bender et al. (2013) (50 kg ha^{-1}), fazendo com que a relação N:P dos tratamentos adubados com nitrogênio resultassem em relação de 9:1, como função desse menor acúmulo comparado com a dos autores citados. A relação N:P deste trabalho ficou acima das observadas por outros autores, em estudos mais abrangentes, em trabalhos com acúmulos de N e P, e elevada produtividade de grãos na cultura do milho. Entretanto, apesar disso, a relação de 9:1 encontrada esta adequada para este estudo, considerando a quantidade total acumulada de MSPA, o acúmulo de N e a produtividade de grãos, sendo o acúmulo de PPA obtido, considerado adequado para o bom

desenvolvimento da planta (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1989; PAIS; JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004). O acúmulo de PPA ainda está um pouco abaixo em relação ao que se constata em trabalhos não atuais com a cultura de milho, que mostram para a produtividade de 10 Mg ha⁻¹ de grãos de milho são extraídos 217 kg ha⁻¹ de N e 42 kg ha⁻¹ de P (COELHO; FRANÇA, 1995), resultando na relação N:P de 5:1. Resultados próximos são encontrados em Phillips e Lessman (1972), citado por Gamboa (1980), que mostrou que para uma produtividade de 9 Mg ha⁻¹ foram acumulados 190 kg ha⁻¹ de NPA e 39 kg ha⁻¹ de PPA, resultando em relação aproximada de 5:1.

Todos esses resultados mostram que apesar da quantidade de 130 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples aplicado neste experimento, pode ter havido adsorção do fósforo no solo, ficando o nutriente menos disponível para as plantas e, consequentemente, acumulando menos, causando aumento da relação N:P, uma vez que mais de 90% do fósforo aplicado por meio de uma fonte solúvel é adsorvido na primeira hora de contato com o solo (GONÇALVES et al., 1985). No caso do tratamento controle no LVAd, como não foi aplicado nitrogênio e o acúmulo de NPA foi baixo, a relação N:P foi de 6:1 devido a baixa quantidade de acúmulo de NPA, e consequentemente resultou em menor produtividade de grãos (Tabela 4). No LVd, em V12, como a maioria dos tratamentos com adubação nitrogenada foram similares ao controle no acúmulo total de PPA isso pode indicar que o fornecimento de N pelo solo contribuiu para o acúmulo, não havendo diferença no acúmulo total entre os tratamentos no final do ciclo da cultura, e a relação N:P também apresentou valor superior ao encontrado por outros autores já citados, em função do acúmulo de fósforo, podendo estar relacionado com a adsorção nesse solo também. Outra hipótese poderia estar relacionada ao híbrido de milho utilizado que apresentaria essa característica para essa relação, uma vez que o valor do acúmulo de PPA e NPA foram parecidos nos dois solos. Apesar disso, os tratamentos com as misturas de URP+U e os demais tratamentos com N foram eficientes no LVAd.

4.1.3.4 Acúmulo e particionamento de potássio

Na Tabela 9 constam os resultados de acúmulo de potássio na parte aérea (KPA), em kg ha⁻¹, nas frações da planta (folha, colmo, sabugo e grão) nos estádios fenológicos do milho: V4, V12, R3 e R6, bem como os acúmulos totais de KPA em cada estágio fenológico, nos tratamentos com diferentes proporções da mistura de URP + U, no LVAd e LVd.

Tabela 9 - Acúmulo de potássio (kg ha⁻¹) nas frações ou partes de plantas de milho (folhas (F), colmo (C), sabugo (S) e grãos (G)) nos estádios V4, V12, R3 e R6 do milho em tratamentos com diferentes proporções da mistura de ureia (U) com ureia revestida com enxofre e polímero (URP) em solos distintos.

Trat.*	Estádio fenológico													
	V 4	V12			R3			R6						
	Fração da planta													
	total	F	C	total	F	C	S	G	total	F	C	S	G	total
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico														
1	8±1b €	54±8b	15±4b	69±11b	62±6b	13±2b	9±1b	11±1c	95±11b	8±2	15±4	5±1c	34±16	62±22
2	19±3a	106±4a	53±4a	159±7a	114±8a	27±2a	14±1a	19±1ab	174±10a	12±2	21±4	7±1abc	22±1	62±2
3	15±2ab	101±4a	48±1a	149±5a	113±7a	30±1a	14±1a	17±1ab	174±8a	16±3	27±4	8±1ab	31±6	83±13
4	14±1ab	112±11a	56±3a	168±14a	124±9a	29±2a	14±1a	15±1bc	182±13a	19±2	33±4	9±1a	30±1	88±6
5	17±4ab	103±6a	47±4a	150±10a	115±11a	27±2a	14±2a	16±2abc	172±16a	18±2	28±3	9±1a	27±3	82±7
6	15±1ab	117±7a	55±6a	172±12a	126±2a	25±1ab	15±1a	16±1abc	182±2a	13±3	28±5	7±1abc	25±3	73±11
7	13±2ab	120±2a	54±5a	174±3a	126±3a	32±2a	14±1a	18±1ab	190±6a	16±2	37±5	8±1ab	27±3	88±8
8	17±3ab	125±14a	54±11a	179±24a	131±2a	35±5a	16±1a	21±1a	203±7a	17±3	33±4	7±1abc	27±3	84±5
9	10±1ab	99±1a	43±2a	142±2a	120±6a	31±3a	14±1a	18±2ab	183±7a	16±4	26±5	6±1bc	22±1	70±10
p**	0,03	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,001	0,001	0,07	0,06	0,001	0,8	0,5
Latossolo Vermelho distrófico														
1	17±2b	80±3	40±4	120±7	92±3c	21±2c	14±1ab	11±2c	138±6b	17±1	18±2ab	9±1	22±3	66±4
2	20±2ab	86±7	52±7	138±13	103±6bc	29±3abc	15±1ab	18±4abc	165±13ab	18±2	19±1ab	7±1	23±2	67±3
3	24±2ab	87±3	52±3	139±5	116±4abc	27±1abc	14±1ab	22±4a	179±7a	18±2	18±2ab	7±1	23±1	66±3
4	23±1ab	101±7	57±13	158±18	111±4abc	29±4abc	14±1ab	20±3ab	174±7ab	17±1	23±4ab	7±1	28±2	75±5
5	21±1ab	88±4	48±2	136±4	118±4ab	25±3bc	16±1a	19±2abc	178±9a	15±2	16±1b	7±1	25±1	63±2
6	23±2ab	82±5	41±3	123±7	113±5abc	22±1c	17±2a	19±2abc	171±4ab	18±1	22±3ab	9±1	27±2	76±5
7	27±1a	100±6	62±4	162±9	129±5a	34±2ab	11±1bc	12±1bc	187±5a	16±1	28±4ab	8±1	28±2	80±6
8	25±1ab	97±4	53±3	150±7	131±3a	31±2abc	11±1bc	13±1abc	181±2a	18±2	20±1ab	7±1	22±3	67±6
9	20±2ab	101±7	56±3	157±8	131±10a	38±2a	10±1c	13±2abc	192±12a	19±2	31±4a	8±1	26±1	84±4
p**	0,04	0,06	0,2	0,06	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,6	0,01	0,2	0,2	0,06

*Tratamento: 1 = controle; 2 = 100% URP; 3 = 90% URP + 10% U; 4 = 80% URP + 20% U; 5 = 70% URP + 30% U; 6 = 60% URP + 40% U; 7 = 50% URP + 50% U; 8 = 100% U; 9 = ureia em manejo convencional. **p = probabilidade do teste F; letras minúsculas comparam as médias dos tratamentos em cada coluna e em cada solo (p ≤ 0,05). € m ± epm (média ± erro padrão da média). V4 = quatro folhas totalmente expandidas; V12 = doze folhas totalmente expandidas; R3 = grãos leitosos; R6 = maturação fisiológica.

Em V4 no LVAd (Tabela 9) os tratamentos com nitrogênio não apresentaram diferença entre si, e o tratamento com 100% URP apresentou maior acúmulo de KPA (19 kg ha^{-1}) comparado ao controle (8 kg ha^{-1}). Em V12 e R3, os tratamentos com N não apresentaram diferença entre si no total acumulado de KPA e todos foram superiores ao controle, apresentando em V12, em média, 161 kg ha^{-1} de K nos tratamentos com N e 69 kg ha^{-1} de K no controle, e em R3: 182 e 95 kg ha^{-1} de K, respectivamente. Em R6, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos com relação ao acúmulo total de KPA, resultando em média 76 kg ha^{-1} de K ($p \leq 0,05$). A redução no acúmulo total de KPA de R3 a R6 está diretamente relacionada com a queda de acúmulo do nutriente nas folhas nesse período, sendo que em R3 observou-se para os tratamentos adubados com N a média de 121 kg ha^{-1} de K acumulado nas folhas e 62 kg ha^{-1} no controle, e em R6 todos os tratamentos apresentaram, na média, 15 kg ha^{-1} de K.

Diferente do nitrogênio e do fósforo, o potássio remobiliza pouco das folhas e colmos para os grãos sendo a maior parte do acúmulo nos grãos proveniente do potássio do solo, ocorrendo assimilação pela planta a partir de R2 como foi observado por Bender et al. (2013), Karlen et al. (1988), Hanway (1962) e Sayre (1948). Apesar da mobilidade do potássio na planta, a maior parte do nutriente acumulada durante o período vegetativo do milho, ficou nas folhas e no colmo; além disso, o potássio é metabolizado na planta formando ligações com moléculas orgânicas de fácil reversibilidade, sendo o íon mais abundante nas células vegetais (MARSCHNER, 1995). Portanto, uma hipótese para a redução no acúmulo de potássio nas folhas do milho de R3 a R6 seria que boa parte do nutriente foi lixiviado com a água das chuvas. Moraes e Arens (1969) mostraram que esse nutriente lixiviou consideravelmente das folhas de plantas cultivadas quando foram imersas em água destilada, mostrando que isso pode ocorrer no campo com a ação da água da chuva ou orvalho, e no período de R3 a R6 apesar de ter ocorrido alguns dias de estiagem, ocorreram dias com elevada pluviosidade, como pode ser observado na Figura 1 (A).

Observando as médias e os erros padrões das médias no K acumulado nos grãos em R3 e R6 (Tabela 9) percebe-se que ocorreu aumento no acúmulo em R6 e que apesar da possível lixiviação de potássio ocorrida nas folhas, o solo forneceu o nutriente nesse período, ocorrendo em R6 um acúmulo médio nos grãos de 27 kg ha^{-1} o que correspondeu a 35% do acúmulo total de KPA (Figura 11 e 12 (K)), mesmo considerada a redução no acúmulo de K nas folhas, sendo que essa porcentagem poderia ter sido menor. Não ocorreu ajuste do modelo para o cálculo da TMA de potássio, provavelmente em função da queda do acúmulo do potássio nas folhas.

Como existe a interação do nitrogênio com o fósforo, como discutido anteriormente, existe também a interação do nitrogênio com o potássio, normalmente não ocorrendo competição entre eles, sendo que um elemento aumenta a demanda pelo outro, podendo ocorrer deficiência de um dos elementos por efeito diluição, e o baixo fornecimento ou falta de um deles no solo pode reduzir o acúmulo do outro e na produtividade (CANTARELA, 2007). A relação N:K no LVAd, considerando os acúmulos totais de NPA e KPA em R3 e R6, foi de 1:1 tanto para os tratamentos adubados com N quanto para o controle em R3, e em R6 foi de 3:1 para os tratamentos com nitrogênio e de 2:1 para o controle.

No LVd (Tabela 9) observa-se que em V4 não ocorreu diferença de acúmulo de KPA entre os tratamentos com N, e o tratamento 50%URP + 50%U (27 kg ha^{-1}) foi maior que o do controle (17 kg ha^{-1}). Em V12, não ocorreu diferença entre os tratamentos e o acúmulo total de KPA, médio foi de 142 kg ha^{-1} . Em R3, apesar de ocorrer diferenças entre alguns tratamentos com N e o controle no acúmulo total de KPA, em média o acúmulo foi de 178 kg ha^{-1} de K para os tratamentos com nitrogênio e de 138 kg ha^{-1} para o controle. Em R6 não foi observado diferença entre os tratamentos no acúmulo total de KPA resultando em média de 71 kg ha^{-1} , sendo que nos grãos correspondeu a 35% do KPA total acumulado (Figura 13 (K)). Da mesma forma que ocorreu no LVAd, pode ser observada redução no acúmulo total de KPA de R3 para R6 que também ocorreu devido a redução no acúmulo de potássio nas folhas, pela possível lixiviação em decorrência de alguns dias com elevada pluviosidade nesse período (Figura 1 (B)); também pode ser observado aumento de acúmulo de potássio nos grãos de R3 a R6 baseado nas médias e nos erros padrões das médias, que possivelmente ocorreu pelo fornecimento de potássio do solo. Não ocorreu ajuste do modelo para o cálculo da TMA de potássio. A relação N:K para os tratamentos adubados com N e para o controle em R3 foi de 1:1, e em R6 foi de 3:1 e 4:1, respectivamente.

Bender et al. (2013) encontraram valor médio de acúmulo de KPA total no estágio R6 para os híbridos modernos de milho de 202 kg ha^{-1} de K_2O , equivalente a 168 kg ha^{-1} de K, considerando que o solo possuía antes da semeadura 244 mg kg^{-1} de K e foi aplicado um total de 319 kg ha^{-1} de nitrogênio. O acúmulo médio de K nos grãos foi de 33% do KPA total acumulado. A TMA foi de $4,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ocorrendo entre V10 e V14. A relação N:K aproximada em R6 foi de 2:1, considerando os acúmulos totais de NPA e KPA. Ciampitti e Vyn (2014) observaram uma relação NPA e KPA de 1:1 para a cultura do milho em uma análise ampla com a cultura de milho em diversos países, sendo considerados somente cultivos de alta produtividade. Coelho e França (1995) mostraram extração média de 217 kg ha^{-1} de N e 157 kg ha^{-1} de K que resultou na relação N:K aproximada de 1:1, com base na

extração para uma produtividade de 10 Mg ha⁻¹. Phillips e Lessman (1972), citado por Gamboa (1980), mostraram um acúmulo de NPA e KPA de 190 e 196 kg ha⁻¹ de N e K, respectivamente, resultando em uma relação N:K aproximada de 1:1 para produtividade de 9 Mg ha⁻¹.

Pode-se observar neste trabalho que em V12 no LVAd, onde provavelmente tenha ocorrido a TMA do potássio, considerando o observado no trabalho de Bender et al. (2013), que os tratamentos com nitrogênio favoreceram o acúmulo de K, uma vez que foram maiores que o tratamento controle, da mesma forma que ocorreu em R3 e só não se manteve superior ao controle em R6 devido a redução do potássio nas folhas pela possível perda do nutriente pela lixiviação. Pode ser observado também que em R3 a relação foi de 1:1 e se não ocorresse a redução do potássio das folhas em R6, provavelmente essa relação se manteria. No LVd, em V12, como não ocorreu diferença dos tratamentos com nitrogênio comparado com o controle, possivelmente o solo forneceu nitrogênio em função da provável elevada capacidade de mineralização da MOS, mostrando que apesar disso também propiciou o acúmulo de potássio. Da mesma forma que ocorreu no LVAd, a relação de 1:1 só não se manteve de R3 para R6 devido a redução no acúmulo de potássio nas folhas. Não se pode deixar de mencionar, que observando isoladamente o acúmulo de KPA total em R6, esse valor estaria abaixo do adequado para o desenvolvimento normal da planta (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1989; PAIS; JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004), o que em uma análise isolada poderia ser interpretado como podendo ter comprometimento com a produtividade. Apesar disso, os tratamentos com as misturas de URP+U e os demais tratamentos com nitrogênio foram eficientes no LVAd, favorecendo o acúmulo de potássio nas plantas ao longo do ciclo.

4.1.3.5 Acúmulo e particionamento de cálcio

Na Tabela 10 constam os resultados do acúmulo de cálcio na parte aérea (CaPA), em kg ha⁻¹, nas frações da planta (folha, colmo, sabugo e grão), nos estádios fenológicos do milho V4, V12, R3 e R6, bem como os acúmulos totais de CaPA, nos tratamentos com diferentes proporções da mistura de URP + U, no LVAd e LVd.

Em V4 no LVAd (Tabela 10) os tratamentos com 100%URP e 100%U apresentaram maior acúmulo de CaPA (1,6 kg ha⁻¹ em média) que o controle e UMC (0,6 kg ha⁻¹ em média) não havendo diferença com os demais com uma média de acúmulo de CaPA de 1,4 kg ha⁻¹ ($p \leq 0,05$). Em V12, todos os tratamentos adubados com nitrogênio apresentaram maior acúmulo total de CaPA que o controle (5,5 kg ha⁻¹), sendo que o 100% URP (18,1 kg ha⁻¹) apresentou

Tabela 10 - Acúmulo de cálcio (kg ha⁻¹) nas frações ou partes de plantas de milho (folha (F), colmo (C), sabugo (S) e grão (G)) nos estádios V4, V12, R3 e R6 do milho em tratamentos com diferentes proporções da mistura de ureia (U) com ureia revestida com enxofre e polímero (URP) em solos distintos.

Trat.*	Estádio fenológico													
	V 4		V12		R3				R6					
	Fração da planta													
	total	F	C	total	F	C	S	G	total	F	C	S	G	total
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico														
1	0,5 ± 0,1c €	5,1±0,8c	0,5±0,1b	5,5±0,9c	11,9±1,6b	2,4±0,4b	0,8±0,1b	1,5±0,1b	16,7±2,1b	11,6±2,7b	3,1±1,2b	0,9±0,2	8,4±4,3	24,1±8,5
2	1,6 ± 0,1a	15,5±0,4a	2,5±0,1a	18,1±0,4a	25,9±0,5a	5,5±0,2a	1,6±0,1a	2,4±0,1ab	35,5±0,7a	16,5±0,9ab	5,1±0,4ab	1,3±0,2	8,4±1,2	31,3±1,3
3	1,2 ± 0,1abc	11,5±0,7ab	1,6±0,1a	13,2±0,8ab	24,8±3,1a	4,7±0,2a	1,4±0,1ab	2,4±0,1ab	33,3±3,2a	19,1±1,9ab	6,4±0,7ab	1,1±0,2	8,1±1,1	34,6±3,7
4	1,4 ± 0,2ab	12,7±0,9ab	1,6±0,4a	13,2±1,3ab	24,5±2,1a	5,5±0,6a	1,3±0,1ab	2,2±0,2ab	33,6±2,7a	21,1±1,6a	7,3±0,6ab	1,7±0,3	6,7±0,9	36,8±1,5
5	1,4±0,3ab	11,3±0,7ab	1,6±0,1a	13,1±0,7ab	27,7±4,3a	5,1±0,6a	1,3±0,2ab	2,5±0,4ab	36,7±5,2a	19,7±1,6ab	6,7±0,4ab	1,2±0,2	14,6±0,7	42,4±1,4
6	1,4±0,2ab	14,6±1,3ab	2,1±0,1a	16,6±1,4ab	27,5±1,3a	5,9±0,2a	1,5±0,3a	3,1±0,8ab	38,2±1,6a	18,8±1,7ab	7,1±1,2ab	1,1±0,1	8,4±1,4	34,3±3,4
7	1,4±0,1ab	11,6±0,4ab	1,9±0,1a	13,5±0,3ab	28,4±1,5a	5,3±0,3a	1,3±0,1ab	1,8±0,1ab	37,1±2a	21,8±1,3a	7,1±0,9ab	1,9±0,5	8,2±1,6	39,2±2,3
8	1,6±0,1a	13,9±1,7ab	2,5±0,2a	16,4±1,9ab	30,8±2,4a	6,8±0,4a	1,4±0,1ab	3,7±0,7a	42,9±3,2a	21,4±1,3a	8,6±1,5a	1,2±0,1	8,5±1,5	39,8±3,8
9	0,7±0,1bc	9,8±0,8bc	1,6±0,1a	11,4±0,9b	26,2±3,3a	5,9±0,7a	1,5±0,1a	2,1±0,2ab	35,8±3,9a	20,5±1,5a	5,6±0,4ab	1,2±0,1	6,8±1,1	34,3±2,1
p**	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,02	0,03	0,001	0,02	0,002	0,07	0,2	0,1
Latossolo Vermelho distrófico														
1	1,1±0,1b	8,1±0,6b	1,4±0,1b	9,4±0,7b	26,8±1,3ab	4,8±0,2	1,3±0,1	0,7±0,2b	33,8±1,1	17,8±0,8	4,7±0,9	1,2±0,1	5,3±0,7bc	29,1±2,1
2	1,4±0,1ab	9,4±0,7ab	1,6±0,1b	11,2±0,8ab	23,8±1,1b	5,4±0,1	1,2±0,1	1,5±0,4ab	32,1±1,2	19,1±0,8	4,9±0,3	1,1±0,1	5,1±0,7c	30,2±0,9
3	1,5±0,1ab	9,4±0,5ab	1,8±0,1ab	11,2±0,6ab	29,4±2,1ab	5,1±0,6	1,3±0,2	1,4±0,3ab	37,3±2,9	18,1±0,5	4,3±0,6	1,2±0,1	6,1±0,9abc	29,5±1,7
4	1,6±0,1ab	10,6±0,6ab	2,1±0,2ab	12,6±0,8ab	27,8±0,5ab	5,6±0,4	1,3±0,1	1,5±0,2ab	36,3±0,5	18,4±0,4	5,6±0,9	1,1±0,2	5,4±0,5bc	30,5±0,9
5	1,4±0,1ab	10,6±0,5ab	1,9±0,1ab	12,5±0,6ab	29,7±1,6a	5,3±0,5	1,2±0,1	1,5±0,2ab	37,8±1,9	19,2±0,3	4,6±0,2	1,1±0,1	4,8±0,5c	29,8±0,6
6	1,7±0,2ab	9,2±0,2ab	1,7±0,1b	11,1±0,2b	28,2±2,1ab	6,1±0,2	1,2±0,2	1,8±0,4a	37,2±2,2	19,3±1,1	5,9±0,2	1,3±0,4	8,1±0,4ab	34,7±0,9
7	1,8±0,1a	11,7±0,9a	2,5±0,2a	14,3±1,1a	26,5±0,5ab	5,9±0,3	1,2±0,3	2,1±0,3a	35,7±0,3	18,6±1,4	6,4±0,3	1,3±0,1	8,2±0,4ab	34,6±1,3
8	1,8±0,1a	10,2±0,5ab	2,1±0,1ab	12,3±0,6ab	28,1±0,7ab	6,2±0,3	1,1±0,1	1,7±0,2a	37,2±0,7	18,2±1,5	5,2±0,4	2,3±1,4	6,6±1,1abc	32,4±3,5
9	1,4±0,2ab	8,9±0,3b	2,1±0,2ab	10,9±0,4b	24,1±0,1ab	5,5±0,5	0,9±0,1	1,8±0,3a	32,4±1,6	20,8±1,6	6,3±0,4	1,3±0,1	8,5±0,2a	37,1±2,1
p**	0,02	0,004	0,004	0,002	0,001	0,3	0,5	0,01	0,08	0,5	0,08	0,6	0,001	0,03

*Tratamento: 1 = controle; 2 = 100% URP; 3 = 90% URP + 10% U; 4 = 80% URP + 20% U; 5 = 70% URP + 30% U; 6 = 60% URP + 40% U; 7 = 50% URP + 50% U; 8 = 100% U; 9 = ureia em manejo convencional. ***p* = probabilidade do teste F; letras minúsculas comparam as médias dos tratamentos em cada coluna e em cada solo ($p \leq 0,05$). € m ± epm (média ± erro padrão da média). V4 = quatro folhas totalmente expandidas; V12 = doze folhas totalmente expandidas; R3 = grãos leitosos; R6 = maturação fisiológica.

maior acúmulo total de CaPA que UMC (11,4 kg ha⁻¹), e, os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si, com uma média de acúmulo total de CaPA de 14,3 kg ha⁻¹ ($p \leq 0,05$). Em R3, como em V12, todos os tratamentos adubados com nitrogênio apresentaram maior acúmulo total de CaPA que o controle com uma média de 36,6 kg ha⁻¹ e 16,7 kg ha⁻¹, respectivamente. Em R6, não houve diferença entre os tratamentos no acúmulo total de CaPA, com uma média de 35,3 kg ha⁻¹ ($p \leq 0,05$); não foi observada diferença no acúmulo de cálcio nos grãos entre os tratamentos com uma média de 8,7 kg ha⁻¹ de Ca que correspondeu a 24% do CaPA total acumulado (Figura 11 e 12 (Ca)). Pode-se observar nas médias e nos erros padrões das médias e na Figura 11 e 12 (Ca) que ocorreu uma redução no acúmulo de cálcio nas folhas de R3 para R6 nos tratamentos adubados com nitrogênio, provavelmente devido a senescência e queda das folhas das plantas, uma vez que o cálcio após ser absorvido e transportado para as folhas se torna imóvel, e sua maior parte encontra-se em formas insolúveis em água (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). A TMA de cálcio foi de 0,9 kg ha⁻¹ dia⁻¹ nos tratamentos com nitrogênio, ocorrendo quando as plantas atingiram 944 GDD_C, e para o tratamento controle foi de 0,2 kg ha⁻¹ dia⁻¹ com as plantas em 1251 GDD_C (Tabela 6).

No LVd, em V4 (Tabela Ca) os tratamentos com adubação nitrogenada não apresentaram diferença entre si no acúmulo de CaPA com uma média de 1,5 kg ha⁻¹, enquanto os tratamentos com 100%U e 50%URP + 50%U, que apresentaram média de 1,8 kg ha⁻¹, foram superiores ao controle com 1,1 kg ha⁻¹ ($p \leq 0,05$). No estágio V12, o tratamento com 50%URP + 50%U, com uma média de acúmulo total de CaPA de 14,3 kg ha⁻¹, foi superior aos tratamentos controle, 60%URP + 40%U e UMC que apresentaram média de 10,5 kg ha⁻¹ de K ($p \leq 0,05$). Em R3 e R6 não ocorreu diferença entre os tratamentos no acúmulo total de CaPA com uma média de 35,5 kg ha⁻¹ e 31,9 kg ha⁻¹, respectivamente ($p \leq 0,05$). Essa queda no acúmulo total de R3 para R6, que pode ser observada também na Figura 13 (Ca), está relacionado, como discutido anteriormente, com a queda de folhas nesse período devido a senescência, assim como foi observado no LVAd. O tratamento com UMC apresentou maior acúmulo de cálcio nos grãos (8,5 kg ha⁻¹) que os tratamentos controle, 100%URP, 80%URP + 20%U e 70%URP + 30%U, com média de 5,1 kg ha⁻¹; os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si no acúmulo de cálcio nos grãos e apresentaram média de 7,25 kg ha⁻¹. Considerando a média de todos os tratamentos o acúmulo de cálcio nos grãos foi equivalente a 20% do CaPA total acumulado (Figura 13 (Ca)). A TMA de cálcio foi de 4,2 kg ha⁻¹ dia⁻¹ ocorrendo quando as plantas acumularam 933 GDD_C (Tabela 6).

Bender et al. (2013) não incluíram os dados de cálcio nos resultados de seu trabalho com híbridos modernos de milho, pois segundo os autores apresentaram baixa concentração

do nutriente nos grãos, ao final dos experimentos. Karlen et al. (1988), avaliando híbridos de milho observaram um acúmulo total de CaPA de 59 kg ha⁻¹ em R6, sendo que 19 kg ha⁻¹ corresponderam ao acúmulo nas folhas, 1,7 kg ha⁻¹ ao acúmulo nos grãos que equivaleu a 3% do CaPA total acumulado e o restante acumulou no colmo e no sabugo. Phillips e Lessman (1972), citado por Gamboa (1980), observaram que para uma produtividade de 9 Mg ha⁻¹ de grãos ocorreu acúmulo total de CaPA de 40 kg ha⁻¹, sendo que 1,6 kg ha⁻¹ foram acumulados nos grãos, o que correspondeu a 4% do CaPA total acumulado. Em contrapartida, Vitti et al. (2003) observou que a exportação de cálcio nos grãos variou de 10 a 15% do CaPA total acumulado.

Pode-se observar dos resultados de CaPA neste trabalho, em V4 no LVAd, que no tratamento com 100% URP, que possuía maior quantidade de URP, e no tratamento com 100% U, que disponibilizou maior quantidade de nitrogênio mineral nesse estágio (González Villalba, 2013), foram superiores no acúmulo de CaPA que o tratamento com UMC que apresentou menor fornecimento de nitrogênio na camada superficial do solo, mostrando que isso interferiu na absorção do cálcio pelas raízes. A presença de nitrato no solo estimula a absorção do íon Ca⁺² que é a forma absorvida pelas plantas e o tratamento com UMC forneceu menos N-nitrato nos estádios iniciais. Em V12, onde ocorreu a TMA do cálcio todos os tratamentos adubados com N resultaram em maior acúmulo de CaPA que o controle e a superioridade do tratamento com 100%URP em relação ao UMC evidenciou que apesar da adubação nitrogenada de cobertura no tratamento com UMC, o tratamento com 100%URP parece ter dado melhores condições para o sistema radicular aproveitar o cálcio do solo nesse estágio, ocorrendo maior acúmulo de cálcio nas folhas; além disso, o cálcio é importante na assimilação dos nitratos e na formação de proteínas pelas plantas (MINOTTI et al., 1968). Clarkson e Sanderson (1978) mostraram que a baixa capacidade de absorção do cálcio pelas plantas comparado com outros nutrientes, como por exemplo o potássio, é devido a absorção do cálcio ocorrer, somente, pela extremidade das raízes jovens que ainda não estão suberizadas, propondo que o tratamento com 100% URP possa ter uma maior quantidade de raízes jovens que o tratamento com UMC nesses estádios fenológicos, considerando que a maior parte do contato do íon Ca²⁺ com a raiz ocorre por fluxo de massa (MALAVOLTA, 1979). Em R3 no LVAd, como todos os tratamentos adubados com N não apresentaram diferença de acúmulo de CaPA e foram superiores ao controle, pode-se inferir que o UMC desenvolveu o sistema radicular das plantas de milho após a cobertura nitrogenada em V4 e o cálcio foi aproveitado da mesma forma que nos demais tratamentos com nitrogênio. Em R6, o acúmulo total de CaPA pode ter sido igual em todos os tratamentos devido a redução no

acúmulo de cálcio nas folhas de R3 para R6, podendo ser uma característica do híbrido de milho usado no experimento, podendo também ser uma característica desse híbrido, acumular um pouco mais de cálcio nos grãos comparado com alguns trabalhos da literatura, citados anteriormente. Além disso, a quantidade total de acúmulo de CaPA foi adequada no final do ciclo (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1989; PAIS; JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004).

No LVd, praticamente todos os tratamentos adubados com nitrogênio se igualaram com o tratamento controle em V4, sendo que a superioridade dos tratamentos com 100%U e 50%URP + 50%U sobre o controle ocorreu, provavelmente, por haver mais nitrato na camada superficial, uma vez que esse solo possuía maior capacidade de retenção de água e o nitrato percolou menos no perfil se mantendo em maior quantidade nesses tratamentos, favorecendo o sinergismo na absorção do íon Ca^{2+} . Em V12 onde ocorreu a TMA de Ca a maioria dos tratamentos adubados com N também se igualou com o controle, e o tratamento com 50%URP + 50%U foi superior a UMC e o controle devido ao maior fornecimento de nitrato favorecendo a absorção pelas raízes. Em R3 e R6, não ocorreu diferença de acúmulo total de CaPA indicando que o solo pela elevada capacidade de mineralização da MOS forneceu N para o tratamento controle, desde o início, proporcionando condição parecida com os tratamentos com nitrogênio e contribuindo para o acúmulo de CaPA. De R3 para R6 também ocorreu a redução no acúmulo de cálcio nas folhas que deve estar relacionado com a senescência foliar do híbrido de milho utilizado. Apesar de algumas diferenças no acúmulo de cálcio nos grãos, que ficam difíceis de serem explicadas em função do fornecimento extra de nitrogênio pela MOS, pode ser observado que eles são maiores do que o verificado por outros autores o que reforça a ideia que possa ser uma característica do híbrido de milho, uma vez que ocorreram nos dois solos. O acúmulo total de CaPA no final do ciclo também foi adequado como no LVAd.

Os tratamentos com as misturas de URP+U e os demais tratamentos com nitrogênio foram eficientes no LVAd, favorecendo o acúmulo de cálcio nas plantas, ao longo do ciclo.

4.1.3.6 Acúmulo e particionamento de magnésio

Na Tabela 11 constam os resultados de acúmulo de magnésio na parte aérea (MgPA) em kg ha^{-1} nas frações da planta (folha, colmo, sabugo e grão) nos estádios fenológicos do milho V4, V12, R3 e R6, e os acúmulos totais de MgPA de cada estágio fenológico, nos tratamentos com diferentes proporções da mistura de URP + U, no LVAd e no LVd.

Tabela 11 - Acúmulo de magnésio (kg ha⁻¹) nas frações ou partes de plantas de milho (folhas (F), colmo (C), sabugo (S) e grãos (G)) nos estádios V4, V12, R3 e R6 do milho em tratamentos com diferentes proporções da mistura de ureia (U) com ureia revestida com enxofre e polímero (URP) em solos distintos.

Trat.*	Estádio fenológico													
	V 4		V12		R3				R6					
	Fração da planta													
	total	F	C	total	F	C	S	G	total	F	C	S	G	total
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico														
1	0,2±0,1c €	2,4±0,4b	0,7±0,1c	3,1±0,6b	8,7±1,1b	2,5±0,4b	0,9±0,1	1,8±0,1b	14,1±1,7b	6,3±1,6	2,6±0,7b	0,5±0,2b	7,1±1,6	16,5±4,2
2	0,8±0,1a	8,1±0,5a	2,7±0,3ab	10,8±0,7a	16,8±0,7a	5,2±0,1a	1,2±0,1	3,4±0,2a	26,8±0,7a	8,3±0,4	4,6±0,2ab	0,5±0,1b	9,6±2,2	23,1±2,4
3	0,7±0,1ab	6,1±0,4a	2,1±0,1ab	8,1±0,3a	15,9±2,1ab	4,4±0,3ab	1,2±0,1	3,1±0,2ab	24,7±2,4a	8,9±0,6	5,4±0,6ab	0,6±0,1ab	9,8±1,5	24,8±2,8
4	0,7±0,1ab	6,9±0,9a	2,2±0,2ab	9,1±1,1a	15,7±1,1ab	4,8±0,5a	1,2±0,1	2,6±0,2ab	24,4±1,7a	10,1±0,9	6,6±0,7ab	0,6±0,1ab	10,1±0,3	27,3±1,6
5	0,7±0,1ab	5,8±0,4a	1,9±0,1b	7,7±0,4a	16,9±2,7a	4,6±0,7ab	1,1±0,2	2,9±0,2ab	25,6±3,7a	10,3±0,4	6,2±0,7ab	0,6±0,1ab	9,2±1,1	26,4±2,3
6	0,6±0,1abc	6,8±0,9a	2,3±0,2ab	9,1±1,1a	16,7±1,1a	5,3±0,4a	1,2±0,1	3,2±0,30,2ab	26,4±1,2a	8,9±0,8	5,1±0,9ab	0,6±0,1ab	9,1±0,8	23,7±1,5
7	0,8±0,1a	6,9±0,2a	2,3±0,2ab	9,1±0,1a	18,2±0,7a	5,7±0,5a	1,2±0,1	3,3±0,3ab	28,4±1,4a	10,5±1,1	6,4±1,4ab	0,8±0,1a	9,7±1,1	27,6±3,2
8	0,8±0,1a	7,7±0,5a	2,9±0,3a	10,6±0,8a	18,6±1,9a	5,8±0,8a	1,2±0,1	4,1±0,6a	29,8±2,4a	10,2±0,6	7,8±1,7a	0,6±0,1ab	9,1±0,9	27,8±2,7
9	0,3±0,1bc	6,1±0,4a	2,2±0,1ab	8,1±0,4a	17,4±1,5a	5,6±0,5a	1,2±0,1	3,4±0,4ab	27,7±2,2a	10,1±0,9	5,7±0,2ab	0,6±0,1ab	8,1±0,3	24,3±1,3
p**	0,01	0,001	0,001	0,001	0,01	0,001	0,3	0,01	0,002	0,08	0,04	0,06	0,2	0,2
Latossolo Vermelho distrófico														
1	0,6±0,1b	5,8±0,5	1,6±0,2b	7,4±0,7b	16,2±0,6c	5,7±0,3b	1,4±0,2	1,5±0,4	25,1±0,6c	9,9±0,8	4,5±0,5	0,6±0,1	7,9±0,7	23,1±1,4
2	0,8±0,1ab	6,6±0,6	1,8±0,2ab	8,5±0,7ab	17,3±0,4bc	6,1±0,2ab	1,4±0,1	1,7±0,3	26,7±0,4bc	10,6±0,5	5,4±0,4	0,6±0,1	7,9±0,5	24,6±0,9
3	0,9±0,1ab	6,9±0,5	2,1±0,2ab	9,1±0,7ab	20,8±1,2abc	6,7±0,2ab	1,2±0,1	2,2±0,3	31,1±1,4abc	10,5±0,3	4,9±0,5	0,5±0,1	7,5±0,5	23,5±1,1
4	0,9±0,1ab	7,9±0,4	2,4±0,2ab	10,3±0,5ab	20,8±0,9abc	6,9±0,2ab	1,3±0,1	1,9±0,2	31,1±1,1abc	10,8±0,6	5,7±0,4	0,5±0,1	8,7±0,7	25,9±0,6
5	0,8±0,1ab	8,2±0,9	2,1±0,2ab	10,3±0,1ab	22,1±0,9a	6,7±0,7ab	1,5±0,1	1,9±0,3	32,3±1,7ab	10,6±0,4	5,3±0,2	0,5±0,1	7,3±0,1	23,7±0,4
6	1,1±0,1a	7,1±0,6	2,1±0,2ab	9,2±0,6ab	23,2±2,2a	7,4±0,4a	1,6±0,1	2,5±0,3	34,8±2,7a	12,4±0,7	5,8±0,3	0,7±0,1	8,1±0,5	27,1±0,9
7	1,1±0,1a	8,4±0,7	2,7±0,3a	11,1±0,1a	19,4±0,8abc	6,5±0,4ab	1,6±0,1	2,3±0,3	29,8±0,1abc	12,2±1,3	6,1±0,6	0,6±0,1	8,3±0,4	27,3±2,1
8	0,9±0,1ab	7,4±0,4	2,3±0,1ab	9,7±0,4ab	20,9±0,4ab	7,1±0,2ab	1,6±0,1	2,1±0,2	31,8±0,5ab	12,1±1,2	5,1±0,5	0,9±0,2	6,8±0,9	24,8±2,6
9	0,8±0,1ab	6,3±0,4	2,1±0,1ab	8,4±0,5ab	17,2±0,8bc	5,6±0,4b	1,5±0,2	1,9±0,3	26,3±1,4bc	12,8±1,1	6,1±0,3	0,6±0,1	7,9±0,5	27,4±1,5
p**	0,01	0,051	0,01	0,02	0,001	0,01	0,2	0,1	0,001	0,06	0,1	0,1	0,6	0,2

*Tratamento: 1 = controle; 2 = 100% URP; 3 = 90% URP + 10% U; 4 = 80% URP + 20% U; 5 = 70% URP + 30% U; 6 = 60% URP + 40% U; 7 = 50% URP + 50% U; 8 = 100% U; 9 = ureia em manejo convencional. **p = probabilidade do teste F; letras minúsculas comparam as médias dos tratamentos em cada coluna e em cada solo (p ≤ 0,05). € m ± epm (média ± erro padrão da média). V4 = quatro folhas totalmente expandidas; V12 = doze folhas totalmente expandidas; R3 = grãos leitosos; R6 = maturação fisiológica.

No LVAd em V4 (Tabela 11) os tratamentos com 100%URP, 50%URP + 50%U e 100%U, com média de acúmulo de MgPA de $0,8 \text{ kg ha}^{-1}$, foram superiores aos tratamentos controle e UMC que apresentaram média de $0,2 \text{ kg ha}^{-1}$; os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si com média de $0,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg ($p \leq 0,05$). Em V12 todos os tratamentos adubados com N apresentaram maior acúmulo total de MgPA que o controle, com média de acúmulo total de $9,1$ e $3,1 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente, sendo que desses totais em média $6,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg acumularam-se nas folhas nos tratamentos com nitrogênio e $2,4 \text{ kg ha}^{-1}$ acumularam-se nas folhas no controle e o restante foi encontrado nos colmos ($p \leq 0,05$). Em R3, todos os tratamentos com nitrogênio apresentaram maior acúmulo total de MgPA que o tratamento controle, com média de acúmulo total $26,7$ e $14,1 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente, sendo que desses totais em média 17 kg ha^{-1} acumularam-se nas folhas nos tratamentos com nitrogênio e $8,7 \text{ kg ha}^{-1}$ nas folhas no controle e o restante fez parte dos colmos, sabugos e grãos ($p \leq 0,05$). Em R6, os tratamentos não apresentaram diferença entre si no acúmulo total de MgPA com média de $24,6 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo que desse total $9,3 \text{ kg ha}^{-1}$ estavam nas folhas, uma parte no colmo e sabugo, e 9 kg ha^{-1} nos grãos que equivaleu a 35 % do MgPa total acumulado (Figura 11 e 12 (Mg)).

De R3 para R6 no LVAd (Tabela 11), observando-se as médias e os erros padrões das médias e também as Figuras 11 e 12 (Mg), pode ser observado uma queda no acúmulo de magnésio nas folhas. Como o magnésio é móvel na planta, uma parte do magnésio das folhas foi translocado para os grãos a partir de R2, porém diferente do nitrogênio e do fósforo que translocam boa parte para os grãos, o magnésio translocou menos, e nas Figuras 11 e 12 (Mg) pode ser observado que o acúmulo do nutriente nos grãos estabilizam-se entre R3 e R6 enquanto que as folhas continuam reduzindo o acúmulo. Isso pode ser justificado pela translocação para os grãos, pela senescência e queda das folhas e também por lixiviação do magnésio das folhas, que de acordo com Vitti, Lima e Cicarone (2006), entre 6 e 25% do total de magnésio na planta faz parte da clorofila, 5 a 10% nas folhas estão ligados a pectatos nas paredes celulares, e o restante 60 a 90% são extraíveis em água.

A TMA de magnésio para os tratamentos adubados com nitrogênio no LVAd foi de $3,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, ocorrendo quando as plantas estavam com 928 GDD_C e de $0,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ no controle, com as plantas em 1174 GDD_C (Tabela 6).

No LVd em V4 (Tabela 11) os tratamentos com 50%URP + 50%U e 60%URP + 40%U apresentaram maior acúmulo de MgPA que o controle, com média de $1,1 \text{ kg ha}^{-1}$ e $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente; os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si no acúmulo de MgPA, se igualando estatisticamente com o controle, com média de $0,9 \text{ kg ha}^{-1}$ (p

$\leq 0,05$). Em V12, os tratamentos com N não diferiram do controle no acúmulo total de MgPA, com exceção do 50%URP + 50%U que foi superior ao controle com 11,1 kg ha⁻¹ e 7,4 kg ha⁻¹, respectivamente; os demais tratamentos apresentaram uma média de acúmulo de 9 kg ha⁻¹ de Mg; as folhas acumularam em média 7 kg ha⁻¹ e o restante do Mg acumulou-se nos colmos ($p \leq 0,05$). Em R3, o tratamento com 60%URP + 40%U apresentou maior acúmulo total de MgPA que o controle e 100%URP e UMC que não diferiram entre si, com média de 34,8 kg ha⁻¹ e 25 kg ha⁻¹, respectivamente; os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si, com uma média de acúmulo total 31,2 kg ha⁻¹ ($p \leq 0,05$). O acúmulo médio de Mg nas folhas foi de 20 kg ha⁻¹ e o restante do nutriente do total da planta acumulou-se nos colmos, sabugos e grãos. Em R6, não ocorreu diferença de acúmulo total de MgPA entre os tratamentos, com média de 25 kg ha⁻¹, sendo que desse total, em média, 11 kg ha⁻¹ acumularam-se nas folhas, uma parte no colmo e sabugo, e 8 kg ha⁻¹ nos grãos que correspondeu a 32 % do MgPA total acumulado (Figura 13 (Mg)). Da mesma forma como observado no LVAd, no LVd ocorreu redução no acúmulo total de magnésio de R3 para R6, que pode ser verificado pelas médias e erros padrões das médias, e na Figura 13 (Mg). A redução justifica-se pela translocação do magnésio das folhas, colmos e sabugo para os grãos, senescência e queda das folhas, e provável lixiviação pelas folhas. A TMA de magnésio dos tratamentos foi de 3,4 kg ha⁻¹ dia⁻¹ e ocorreu quando as plantas estavam com 933 GDD_C (Tabela 6).

Bender et al. (2013) observaram para híbridos modernos de milho acúmulo total de MgPA de 59 kg ha⁻¹, sendo que 29% do MgPA total acumulado estavam nos grãos. A TMA de magnésio foi de 2,2 kg ha⁻¹dia⁻¹, ocorrendo entre V10 e V14. Coelho e França (1995) constatarem a média de 33 kg ha⁻¹ de acúmulo total de MgPA no milho, sendo que em torno de 25% do MgPA total acumulado estavam nos grãos. Em média, Karlen (1988), Hanway (1963) e Sayre (1948) observaram que 59% do MgPA total acumulado no milho estavam nos grãos.

Os resultados de MgPA deste trabalho mostram que em V4 no LVAd, da mesma forma que ocorreu com o cálcio, os tratamentos que apresentaram uma maior quantidade de nitrato na camada superficial (González Villalba, 2013) resultaram em maior acúmulo de MgPA comparado com o controle e com o tratamento UMC, que possuíam menores quantidades de nitrato no solo. Da mesma forma que o cálcio, o magnésio também é absorvido pelas plantas na forma catiônica, Mg²⁺, sendo que o contato do íon com a raiz do milho ocorre preferencialmente por fluxo de massa (MALAVOLTA, 1979), e a frequência natural de ocorrência de cátions trocáveis é que o Ca²⁺ seja superior ao Mg²⁺, o que

justificaria o acúmulo de MgPA ser praticamente a metade do acúmulo de CaPA nesse período. Em V12, quando ocorreu a TMA de magnésio todos os tratamentos com N deram iguais condições para as plantas absorverem esses nutrientes, da mesma forma que ocorreu em R3. Em R6, todos os tratamentos tiveram o mesmo comportamento no acúmulo total de MgPA, em função da senescência e queda de folhas das planta, possível perda de magnésio pelas folhas com a água da chuva e a característica do híbrido usado no experimento.

O acúmulo total de MgPA no LVAd foi adequada no final do ciclo (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1989; PAIS; JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004). A absorção de cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} é competitiva, sendo que o excesso de um deles reduz a absorção do outro, e neste trabalho pode ser observado que ocorreu um balanceamento adequado desses nutrientes na planta, podendo se afirmar que as condições no solo foram favoráveis, apesar de no final do ciclo a relação K:Mg ter sido baixa, em torno de 4:1, isso sendo justificado pela provável lixiviação do potássio das folhas no final do ciclo, e uma vez que em R3 a relação desses elementos foi considerada adequada (9:1). O acúmulo de magnésio nos grãos está de acordo com o que foi observado para os híbridos modernos de milho de trabalhos na literatura, conforme visto em Bender et al. (2013).

No LVd, da mesma forma que ocorreu com o cálcio em V4, alguns tratamentos com nitrogênio foram favoráveis para a absorção de Mg pelas plantas em função da quantidade de nitrato na camada superficial, considerando as características desse solo comparado com o controle; porém diferente do que ocorreu no LVAd, esse solo tem uma tendência de não apresentar diferença do controle com os demais tratamentos no acúmulo de MgPA, que pode estar relacionado com a provável elevada capacidade de mineralização da MOS fornecendo nitrogênio e proporcionando condições adequadas para absorção de magnésio. Em V12, quando ocorreu a TMA de magnésio, o tratamento com 50%URP + 50%U se manteve superior ao controle, proporcionando melhores condições para as plantas. Em R3, houve um tratamento que proporcionou condições mais favoráveis que a UMC e que o controle, porém de uma forma geral esse solo proporcionou condição adequada para o acúmulo de MgPA independente da aplicação de nitrogênio. Em R6, todos os tratamentos apresentaram o mesmo comportamento e da mesma forma como ocorreu no LVAd, isso pode ter sido causado pela senescência e queda das folhas, perda de magnésio das folhas pela água da chuva e característica do híbrido de milho. O acúmulo de MgPA foi adequado para os tratamentos da mesma forma que foi observado no LVAd.

Os tratamentos com as misturas de URP+U e os demais tratamentos com N foram eficientes no LVAd, favorecendo o acúmulo de magnésio nas plantas ao longo do ciclo.

4.1.3.7 Acúmulo e particionamento de enxofre

Na Tabela 12 podem ser observados os resultados de acúmulo de enxofre na parte aérea (SPA), em kg ha^{-1} , nas frações da planta (folha, colmo, sabugo e grão) nos estádios fenológicos do milho V4, V12, R3 e R6, bem como os totais de SPA, em cada estágio fenológico, nos tratamentos com diferentes proporções da mistura de URP + U, no LVAd e LVd.

Em V4, no LVAd na Tabela 12, não houve diferença de acúmulo de SPA entre os tratamentos com uma média de $0,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ($p \leq 0,05$). No estágio V12, o tratamento com 100% U apresentou maior acúmulo total de SPA ($9,6 \text{ kg ha}^{-1}$) que os tratamentos com UMC e controle, que não foram diferentes entre si, e apresentaram média de acúmulo de SPA de 4 kg ha^{-1} ; os tratamentos com URP+U não apresentaram diferença entre si, com uma média de acúmulo de SPA de $7,3 \text{ kg ha}^{-1}$ e foram superiores ao controle, com exceção do tratamento com 70%URP + 30%U que não apresentou diferença com o controle ($p \leq 0,05$). No estágio R3, os tratamentos com nitrogênio não apresentaram diferença entre si em relação ao acúmulo total de SPA, com média de 17 kg ha^{-1} , e com exceção do 70%URP + 30%U e UMC, os demais foram superiores ao controle que apresentou $8,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de acúmulo total de SPA ($p \leq 0,05$). Em R6, o tratamento com 70%URP + 30%U apresentou maior acúmulo total de SPA ($49,7 \text{ kg ha}^{-1}$) que o controle e UMC (20 kg ha^{-1}), e os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si, com média de acúmulo total de SPA de 36 kg ha^{-1} . Os tratamentos com 100%URP e 70%URP + 30%U apresentaram maior acúmulo de enxofre nos grãos (34 kg ha^{-1}) em R6 que o controle e UMC (10 kg ha^{-1}), correspondendo a 75% do SPA total acumulado (Figura 11 (S)) e 48% (Figura 12 (S)), respectivamente. Os outros tratamentos não apresentaram diferença entre si, apresentando acúmulo médio de enxofre nos grãos de 21 kg ha^{-1} , correspondendo a 60% do SPA total.

Não ocorreu ajuste do modelo para o cálculo da TMA de enxofre. A remobilização do S de folhas e colmos para os grãos foi baixa por ser o S um nutriente pouco móvel na planta, sendo a maior parte do acúmulo nos grãos proveniente da assimilação após o florescimento; sendo assim a absorção do enxofre do solo ocorreu até o final do ciclo do milho.

A interação entre N e S é importante, uma vez que ambos os nutrientes estão relacionados com a síntese de proteínas na cultura do milho, e o suprimento inadequado de um deles pode resultar em redução na produtividade de grãos e na qualidade do produto colhido (BÜLL, 1993). A relação N:S no LVAd, considerando os acúmulos totais de NPA e SPA em R6, foi de 5:1 para o tratamento com 70%URP+30%U, 11:1 para o UMC, 6:1 para o

Tabela 12 - Acúmulo de enxofre (kg ha⁻¹) nas frações ou partes das plantas de milho (folhas (F), colmo (C), sabugo (S) e grãos (G)) nos estádios V4, V12, R3 e R6 do milho em tratamentos com diferentes proporções da mistura de ureia (U) com ureia revestida com enxofre e polímero (URP) em solos distintos.

Trat.*	Estádio fenológico													
	V 4		V12		R3				R6					
	Fração da planta													
	total	F	C	total	F	C	S	G	total	F	C	S	G	total
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico														
1	0,3±0,1 €	2,4±0,5c	0,3±0,1b	2,8±0,6c	4,2±1,2b	1,4±0,3c	1,1±0,1b	1,3±0,1	8,1±1,5b	4,8±1,5b	1,2±0,1b	0,9±0,3	12,1±0,9b	19,2±0,7b
2	0,8±0,1	6,6±0,5ab	1,8±0,1a	8,5±0,6ab	9,1±0,7ab	2,8±0,2bc	1,6±0,2ab	2,8±0,2	16,4±0,9a	6,1±1,3ab	1,1±0,1b	1,1±0,3	33,1±8,6a	41,2±10,1ab
3	0,8±0,3	5,9±0,5ab	1,4±0,3a	7,3±0,8ab	10,1±0,6a	3,1±0,4ab	1,4±0,1ab	2,5±0,2	17,1±1,3a	8,1±0,7ab	2,8±0,9ab	0,6±0,3	23,7±2,3ab	35,3±3,9ab
4	1,1±0,1	5,4±0,2abc	1,8±0,3a	7,3±0,6ab	11,6±0,1a	3,4±0,3ab	1,7±0,2ab	2,4±0,1	19,2±1,3a	7,5±1,2ab	4,4±0,8ab	4,8±3,1	24,2±0,6ab	41,1±4,1ab
5	0,7±0,2	4,4±0,2abc	1,6±0,2a	6,1±0,4abc	9,1±1,3ab	3,1±0,3ab	1,2±0,2b	2,8±0,5	16,2±2,1ab	10,8±0,5a	3,3±1,1ab	1,2±0,4	34,3±1,9a	49,7±3,1a
6	0,7±0,1	5,7±0,9ab	1,8±0,1a	7,5±0,9ab	9,6±0,9ab	3,3±0,2ab	1,5±0,1ab	3,1±0,4	17,6±1,2a	9,6±0,9ab	2,4±0,5ab	0,6±0,3	25,8±3,9ab	38,6±4,5ab
7	0,7±0,1	5,6±0,5abc	1,7±0,1a	7,4±0,5ab	9,6±0,7ab	3,3±0,6ab	1,5±0,1ab	2,6±0,6	17,1±1,2a	8,8±0,7ab	3,9±1,1ab	2,1±0,3	17,4±6,7ab	32,2±8,1ab
8	0,7±0,1	7,4±0,8a	2,1±0,3a	9,6±1,1a	9,2±1,3ab	4,3±0,4a	1,3±0,4ab	2,8±0,5	17,7±2,3a	8,8±1,8ab	5,9±1,2a	1,2±0,6	14,1±5,9ab	30,1±8,1ab
9	0,4±0,1	3,8±0,9bc	1,3±0,1a	5,1±0,9bc	6,1±2,1ab	3,6±0,3ab	2,1±0,1a	2,6±0,7	14,4±2,8ab	9,6±1,1ab	2,5±0,8ab	0,9±0,1	7,1±2,2b	20,3±2,9b
p**	0,1	0,01	0,001	0,001	0,01	0,001	0,01	0,1	0,01	0,02	0,01	0,2	0,002	0,01
Latossolo Vermelho distrófico														
1	0,6±0,1b	3,9±0,1c	0,7±0,1b	4,7±0,2c	8,3±0,2	2,1±0,2	1,9±0,2a	1,5±0,4b	13,8±0,7	8,1±1,1	2,8±0,4	2,4±0,2	19,9±1,3	33,3±2,4a
2	0,8±0,1ab	4,8±0,3abc	0,8±0,1b	5,6±0,3bc	10,5±1,1	3,1±0,3	1,3±0,3ab	2,4±0,5ab	17,4±1,1	9,4±0,6	4,7±1,2	1,3±0,5	19,8±1,3	35,3±0,9a
3	0,9±0,1ab	5,6±0,4abc	1,1±0,1ab	6,7±0,5ab	10,1±0,3	3,5±0,3	1,7±0,1ab	3,1±0,5a	18,5±0,7	10,1±0,6	3,1±0,8	2,3±0,2	20,4±0,6	35,9±2,1a
4	0,9±0,1ab	5,4±0,4abc	1,2±0,2ab	6,7±0,2ab	8,1±0,2	3,2±0,5	1,8±0,2a	2,6±0,3ab	15,8±0,6	7,7±1,4	3,6±0,9	2,3±0,1	22,3±0,9	36,1±2,7a
5	1,1±0,2ab	5,7±0,4ab	1,2±0,1ab	6,8±0,4ab	8,8±0,7	3,1±0,4	1,2±0,2ab	1,8±0,2ab	14,9±0,9	9,2±0,4	3,8±0,2	1,8±0,2	21,1±0,9	36,1±1,1a
6	1,3±0,2a	5,6±0,4abc	1,1±0,1ab	6,6±0,4ab	8,9±0,8	3,6±0,1	1,8±0,1ab	2,3±0,3ab	16,7±1,1	6,5±2,1	2,6±0,6	1,7±0,6	13,5±4,3	24,5±4,1a
7	1,2±0,1ab	6,1±0,3a	1,6±0,2a	7,7±0,5a	8,8±1,6	3,1±0,9	1,1±0,2ab	1,4±0,1b	14,5±2,3	7,7±0,3	2,7±0,7	1,7±0,3	16,2±2,4	28,4±3,3a
8	1,1±0,1ab	5,3±0,4abc	1,3±0,1ab	6,6±0,5ab	8,9±1,4	3,8±1,1	0,9±0,2b	1,8±0,3b	15,5±1,6	6,1±0,9	2,3±0,5	2,1±1,2	16,5±1,7	27,1±2,1a
9	0,7±0,1b	4,3±0,1bc	1,2±0,1ab	5,6±0,2bc	6,9±0,6	2,1±0,9	1,2±0,2ab	1,5±0,1b	11,9±1,3	9,7±0,5	3,7±0,4	1,7±0,4	21,1±1,9	36,3±2,5a
p**	0,01	0,003	0,004	0,001	0,2	0,5	0,01	0,002	0,2	0,051	0,2	0,8	0,007	0,01

*Tratamento: 1 = controle; 2 = 100% URP; 3 = 90% URP + 10% U; 4 = 80% URP + 20% U; 5 = 70% URP + 30% U; 6 = 60% URP + 40% U; 7 = 50% URP + 50% U; 8 = 100% U; 9 = ureia em manejo convencional. ***p* = probabilidade do teste F; letras minúsculas comparam as médias dos tratamentos em cada coluna e em cada solo ($p \leq 0,05$). € m ± epm (média ± erro padrão da média). V4 = quatro folhas totalmente expandidas; V12 = doze folhas totalmente expandidas; R3 = grãos leitosos; R6 = maturação fisiológica.

controle, e 7:1 para os demais tratamentos.

No LVd, em V4 na Tabela 12, o tratamento 60%URP + 40%U apresentou maior acúmulo de SPA ($1,3 \text{ kg ha}^{-1}$) que o controle e UMC, que não foram diferentes entre si, e apresentaram média de acúmulo de SPA de $0,7 \text{ kg ha}^{-1}$; os demais tratamentos não apresentaram diferença entre si e apresentaram média de acúmulo de SPA de 1 kg ha^{-1} ($p \leq 0,05$). Em V12, o tratamento com 50%URP + 50%U apresentou maior acúmulo total de SPA ($7,7 \text{ kg ha}^{-1}$) que o 100%URP, UMC e controle, que não foram diferentes entre si e apresentaram média de acúmulo total de SPA de $5,3 \text{ kg ha}^{-1}$; os demais tratamentos não diferiram entre si com média de acúmulo total de SPA de $6,7 \text{ kg ha}^{-1}$ ($p \leq 0,05$). Em R3 e R6, não houve diferença nos acúmulos totais de SPA entre os tratamentos com média de 15,4 e $32,5 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. O acúmulo de S nos grãos em R6 nos tratamentos foi em média de 20 kg ha^{-1} o que correspondeu a 61% do SPA total acumulado (Figura 13 (S)). A relação N:S considerando os acúmulos totais de NPA e SPA em R6, foi de 7:1 para todos os tratamentos.

Bender et al. (2013) encontraram valor médio de acúmulo de SPA em R6 para os híbridos modernos de milho de 26 kg ha^{-1} , considerando uma aplicação na semeadura de 42 kg ha^{-1} de enxofre e um total de 319 kg ha^{-1} de nitrogênio. A TMA de enxofre foi de $0,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, ocorrendo entre V10 e V14. O acúmulo médio de S nos grãos foi de 57% do SPA total acumulado. A relação N:S no trabalho desses autores, considerando o acúmulo total de NPA e SPA no estádio R6, foi de 11:1. Cantarella (2007) observou que de modo geral a relação N:S em plantas de milho pode variar de 8 a 12 para 1. Phillips (1972), citado por Gamboa (1980), para uma produção de 9 Mg ha^{-1} de grãos no milho observou um acúmulo de NPA de 180 kg ha^{-1} e SPA de 18 kg ha^{-1} resultando em uma relação N:S de 10:1. Barber e Olson (1968), citado por Faria (1986), obtiveram para uma produção de 9 Mg ha^{-1} de grãos no milho o acúmulo de NPA de 170 kg ha^{-1} e SPA de 19 kg ha^{-1} , e uma relação N:S de 9:1.

Pode ser observado neste trabalho, no LVAd e em V12, estádio em que provavelmente ocorreu a TMA de enxofre e, também, com base no verificado por Bender et al. (2013), que a maioria dos tratamentos foram superiores ao controle no acúmulo total de SPA, mostrando que os tratamentos com N possibilitaram o acúmulo de S nesse estádio; como o tratamento com 100%U apresentou maior quantidade de nitrogênio mineral nas camadas mais profundas que o UMC, e o UMC possuía maior quantidade de nitrogênio mineral na camada superficial em V12 (González Villalba, 2013) isso explicaria o maior acúmulo de SPA no tratamento com 100%U em relação a UMC, uma vez que o sistema radicular do tratamento com 100%U possivelmente estava mais desenvolvido e favoreceu a absorção do enxofre nas camadas mais

profundas do solo. Em R3, os tratamentos adubados com N não apresentaram diferença entre si no acúmulo total de SPA, o que evidencia que todos os tratamentos conseguiram aproveitar da mesma forma o enxofre do solo.

Em R6, no LVAd, foi verificada similaridade estatística do acúmulo de enxofre nos grãos (Tabela 12) com a produtividade de grãos (Tabela 4), sendo os tratamentos com 100% URP e 70%URP + 30%U que apresentaram maior produtividade comparado com o controle, também apresentaram maior acúmulo de S nos grãos do que o controle. Coincidência ou não, todos os tratamentos tiveram a disposição uma quantidade de 14 e 22 mg dm⁻³ de enxofre nas camadas 0-20 e 20-40 cm nesse solo (Tabela 1), respectivamente; também foi aplicado o superfosfato simples que continha 8% de enxofre. A URP possui uma camada com 9,73% de enxofre elementar, que é uma barreira física para a difusão da ureia do meio interno do grânulo para o externo (solo), e acima dessa camada de enxofre possui uma camada de 0,78% de polímeros vegetais. Os tratamentos com 100%URP e 70%URP + 30%U apresentaram maior acúmulo de enxofre nos grãos que o tratamento com UMC, sugerindo que esses tratamentos com URP além de aproveitar o S do solo e do superfosfato simples, também contaram com o S elementar que de alguma forma tenha se oxidado, no período entre os estádios R3 e R6, após provável ruptura dos polímeros, quando boa parte do N-ureia havia sido liberado, iniciando o processo de degradação natural dos polímeros (TRENKEL, 2010). Stipp e Casarin (2010) observaram que os solos de muitas regiões brasileiras possuem condições favoráveis para a oxidação do enxofre elementar. As maiores taxas de oxidação de fertilizantes contendo enxofre elementar ocorreram quando eles foram misturados ao solo (CHIEN; FRIESEN; HAMILTON, 1988) que foi a forma de aplicação usada neste experimento. A conversão de enxofre elementar em sulfato está inversamente relacionada ao teor de argila do solo (JANZEN; BETTANY, 1987; LAWRENCE; GERMIDA, 1988; DENG; DICK, 1990; HOROWITZ; MEURER, 2006), ou seja, quanto menor o teor de argila maior a conversão, e o LVAd neste experimento possuía baixo teor de argila (Tabela 1). Horowitz e Meurer (2006) observaram que a oxidação de enxofre elementar aumentou acentuadamente após 22 dias em solos tropicais no Brasil, estando relacionado com o crescimento da população de microrganismos oxidantes que colonizaram o enxofre elementar, isso mostrando que é possível que tenha ocorrido oxidação do enxofre elementar no intervalo entre os estádios R3 e R6, que foi de 47 dias, neste experimento. Reforçando esta hipótese, existe uma relação direta ($R = 0,8$; $p \leq 0,05$) entre a quantidade de S⁰ da URP em cada tratamento (Tabela 2) e a quantidade de S total acumulado na planta nos tratamentos em R6 no LVAd (Tabela 12).

O aumento da produtividade de grãos do milho está relacionado com o adequado suprimento de nitrogênio e enxofre para formação de aminoácidos e proteínas para as plantas (STIPP; CASARIN, 2010), e o tratamento com UMC apesar de ter apresentado um menor acúmulo de enxofre nos grãos comparado com os tratamentos com 100%URP e 70%URP + 30%U, apresentou adequada relação N:S e acúmulo adequado de SPA (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1989; PAIS; JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004). A relação N:S do tratamento com 70%URP + 30%U foi baixa comparada com o que foi observado na literatura, em função do maior acúmulo de SPA. Outra hipótese, para a superioridade do acúmulo de enxofre nos grãos nos tratamentos com 100%URP e 70%URP + 30%U comparado com o controle e UMC, no LVAd, é que não ocorreu a oxidação do enxofre da URP e os tratamentos com URP por liberarem o N de forma controlada, sendo que as raízes que estavam bem desenvolvidas (FAGERIA; CARVALHO, 2014) buscaram também pelo N nas camadas mais profundas do solo, e absorveram, também, o sulfato presente nas camadas mais profundas e do sulfato proveniente do superfosfato simples que percolou no perfil do solo com a água. Essas inferências podem ser feitas considerando que o LVAd por possuir um baixo teor de argila proporcionou a percolação devido a baixa capacidade de retenção de água no solo, e nos tratamentos controle e UMC podem ter desenvolvido menos o sistema radicular das plantas e absorvido menos o sulfato e, conseqüentemente, acumulado menos enxofre nos grãos.

No LVd, assim como observado no LVAd, a maioria dos tratamentos com nitrogênio promoveram melhor aproveitamento do enxofre no estágio V12. Em R3 e R6 todos os tratamentos apresentaram o mesmo comportamento, sendo que o solo possivelmente forneceu o nitrogênio para o tratamento controle devido a provável elevada capacidade de mineralização da MOS, e esse nitrogênio proporcionou aproveitamento do enxofre parecido com os demais tratamentos nesse período. Não foi observado uma possível resposta do enxofre proveniente da URP como pareceu ocorrer no LVAd, entre os estádios R3 e R6, isso provavelmente por esse solo possuir um maior teor de argila, uma vez que sabe-se que quanto maior o teor de argila menor é a conversão de enxofre elementar para sulfato (JANZEN; BETTANY, 1987; LAWRENCE; GERMIDA, 1988; DENG; DICK, 1990; HOROWITZ; MEURER, 2006); também pode ter ocorrido mineralização da MOS disponibilizando o enxofre, uma vez que o fluxo de enxofre na biomassa dos microrganismos é normalmente rápido, podendo ser uma importante fonte de enxofre para as plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Além disso, o LVd possuía maior capacidade de retenção de água que o LVAd proporcionando menor percolação do sulfato e, por conseqüência, maior

aproveitamento pelas plantas pela sua absorção nas camadas superficiais, o que explicaria o acúmulo similar do SPA total, inclusive no UMC, com os demais tratamentos no LVd. A relação N:S no LVd para todos os tratamentos foram adequadas considerando o observado em trabalhos da literatura, citados anteriormente.

Os tratamentos com URP+U e os demais tratamentos com nitrogênio foram eficientes no LVAd, proporcionando acúmulo de SPA adequado para o desenvolvimento da cultura. Caso o enxofre elementar da URP tenha sido oxidado, entre R3 e R6 no LVAd, isso dá evidência que além de ter servido como uma proteção física para ureia, e juntamente com os polímeros vegetais contribuir para a liberação controlada do nitrogênio, esse S também foi aproveitado pelas plantas de milho elevando o acúmulo de enxofre nos grãos e a produtividade de alguns tratamentos.

4.2 Experimento em casa de vegetação (I)

Na Figura 5, verifica-se que as temperaturas máxima e mínima no interior da casa de vegetação variaram durante o período experimental, respectivamente, de 29 a 44 °C e de 19 a 23 °C. Na Tabela 13 constam os valores da probabilidade (p) do teste F da análise de variância (ANOVA) para todos os parâmetros avaliados no experimento. Considerando $p \leq 0,05$ como significativo; a interação profundidade dos fertilizantes x tempo foi significativa para a altura e diâmetro do milho. A profundidade de aplicação dos fertilizantes foi significativa para a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR), massa seca total (MStotal), acúmulo de N na parte aérea (NPA), acúmulo de N em raízes (NR), acúmulo de N total (Ntotal), pH do solo na linha do fertilizante (pHLF) e pH do solo na linha da semeadura (pHLS). A interação profundidade do fertilizante x camada de solo foi significativa para a condutividade elétrica na linha do fertilizante (CELf) e para condutividade elétrica do solo na linha da semeadura (CELS), e a interação camada de solo x fonte foi significativa para a CELf. A interação distância de aplicação dos fertilizantes x fonte foi significativa para MSPA, MStotal, NPA, Ntotal e altura do milho. Apesar de ter ocorrido interação tripla significativa (fonte x distância x tempo) para o diâmetro do milho, ela não foi apresentada nos resultados, uma vez que a interação distância x fonte para o diâmetro, que contribuiria para explicar parte da interação tripla, não apresentou diferença entre as médias mesmo apresentando valor de $p \leq 0,05$. A interação camada de solo x distância do fertilizante foi significativa para a CELS. A distância foi significativa para a CELf e pHLS.

Tabela 13 - Valores da probabilidade do teste F (*p*) na análise de variância para massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR), massa seca total (MStotal), acúmulo de N na parte aérea (NPA), acúmulo de N nas raízes (NR), acúmulo de N total (Ntotal), altura e diâmetro do colmo, condutividade elétrica do solo na linha do fertilizante (CELF), condutividade elétrica do solo na linha da sementeira (CELS), pH do solo na linha do fertilizante (pHLF) e pH do solo na linha da sementeira (pHLS).

Fontes de Variação	MSPA	MSR	MStotal	NPA	NR	Ntotal	Altura	Diâmetro	CELF	CELS	pHLF	pHLS
Novo (N)*	0,0739	0,0555	0,0593	0,0258	0,2608	0,0381	0,3826	0,3418	1.10^{-5}	1.10^{-7}	0,0170	0,0740
N x Distância (D)	0,9866	0,9670	0,9901	0,5146	0,9029	0,8337	0,9113	0,4256	0,0335	5.10^{-6}	0,5746	0,0337
N x Profundidade (P)	3.10^{-5}	0,0032	7.10^{-5}	9.10^{-6}	0,0031	1.10^{-5}	0,0198	0,0010	0,0069	0,0173	0,0017	0,00821
N x Fonte (F)	0,1181	0,1067	0,1028	0,0466	0,0833	0,0429	0,0694	0,1665	0,0091	0,5005	0,0986	0,8920
N x D x P	0,4956	0,5464	0,5048	0,5737	0,1712	0,5605	0,3960	0,4009	0,3050	0,1228	0,8383	0,3555
N x D x F	0,0064	0,2698	0,0183	0,0053	0,2215	0,0054	0,0072	0,0129	0,3530	0,4955	0,3676	0,1254
N x P x F	0,3737	0,4958	0,4598	0,1522	0,7775	0,0907	0,1347	0,3291	0,9117	0,1386	0,4585	0,4851
N x D x P x F	0,1230	0,1926	0,1446	0,0623	0,0416	0,0669	0,4929	0,4915	0,6567	0,1434	0,9002	0,6166
N x Tempo (T)	-	-	-	-	-	-	1.10^{-5}	2.10^{-5}	-	-	-	-
N x F x T	-	-	-	-	-	-	0,0048	0,1204	-	-	-	-
N x P x T	-	-	-	-	-	-	0,0005	1.10^{-5}	-	-	-	-
N x D x T	-	-	-	-	-	-	0,8459	0,3718	-	-	-	-
N x F x P x T	-	-	-	-	-	-	0,7204	0,0628	-	-	-	-
N x F x D x T	-	-	-	-	-	-	0,1169	0,0375	-	-	-	-
N x P x D x T	-	-	-	-	-	-	0,5926	0,4683	-	-	-	-
N x F x P x D x T	-	-	-	-	-	-	0,1271	0,1788	-	-	-	-
Camada de solo (C)	-	-	-	-	-	-	-	-	2.10^{-11}	3.10^{-6}	0,1365	0,0069
N x C	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2350	0,5309	0,6699	0,7660
N x C x D	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7002	0,0006	0,5052	0,6068
N x C x P	-	-	-	-	-	-	-	-	5.10^{-7}	0,0001	0,0984	0,3085
N x C x F	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0069	0,7711	0,2189	0,1944
N x C x D x P	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3126	0,6234	0,9821	0,5833
N x C x D x F	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8436	0,0818	0,7586	0,4257
N x C x P x F	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1108	0,1280	0,1370	0,8787
N x C x D x P x F	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6097	0,0749	0,8366	0,8326

* fator novo foi criado para verificar o efeito do controle versus os demais tratamentos.

Todas as sementes germinaram e não foram observados sintomas visuais de efeito salino do fertilizante aplicado ou de toxidez de nitrogênio nas plantas de milho durante o período experimental, como pontos amarelados, clorose generalizada ou necrose nas folhas.

Na Tabela 14 são apresentados os desdobramentos da interação profundidade x tempo para a altura de plantas e diâmetro do colmo, sendo observado que para todas as profundidades de aplicação do fertilizante nitrogenado (5, 10 e 15 cm) ocorreu aumento da altura e diâmetro ao longo do tempo (7, 12, 17, 22, 27 e 32 dias após a emergência (DAE)). Aos 27 DAE a profundidade de 15 cm proporcionou maior diâmetro comparado com a profundidade de 5 cm, ocorrendo o mesmo aos 32 DAE para o diâmetro e para a altura.

A profundidade do fertilizante nitrogenado também influenciou na MSPA, NPA, MSR, NR, MStotal e Ntotal (Figura 14 A, B, C, D, E e F), sendo que a profundidade de 15 cm proporcionou maior MSPA e NPA do que as profundidades de 10 e 5 cm. A medida que se aumentou a profundidade de aplicação do fertilizante nitrogenado aumentou, também, a MSPA e NPA. O mesmo comportamento foi observado para MStotal e Ntotal. A profundidade de 15 cm proporcionou maior MSR comparado com a de 5 cm e também foi superior comparado com as profundidades de 10 e 5 cm para o NR.

Na Figura 15 são apresentados os desdobramentos da interação profundidade x camada de solo para a CELF (A), profundidade x camada de solo para a CELS (B), camada

Tabela 14 - Influência da profundidade (5, 10 e 15 cm a partir da semente) de aplicação do fertilizante nitrogenado (100%U e 70%URP + 30%U) na altura (cm) e diâmetro do colmo (mm) de plantas de milho ao longo do tempo, para uma dose de 135 mg kg⁻¹ de N na semeadura do milho no LVe, equivalente a 180 kg ha⁻¹ de N.

profundidade	tempo (DAE)						média
(cm)	7	12	17	22	27	32	
	altura (cm)						
5	7,1 aF	9,9 aE	12,1 aD	16,4 aC	20,1 aB	27,1 bA	15,4
10	7,3 aF	10,1 aE	12,5 aD	16,9 aC	20,7 aB	28,7 abA	16,1
15	7,3 aF	9,9 aE	12,6 aD	17,6 aC	21,6 aB	30,2 aA	16,5
média	7,3	10	12,4	17	20,8	28,6	
C.V.(%)	10,2	8,9	9,9	9,9	9,6	11,4	
	diâmetro (mm)						
5	3,4 aF	4,3 aE	5,1 aD	6,8 aC	8,7 bB	11,8 bA	6,7
10	3,6 aF	4,4 aE	5,3 aD	7,2 aC	9,3 abB	12,9 abA	7,1
15	3,7 aF	4,5 aE	5,3 aD	7,5 aC	9,9 aB	13,5 aA	7,4
média	3,5	4,4	5,2	7,2	9,3	12,6	
C.V.(%)	17,6	14,3	10,2	9,6	12,2	13,8	

letra minúscula: comparação das profundidades em cada tempo; letra maiúscula: comparação de cada profundidade ao longo do tempo; DAE: dias após a emergência do milho. Médias com letras distintas apresentam diferença significativa entre si quando comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 14 - Influência da profundidade (5, 10 e 15 cm a partir da semente) de aplicação do fertilizante nitrogenado (100%U e 70%URP + 30%U) na massa seca da parte aérea (A), massa seca da raiz (C) e massa seca total (E) em g planta⁻¹ e no acúmulo de N na parte aérea (B), acúmulo de N na raiz (D) e acúmulo de N total (F) em mg planta⁻¹, no desenvolvimento inicial do milho considerando uma dose de 135 mg kg⁻¹ de N na semeadura do milho no LVe, equivalente a 180 kg ha⁻¹ de N. Letras minúsculas comparam o parâmetro avaliado nas profundidades ($p \leq 0,05$) e a barra de erro indica o erro padrão da média.

Figura 15 - Influência da profundidade (5, 10 e 15 cm a partir da semente) do fertilizante nitrogenado (100%U e 70%URP + 30%U) na CELF (A) e na CELS (B) nas camadas de solo 0-9 e 9-18 cm, no pHLF (C) e no pHLS (D) do solo; influência de cada fonte (100%U e 70%URP + 30%U) na CELF nas camadas 0-9 e 9-18 cm (E) considerando uma dose de 135 mg kg⁻¹ de N na semeadura do milho no LVe, equivalente a 180 kg ha⁻¹ de N. Em A e B, letras minúsculas comparam a CE nas camadas de solo em cada profundidade e maiúsculas a CE em cada camada entre as profundidades; em C e D, letras minúsculas comparam o pH em cada profundidade; em E, letras minúsculas comparam a CE das fontes em cada camada e maiúsculas a CE de cada fonte entre as camadas ($p \leq 0,05$); a barra de erro indica o erro padrão da média. CE: condutividade elétrica.

de solo x fonte para CELF (E), influência da profundidade no pHLF (C) e no pHLS (D). Em A (Figura 15) observa-se que a CELF na camada 0-9 foi superior quando o fertilizante nitrogenado foi aplicado na profundidade de 5 cm, comparado com as aplicações nas profundidades 10 e 15 cm. Não foi observada diferença da CELF na camada 9-18 cm entre as profundidades de aplicação do fertilizante nitrogenado. Não houve diferença da CELF entre as camadas de solo 0-9 e 9-18 cm quando o fertilizante nitrogenado foi aplicado na profundidade de 5 cm. Já nas profundidades de 10 e 15 cm houve diferença de CELF entre as camadas de solo 0-9 e 9-18 cm. Em E (Figura 15), a CELF aumentou da camada de solo 0-9 para a 9-18 cm quando foi aplicado 100%U, ocorrendo o mesmo quando aplicada à mistura de 70%URP + 30%U. Na camada 0-9 cm não foi observada diferença na CELF entre as fontes (100%U e 70%URP + 30%U); havendo maior CELF na camada 9-18 cm quando foi aplicado 70%URP + 30%U comparado com 100%U. Em C (Figura 15), o pHLF foi maior quando o fertilizante nitrogenado foi aplicado na profundidade de 15 cm, comparado com as profundidades de 10 e 5 cm, que não apresentaram diferença entre si. Em B (Figura 15), a profundidade de aplicação do fertilizante nitrogenado reduziu a CELS na camada 0-9 cm. Não foi observada diferença na CELS na camada 9-18 cm entre as profundidades de aplicação do fertilizante nitrogenado. Quando o fertilizante nitrogenado foi aplicado na profundidade de 5 cm, não ocorreu diferença nas CELS entre as camadas de solo 0-9 e 9-18 cm. Já nas profundidades 10 e 15 cm, houve diferença de CELS entre as camadas de solo 0-9 e 9-18 cm. Em D (Figura 15), o pHLS foi maior quando o fertilizante nitrogenado foi aplicado na profundidade de 10 e 15 cm, comparado com a aplicação na profundidade de 5 cm.

Na Figura 16 são apresentados os desdobramentos da interação distância x fonte para a altura do milho (A), MSPA (B), NPA (C), MStotal (D) e Ntotal (E). Em todos os casos a fonte 70%URP + 30%U foi superior à fonte 100%U quando a aplicação foi feita na distância de 0 cm (abaixo da linha de semeadura do milho). Não houve diferença entre as fontes dentro das distâncias 10 e 15 cm e para cada fonte entre as distâncias 0, 5 e 10 cm nesses casos, com exceção ao Ntotal (Figura 16, E) que apresentou diferença entre as distâncias 0 e 10 cm quando a fonte utilizada foi a 70%URP + 30%U.

Na Figura 17 constam os desdobramentos da interação da distância x camada de solo para a CELS (B) e a influência da distância na CELF (A) e no pHLS (C). Em A (Figura 17), a CELF foi menor quando o fertilizante nitrogenado foi aplicado na distância de 10 cm comparado com a distância de 0 cm. Em B (Figura 17), a CELS foi maior na camada de solo 9-18 cm comparado com a camada 0-9 cm quando o fertilizante nitrogenado foi aplicado na

Figura 16 - Influência da distância (0, 5 e 10 cm a partir da semente) do fertilizante nitrogenado (100%U e 70%URP + 30%U) na altura do milho em cm (A), na massa seca da parte aérea (B) e total (D) em g planta⁻¹, no acúmulo de N na parte aérea (C) e total (E) em mg planta⁻¹, no desenvolvimento inicial do milho para uma dose de 135 mg kg⁻¹ de N na semeadura no LVe, equivalente a 180 kg ha⁻¹ de N. Letras minúsculas comparam as fontes dentro de cada distância para cada parâmetro avaliado e letras maiúsculas comparam a fonte entre as distâncias (E) ($p \leq 0,05$); a barra de erro indica o erro padrão da média.

Figura 17 - Influência da distância (0, 5 e 10 cm a partir da semente) do fertilizante nitrogenado (100%U e 70%URP + 30%U) na CELF (A) e no pHLS (C) do solo; e na CELS nas camadas de solo 0-9 e 9-18 cm (B), considerando uma dose de 135 mg kg⁻¹ de N na semeadura do milho no LVe, equivalente a 180 kg ha⁻¹ de N. Letras minúsculas comparam as distâncias para os parâmetros avaliados em A e C; Em B, letras minúsculas comparam a CELS nas camadas de solo dentro de cada distância e maiúsculas comparam a CELS para cada camada entre as distâncias ($p \leq 0,05$); a barra de erro indica o erro padrão da média.

distância de 0 cm. A CELS na camada 9-18 cm diminuiu a medida que aumentou a distância de aplicação do fertilizante nitrogenado. Não houve diferença na CELS na camada de 0-9 cm entre as distâncias de aplicação do fertilizante nitrogenado. Em C (Figura 17), o pHLS foi maior quando o fertilizante nitrogenado foi aplicado à distância de 10 cm, comparado às distâncias 0 e 5 cm, que não apresentaram diferença entre si.

Na literatura pode ser observado que a presença de sais reduz a germinação de sementes devido ao baixo aproveitamento de água pelas sementes que é provocado pela redução do potencial hídrico entre o solo e a superfície da semente (LOPES; MACEDO, 2008). Além disso, a ureia reduz a germinação das sementes de milho quando estas estão

praticamente em contato com o fertilizante, pois quando ocorre a hidrólise da ureia, a amônia resultante dessa hidrólise é suficiente para reduzir a germinação devido ao efeito tóxico desse gás em solução junto às sementes do milho (BRAGE; ZICH; FINE, 1960; COURT; STEPHEN; WAID, 1964; BREMMER, 1995). Nessa situação a amônia além de influenciar na germinação das sementes também pode causar danos no desenvolvimento inicial das plantas em função da toxidez (LOW; PIPER, 1961; COURT; STEPHEN; WAID, 1964). Oliveira (2013), avaliando o efeito de doses de diferentes fertilizantes nitrogenados na germinação do milho, em vaso, incluindo ureia e ureia revestida com enxofre e polímero, observou que quando os fertilizantes nitrogenados foram aplicados em uma profundidade de 3 cm no solo a partir das sementes de milho, em média 95% das sementes germinaram tanto em solo argiloso quanto em solo arenoso, mostrando que não houve influência na germinação; porém foram observados sintomas visuais de toxidez como pontos amarelados, clorose generalizada ou necrose nas folhas no desenvolvimento inicial, sendo mais severo no solo arenoso. Esse autor associou esses efeitos de toxidez na planta com o amônio, que quando acumulado nos tecidos pode causar toxidez, e com a amônia presente no solo.

Neste trabalho a profundidade mínima do fertilizante foi de 5 cm em relação a posição da semente do milho, e nenhuma das profundidades avaliadas afetaram na germinação das sementes e não causaram toxidez nas plantas de milho durante o período experimental, com os fertilizantes nitrogenados utilizados, independente das distâncias de aplicação. Porém, pode ser observado uma menor MSPA, NPA, NR, MStotal e Ntotal quando o fertilizante foi aplicado na profundidade de 5 e 10 cm comparado com a de 15 cm e menor MSR quando o fertilizante foi aplicado na profundidade de 5 cm comparado com a de 15 cm, ocorrendo um provável efeito deletério causado pela concentração de sais dos fertilizantes nitrogenados, elevando a pressão osmótica na região do fertilizante e reduzindo a absorção de água e nutrientes pelas raízes nessa região; além disso, a planta pode ter perdido água que se encontrava no interior das raízes devido a menor pressão osmótica comparado com a região do fertilizante (DIAS; BLANCO, 2010), interferindo na massa seca e no acúmulo de nitrogênio, sendo que a profundidade de 15 cm resultou em melhores condições para o desenvolvimento inicial da planta. Isso vale também para a altura e diâmetro das plantas de milho podendo ser observado que aos 32 DAE, quando, provavelmente, ocorreu um aumento na taxa de acúmulo de N, a profundidade de 5 cm proporcionou menor altura e diâmetro comparado com a de 15 cm.

Vale destacar que as plantas de milho apresentam tolerância moderada com relação a concentração de sais no solo (RICHARDS, 1974; DAKER, 1976). Nos estádios iniciais de

desenvolvimento do milho as plantas são mais sensíveis do que em estádios mais avançados e o genótipo do milho influencia nessa tolerância (RADIÉ; BEATOVIÉ; MRDA, 2007). A tolerância a sais é normalmente apresentada por uma faixa de condutividade elétrica de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura. Maas et al. (1983), avaliando a tolerância de sais em cultivares de milho em diferentes estádios fenológicos, da germinação até a maturidade fisiológica, em casa de vegetação e em um solo orgânico, observou que o desenvolvimento inicial de plantas de milho foi mais sensível aos sais do que a germinação das sementes, e para a maioria das cultivares de milho avaliadas o limite da condutividade elétrica do solo para massa seca, aos 21 dias de desenvolvimento, foi abaixo de $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$, sendo que acima desse limite ocorreu redução no desenvolvimento inicial de 4,9 % para cada $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Foi observado neste trabalho que a CELF teve uma tendência a ser elevada na camada 9-18 cm mesmo quando o fertilizante nitrogenado foi aplicado na profundidade de 5 cm a partir da semente do milho, isso indica que provavelmente o nitrato percolou para a camada mais profunda. Não se pode deixar de considerar que o solo nativo utilizado neste experimento possuía um pouco de nitrato que provavelmente também contribuiu para elevar a condutividade elétrica nessa camada, justificando também o maior pHLF, quando a aplicação foi feita na profundidade de 15 cm. Provavelmente a planta absorveu mais nitrato nessa região, liberando o íon bicarbonato que em contato com água produziu íons hidroxilas (BRADY, 2013), contribuindo com a elevação do pH. Além disso, a fonte 70%URP + 30%U proporcionou maior CELF na camada 9-18 cm comparado com a fonte 100%U, que pode ser justificado pela presença da URP que é uma fonte insolúvel, pela cobertura da ureia com S e polímeros, que ficou concentrada no local de aplicação. Em média, a CELF na camada 9-18 cm foi de $1239 \mu\text{S cm}^{-1}$ quando foi utilizado a fonte 70%URP + 30%U, sugerindo que em torno desse valor de condutividade elétrica, para o LVe, o efeito deletério da concentração do fertilizante nitrogenado foi menor quando a aplicação foi feita na profundidade de 15 cm apresentando maior MStotal e Ntotal comparado com as profundidades de 5 e 10 cm.

Levando em consideração a distância de aplicação do fertilizante nitrogenado, independente da profundidade, quando a aplicação foi realizada na distância de 0 cm (abaixo da linha da semeadura) a fonte 100%U apresentou menor altura de planta, MSPA, NPA, MStotal e Ntotal, comparado com a fonte 70%URP + 30%U, indicando que pode ter ocorrido um efeito deletério da concentração do fertilizante nitrogenado na distância de 0 cm, da mesma forma que foi observado para as profundidades de aplicação, e que a fonte 70%URP + 30%U proporcionou melhores condições para o desenvolvimento inicial do milho, nessa

distância, sugerindo que o efeito salino dessa fonte foi menor comparado com a fonte 100%U. Apesar de não ter sido observado efeito para MSR e NR considerando a distância de aplicação, pode ser que tenha ocorrido um efeito deletério em função da concentração dos fertilizantes nitrogenados nos primeiros dias após a emergência, e no final do experimento, quando foi avaliado a MSR e NR, houve recuperação das raízes das plantas. Além disso, devido ao solo nativo usado neste experimento conter nitrato, pode ser que para as outras distâncias isso tenha mascarado os efeitos, não havendo interação entre as fontes. A fonte 70%URP + 30%U também apresentou maior Ntotal na distância de 0 cm comparado com a de 10 cm, indicando que essa fonte por conter uma parte com nitrogênio de liberação controlada, e por aparentar ter menor efeito salino, comparado com a fonte 100%U, proporcionou maior absorção do nutriente quando a aplicação foi feita em uma distância mais próxima da semente.

Com os resultados de CELF não é possível avaliar qual a condutividade elétrica para cada fonte, na distância de 0 cm, no momento que se iniciou o possível efeito deletério às plantas com 100%U, uma vez que a amostragem de solo foi realizada somente no final do experimento. Porém pode ser observado que no estágio fisiológico das plantas de milho quando o solo foi amostrado para se medir a CELF, provavelmente, já estava ocorrendo incremento nas taxas de acúmulos de nitrogênio, e, por isso, não houve interação entre as fontes; quando o fertilizante foi aplicado na distância de 0 cm a CELF nessa região, certamente, foi superior que a aplicação na distância de 10 cm, indicando que naquele estágio pode ter ocorrido maior absorção de N pelas plantas na distância de 10 cm, considerando a média dos valores das duas fontes, ocorrendo um efeito compensatório, o que não condiz com o efeito isolado observado para o Ntotal da fonte 70%URP + 30%U que indicou ter ocorrido menor absorção na distância de 10 cm. Esse efeito no Ntotal provavelmente indicaria algo que foi gerado desde o início e a CELF somente dá indicação de algo pontual. O pHLS foi menor quando o fertilizante foi aplicado nas distâncias de 0 e 5 cm comparado com a distância de 10 cm, indicando que quando o fertilizante estava mais próximo da linha da semeadura o pH do solo desse local reduziu em função da absorção de cátions que fazem com que as raízes liberem íons de hidrogênio para a solução do solo.

Neste experimento foi considerado um solo argiloso, sendo que provavelmente em solos arenosos os efeitos podem ser ainda mais visíveis em função da baixa capacidade de retenção de água.

Este experimento foi realizado em casa de vegetação, havendo um cuidado em manter as distâncias e profundidades de aplicação dos fertilizantes nitrogenados em relação a semente

do milho. Em situações de campo temos que considerar que existe um risco alto da semente entrar em contato com o fertilizante nitrogenado quando a aplicação de fertilizantes é feita abaixo da linha da semeadura (SU et al., 2010) usando adubadoras pneumáticas, o que reduziria a germinação das sementes e aumentaria possíveis efeitos de toxidez na planta. Dessa forma, considerando os resultados deste experimento e o que poderia ocorrer no campo, pode ser recomendado uma profundidade de 15 cm e uma distância de 10 cm da semente do milho para adubações de forma incorporada aplicando-se doses da ordem de 180 kg ha^{-1} de nitrogênio na semeadura, considerando o uso da fonte 100% U ou 70%URP + 30%U. Ressaltando que a aplicação incorporada a uma distância de 10 cm pode ser realizada no campo usando técnicas como agricultura de precisão, em que pode ser demarcada a linha da semeadura com precisão, com o auxílio de um receptor GPS, e configurar a aplicação do fertilizante a uma distância de 10 cm da linha da semeadura; outra alternativa seria fazer a regulação da adubadora visando essa distância e profundidade de aplicação do fertilizante. Nesta situação, o produtor deve levar em consideração o custo dessa aplicação alternativa. A confirmação da eficácia dessa recomendação de profundidade e distância pode ser feita em experimentos de campo.

4.3 Experimento em casa de vegetação (II)

Na Figura 7, verifica-se que as temperaturas mínima, máxima e umidade relativa média no interior da casa de vegetação variaram durante o período experimental, respectivamente, de 19 a 24 °C, 29 a 36 °C e de 77 a 88%.

Na Tabela 15 constam os valores da probabilidade (p) do teste F da análise de variância (ANOVA) para todos os parâmetros avaliados no experimento. Considerando $p \leq 0,05$ como significativo, a interação solo x tempo foi significativa para altura e diâmetro e a interação tratamento x tempo foi significativa para o diâmetro do milho. A interação solo x tratamento foi significativa para a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MStotal), acúmulo de N na parte aérea (NPA), acúmulo de N na raiz (NR), acúmulo de N total (Ntotal). As interações solo x local de amostragem do solo, tratamento x camada de solo, e local de amostragem do solo x camada de solo foram significativas para a condutividade elétrica do solo (CE). A interação quádrupla solo x tratamento x local de amostragem do solo x camada de solo foi significativa para o pH do solo, nesse caso para explicar essa interação foram consideradas as mesmas interações duplas da CE que também foram significativas para o pH.

Tabela 15 - Valores da probabilidade do teste F (*p*) da análise de variância para massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MStotal), acúmulo de N na parte aérea (NPA), acúmulo de N na raiz (NR), acúmulo de N total (Ntotal), altura e diâmetro do colmo, condutividade elétrica (CE) e pH do solo.

Fontes de Variação	MSPA	MSR	MStotal	NPA	NR	Ntotal	Altura	Diâmetro	CE	pH
Solo (S)	10^{-12}	2.10^{-16}	10^{-14}	2.10^{-12}	10^{-14}	7.10^{-14}	10^{-5}	10^{-5}	0,0004	0,7213
Tratamento (Tr)	0,0740	0,0022	0,0535	6.10^{-6}	4.10^{-5}	10^{-6}	0,7025	0,5332	$<10^{-4}$	0,0004
S x Tr	0,0216	0,0004	0,0065	9.10^{-9}	2.10^{-5}	10^{-8}	0,5355	0,6608	0,4405	0,2178
Tempo (T)	-	-	-	-	-	-	0,0127	$<10^{-4}$	-	-
S x T	-	-	-	-	-	-	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	-	-
Tr x T	-	-	-	-	-	-	0,4868	0,0026	-	-
S x T x Tr	-	-	-	-	-	-	0,0983	0,2345	-	-
LAS*	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6261	$<10^{-4}$
S x LAS	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0012	0,0191
Tr x LAS	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2052	$<10^{-4}$
S x Tr x LAS	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1454	$<10^{-4}$
camada de solo (C)	-	-	-	-	-	-	-	-	$<10^{-4}$	0,0396
S x C	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2697	0,6256
Tr x C	-	-	-	-	-	-	-	-	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$
S x Tr x C	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5979	0,2396
LAS x C	-	-	-	-	-	-	-	-	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$
S x LAS x C	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0339	0,9214
Tr x LAS x C	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	$<10^{-4}$
S x Tr x LAS x C	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6983	0,0043

*LAS = Local de amostragem do solo (linha do fertilizante e linha da semeadura).

Solo = Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) e Latossolo Vermelho eutrófico (LVe); Tratamentos = 0, 67,5, 135, 270 e 405 mg kg⁻¹ de N; Tempo = 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 dias após a emergência (DAE); camada de solo = 0-9 e 9-18 cm.

As sementes de milho na sua totalidade germinaram em todos os tratamentos e não foram observados sintomas visuais de efeito salino do fertilizante aplicado ou de toxidez de nitrogênio nas plantas de milho durante o experimento.

Na Tabela 16 constam os desdobramentos da interação solo x tempo para altura das plantas e diâmetro do colmo de milho e da interação tratamento x tempo para o diâmetro do colmo de milho. Pode ser observado que a altura e o diâmetro do milho aumentaram ao longo do tempo em cada solo, ocorrendo o mesmo para o diâmetro considerando cada tratamento. A partir dos 30 dias após a emergência (DAE) as plantas de milho apresentaram maior altura no Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) comparado com o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd). O mesmo ocorreu para o diâmetro dos colmos a partir dos 25 DAE; e a partir dos 35 DAE o diâmetro foi superior no tratamento com 135 mg kg⁻¹ de N (equivalente a 180 kg ha⁻¹) comparado com o tratamento com 0 mg kg⁻¹ de N.

Tabela 16 - Influência do solo na altura das plantas (cm) e diâmetro (mm) dos colmos de milho ao longo do tempo, considerando os tratamentos 0, 67,5, 135, 270 e 405 mg kg⁻¹ de N (equivalente a 0, 90, 180, 360 e 540 kg ha⁻¹ de N, respectivamente) para uma aplicação na profundidade de 15 cm e distância de 10 cm da semente do milho com a fonte 70%URP + 30%U, e influência de cada um desses tratamentos no diâmetro do colmo de plantas de milho com o tempo.

Solo	Tempo (DAE)							média
	10	15	20	25	30	35	40	
	altura (cm)							
LVe	8,8 aG	15,9 aF	21,8 aE	27,9 aD	49,1 aC	75,7 aB	101,1 aA	42,9
LVAd	9,1 aG	15,4 aF	22,1 aE	28,1 aD	46,7 bC	61,4 bB	82,6 bA	37,9
média	8,9	15,6	21,9	28	49,9	68,5	91,8	
C.V.(%)	7,6	6,5	4,8	4,2	7,4	18,9	12,8	
	diâmetro (mm)							
LVe	3,4 bG	5,3 aF	7,8 aE	13,2 aD	19,5 aC	21,7 aB	22,6 aA	13,3
LVAd	3,2 aF	5,1 aE	7,7 aD	12,3 bC	16,2 bB	17,9 bA	18,2 bA	11,5
média	3,3	5,2	7,7	12,7	17,8	19,8	20,4	
C.V.(%)	6,9	7,3	8,5	8,4	11,5	11,8	12,8	
Tratamento								
0	3,4 aG	5,3 aF	8,1 aE	13,1 aD	17,4 aC	18,8 bB	19,6 bA	12,2
67,5	3,3 aF	5,1 aE	7,7 aD	12,8 aC	17,9 aB	20,3 abA	20,7 abA	12,5
135	3,1 aF	5,2 aE	7,7 aD	12,7 aC	18,4 aB	20,8 aA	21,4 aA	12,7
270	3,4 aF	5,2 aE	7,7 aD	12,7 aC	18,1 aB	19,9 abA	20,4 abA	12,5
405	3,3 aG	5,1 aF	7,6 aE	12,4 aD	17,3 aC	19,4 abB	20,3 abA	12,2
média	3,3	5,2	7,7	12,7	17,8	19,8	20,4	
C.V.(%)	6,9	7,3	8,5	8,4	11,5	11,8	12,8	

letra minúscula: comparação dos solos e tratamentos em cada tempo; letra maiúscula: comparação de cada solo e tratamento ao longo do tempo; DAE: dias após a emergência do milho. Médias com letras distintas apresentam diferença significativa entre si quando comparadas pelo teste de Tukey a 5%. LVe: Latossolo Vermelho eutrófico; LVAd: Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.

Os desdobramentos da interação solo x tratamento para MSPA, NPA, MSR, NR, MStotal e Ntotal podem ser observados na Figura 18 (A, B, C, D, E e F).

No LVAd, a MSPA, NPA, NR, MStotal e Ntotal apresentaram comportamento quadrático em resposta ao aumento da quantidade de N aplicado e a MSR teve uma redução linear (Figura 18). A MSPA partiu de 35 g planta⁻¹ no tratamento com 0 mg kg⁻¹ de N, passando por um máximo de 44 g planta⁻¹ em 193 mg kg⁻¹ de N (equivalente a 257 kg ha⁻¹ de N) de acordo com a derivada da função igualada a zero para esse solo, decrescendo para 36 g planta⁻¹ no tratamento com 405 mg kg⁻¹ de N (equivalente a 540 kg ha⁻¹ de N). O NPA partiu de 406 mg planta⁻¹ no tratamento com 0 mg kg⁻¹ de N, passando por um máximo de 1302 mg planta⁻¹ em 270 mg kg⁻¹ de N (equivalente a 360 kg ha⁻¹ de N), e um decréscimo para 1078 mg planta⁻¹ no tratamento com 405 mg kg⁻¹ de N, sendo que o tratamento com 135 mg kg⁻¹ de N (equivalente a 180 kg ha⁻¹ de N) também apresentou NPA de 1078 mg planta⁻¹. A MSR apresentou um máximo de 8,6 g planta⁻¹ no tratamento com 0 mg kg⁻¹ de N decrescendo até 5,3 g planta⁻¹ no tratamento com 405 mg kg⁻¹ de N. O NR partiu de 55 mg planta⁻¹ no tratamento com 0 mg kg⁻¹ de N, passando por um máximo de 178 mg planta⁻¹ em 243 mg kg⁻¹ de N (equivalente a 324 kg ha⁻¹ de N), decrescendo para 124 mg planta⁻¹ no tratamento com 405 mg kg⁻¹ de N, sendo que o tratamento com 135 mg kg⁻¹ de N resultou em 154 mg planta⁻¹ de NR. A MStotal iniciou com 46 g planta⁻¹ no tratamento com 0 mg kg⁻¹ de N, havendo um máximo de 55 g planta⁻¹ em 207 mg kg⁻¹ de N (equivalente a 276 kg ha⁻¹ de N), decrescendo para 46 g planta⁻¹ no tratamento com 405 mg kg⁻¹ de N, sendo que o tratamento com 135 mg kg⁻¹ de N apresentou 54 g planta⁻¹. O Ntotal partiu de 461 mg planta⁻¹ no tratamento com 0 mg kg⁻¹ de N, com um máximo de 1483 mg planta⁻¹ em 266 mg kg⁻¹ de N (equivalente a 354 kg ha⁻¹ de N), decrescendo para 1206 mg planta⁻¹ no tratamento com 405 mg kg⁻¹ de N, sendo que o tratamento com 135 mg kg⁻¹ de N apresentou 1234 mg planta⁻¹.

No LVe (Figura 18) não foi observado um comportamento conhecido para MSPA, NPA, MSR, NR, MStotal e Ntotal, e nesse caso foi apresentado apenas os pontos com as médias e erros padrões das médias, podendo ser observado que mesmo no tratamento com 0 mg kg⁻¹ de N ocorreu valores elevados para esses parâmetros, indicando que não houve resposta dos tratamentos nesse solo. Levando-se em consideração os dois solos pode ser observado que de forma geral os parâmetros avaliados foram sempre superiores no LVe comparado com o LVAd.

Figura 18 - Influência dos tratamentos 0, 67,5, 135, 270 e 405 mg kg⁻¹ de N (equivalente a 0, 90, 180, 360 e 540 kg ha⁻¹ de N, respectivamente) na massa seca da parte aérea (A), acúmulo de N na parte aérea (B), massa seca da raiz (C), acúmulo de N na raiz (D), massa seca total (E) e acúmulo de N total (F) no desenvolvimento inicial do milho, no LVe e no LVAd para uma aplicação na profundidade de 15 cm e distância de 10 cm da semente com a fonte 70% URP + 30% U. A barra de erro indica o erro padrão da média.

Na Figura 19, podem ser observados os desdobramentos das interações do local de amostragem do solo x camada de solo (A e B), tratamento x camada de solo (C e D) e solo x local de amostragem (E e F) para a CE e o pH do solo. Na camada de solo de 9-18 cm a CE e o pH foram superiores na linha do fertilizante comparado com a linha da semeadura. Na linha do fertilizante a CE e o pH foram superiores na camada 9-18 cm comparado com a camada 0-9 cm e a CE nessa linha foi superior no LVe comparado com o LVAd. Na camada de 9-18 cm os tratamentos com 405 e 270 mg kg⁻¹ de N apresentaram maior CE comparado com os demais tratamentos, com valores médios de 1150, 1019, 685, 536 e 446 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para 450, 270, 135, 67,5 e 0 mg kg⁻¹ de N, respectivamente. O pH, na camada de 9-18 cm, foi superior no tratamento com 405 mg kg⁻¹ de N comparado com os demais tratamentos, com valores médios de 6,3, 5,7, 5,3, 5,8 e 5,7 para 450, 270, 135, 67,5 e 0 mg kg⁻¹ de N, respectivamente. Considerando a influência dos solos, neste trabalho, verificando uma maior altura e diâmetro dos colmos de plantas de milho (quando provavelmente estava ocorrendo a taxa máxima de acúmulo de nitrogênio), maior MSPA, NPA, MSR, NR, MStotal e Ntotal no LVe comparado com o LVAd, podendo isso ser justificado pelo maior teor de matéria orgânica, maior capacidade de troca de cátions, maior teor de argila e maior capacidade de retenção de água no LVe o que proporcionou melhores condições para o desenvolvimento de plantas de milho comparado com o LVAd, mesmo tendo-se dado igual tratamento em ambos os solos.

O efeito salino, quando não causa toxidez nas plantas, pode causar efeitos deletérios que interferem no desenvolvimento inicial das mesmas, principalmente devido a redução do potencial osmótico, nesse caso em função da concentração do fertilizante nitrogenado no local de aplicação, podendo reduzir a absorção de água pelas plantas e também fazer com que haja perda de água das raízes para o solo, resultando em menor absorção de água e nutrientes (MUNNS, 2002; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Neste trabalho, pode-se observar que apesar de não ocorrer efeito tóxico visível nas plantas de milho, ocorreu efeito deletério em função da concentração do fertilizante nitrogenado, considerando os tratamentos com dose de N superior a 135 mg kg⁻¹. Isso pode ser afirmado, observando-se para o LVAd que na maior dose de N onde deu-se a menor MSPA, MSR e MStotal, os acúmulos de NPA, NR e Ntotal tenderam a decrescer indicando que possa ter ocorrido menor absorção de água e consequentemente nutrientes nas maiores doses de N.

Figura 19 - Influência do local de amostragem do solo (linha do fertilizante e linha da sementeira) na CE (A) e no pH (B) do solo nas camadas de solo 0-9 e 9-18 cm, influência dos tratamentos na CE (C) e no pH (D) do solo nas camadas 0-9 e 9-18 cm, e influência do solo (LVe e LVAd) na CE (E) e no pH (F) do solo nos locais de amostragem, considerando a aplicação na profundidade de 15 cm e distância de 10 cm da semente com a fonte 70%URP + 30%U. Letras minúsculas comparam os locais de amostragem e os tratamentos dentro da camada, e os solos dentro do local de amostragem; letras maiúsculas comparam o local de amostragem e o tratamento entre as camadas, e o solo entre os locais de amostragem ($p \leq 0,05$). A barra de erro indica o erro padrão da média.

O comportamento observado para MSPA, MSR e MStotal no LVAd indica a falta, ou a quantidade ideal ou mesmo excesso de N. Sendo bem conhecido que as raízes tendem a se desenvolver mais nas zonas enriquecidas com nutrientes no solo (DREW; SAKER; ASHLEY, 1973; QIN; STAMP; RICHNER, 2005). Nos locais com maiores concentrações de nitrogênio as raízes do milho são mais finas (ZHANG; BARBER, 1992, 1993; DURIEUX et al., 1994) e caso haja elevada concentração de nitrato pode ocorrer a redução na concentração de auxinas nas raízes, levando a redução do crescimento radicular do milho (TIAN et al. 2007) o que explicaria, também, a menor MSR na maior dose de N; em geral o baixo suprimento de nitrogênio proporciona aumento de crescimento nas raízes do milho (WANG et al., 2003; CHUN et al., 2005; TIAN et al., 2005) explicando a maior MSR no tratamento com 0 mg kg⁻¹ de N no LVAd (Figura 9).

Oliveira (2013), observou redução linear na MSR, MSPA e Ntotal do milho aos 18 DAE em resposta ao aumento da dose de N, considerando uma aplicação a 3 cm de profundidade da semente usando ureia revestida com enxofre e polímero em solo de textura arenosa, apresentando CE do solo entre a semente e o fertilizante em torno de 1500 $\mu\text{S cm}^{-1}$ aos 18 DAE; esse autor observou ainda sintomas de toxidez nas plantas, e associou todos esses efeitos com toxidez de amônia e amônio, onde provavelmente também tenha ocorrido efeito salino em função da concentração de fertilizante próximo das sementes.

No LVe não foi observado comportamento conhecido com relação aos tratamentos com nitrogênio, podendo ser observado baixa resposta para as aplicações de nitrogênio em função da elevada MSPA, MSR, MStotal, NPA, NR e Ntotal no tratamento com 0 mg kg⁻¹ de N, sendo justificado pela provável elevada capacidade de mineralização da matéria orgânica desse solo.

Neste experimento pode ser observado que a mistura de 70%URP + 30%U aplicada em posição adequada na semeadura do milho, com uma distância de 10 cm e uma profundidade de 15 cm da semente, com elevada dose de N resultando em CE do solo na camada de 9-18 cm de 1150 $\mu\text{S cm}^{-1}$, quando o milho estava em V10, proporcionou efeito deletério relacionado com o excesso de sais no LVAd. O pH do solo na camada 9-18 cm na maior dose foi superior aos demais tratamentos em função da maior absorção de ânions nessa região, provavelmente nitrato. Esses resultados mostram que o uso da mistura de 70%URP + 30%U é uma alternativa eficiente quando aplicada em posição adequada na semeadura do milho no LVAd considerando doses de N até 135 mg kg⁻¹, podendo prejudicar o desenvolvimento inicial das plantas de milho relacionado ao efeito salino, com doses de N acima de 135 mg kg⁻¹.

5 CONCLUSÕES

1. As misturas de ureia convencional e ureia revestida com enxofre e polímero são eficientes no fornecimento de nitrogênio quando aplicadas incorporadas, com dose total, na semeadura do milho em solo de textura média.

2. O posicionamento da aplicação da mistura (“blend”) 70%URP + 30%U pode interferir negativamente no desenvolvimento inicial de plantas de milho, considerando a aplicação incorporada, com dose total de 135 mg kg^{-1} de N (equivalente a 180 kg ha^{-1} de N), em solo argiloso. A aplicação na posição de 15 cm de profundidade e 10 cm de distância da semente foi considerada adequada, proporcionando condições favoráveis para o desenvolvimento inicial de plantas de milho.

3. Doses superiores a 135 mg kg^{-1} de N com a aplicação da mistura (“blend”) 70%URP + 30%U, a 15 cm de profundidade e 10 cm de distância da posição da semente, interferem negativamente no desenvolvimento inicial de plantas de milho, considerando o efeito salino em solo de textura média.

REFERÊNCIAS

AMADO, C.T.J.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. **Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2002, v. 26, número 1, p. 241-248.

AMADO, C.T.J.; VILLALBA, H.E.O.; BORTOLOTO, P.R.; SANTI, A.L.; LEÓN, B.E.A.; MANEFEE, D.; KUNZ, L. **Efficiency of nitrogen fertilizer applied at corn sowing in contrasting growing seasons in Paraguay.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2013, vol. 37, número 6, p. 1641-1650.

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

ASSOCIATION OF AMERICAN PLANT FOOD CONTROL OFFICIALS, **Official Publication 57.** West Lafayette: AAPFCO, 1997.

BARRIE, A.; PROSSER, S.J. **Automated analyses of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry.** In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. (Ed.). Mass spectrometry of soils. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 1-46.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas.** (Boletim técnico, 78) Campinas: Instituto Agrônômico, 1983, 48p.

BENDER, R.R. **Nutrient uptake and partitioning in high-yielding corn.** 2012. 79 p. Thesis (Master of Science in Crop Sciences) – University of Illinois, Urbana-Champaign, 2012.

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, 2013, v. 105, p. 161-170.

BERG, A.K. van den; PERKIS, T.D. **Evaluation of portable chlorophyll meter to estimate chlorophyll and nitrogen contents in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) leaves.** Forest Ecology and Management 200, 2004, p. 113-117.

BORREL, A.K.; HAMMER, G.L. **Nitrogen dynamics and the physiological basis of stay-green in sorghum.** Crop Science, Madison, 2000, p. 1295-1307.

BRADY, N.C. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** Porto Alegre, 2013, 686 p.

BRAGE, B. L.; ZICH, W.R.; FINE, L.O. **The germination of small grain and corn as influenced by urea and other nitrogenous fertilizers.** Soil Science Society of America Journal, Madison, 1960, p. 294-296.

BREMMER, J.M.; KROGMEIER, M.J. **Elimination of the adverse effects of urea fertilizer on seed germination, seedling growth, and early plant growth in soil.** Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 1988, p. 4601-4604.

BREMMER, J.M.; KROGMEIER, M.J. **Evidence that the adverse effect of urea fertilizer on seed germination in soil is due to ammonia formed through hydrolysis of urea by soil urease.** Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 1989, p. 8185-8188.

BREMMER, J.M. **Recent research on problems in the use of urea as a nitrogen fertilizer.** Fertilizer Research, Netherlands, 1995, p. 321-329.

BUCHANAN-WOLLASTON, V.; EARL, S.; HARRISON, E.; MATHAS, E.; NAVABPOUR, S.; PAGE, T.; PINK, D. **The molecular analysis of leaf senescence: A genomics approach.** Plant Biotechnology Journal., 2003, p. 3-22.

BÜLL, L.T. **Nutrição mineral do milho.** In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H., eds. Cultura do milho. Fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p. 63-145.

BUSSCHER, W.J.; BJORNEBERG, D.L.; SOJKA, R.E. **Field application of PAM as an amendment in deep-tilled US southeastern coastal plain soil.** Soil Tillage Research, 2009, v.104, p. 215-220.

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 Agrônômico, 2001. p. 271-276.

CANTARELLA, H. **Nitrogênio.** In: NOVAIS, R.F. et al., ed. Fertilidade do Solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 376-449.

CASSMANN; K.G.; DOBERMANN, A.; WALTERS, D.T. **Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management.** Ambio, 2002, v.31, p. 132-140.

CHEN, D.; FRENEY, J.R.; ROCHESTER, I.; CONSTABLE, G.A.; MOSIER, A.R.; CHALK, P.M. **Evaluation of polyolefin coated urea (Meister) as a fertilizer for irrigated cotton.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, Dordrecht, 2008, v.81, p. 245-254.

CHENG, W.; NAKAGIMA, Y.; SUDO, S.; AKIYAMA, H.; TSURUTA, H. **N₂O e NO emissions from field of chinese cabbage as influenced by band application of urea or controlled-release urea fertilizers.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, Dordrecht, 2002, v. 63, p. 231-238.

CHIEN, S.H.; FRIESEN, D.K.; HAMILTON, B.W. **Effect of application method on availability of elemental sulfur in cropping sequences.** Soil Science Society of America Journal, Madison, 1988, v. 52, p. 165-169.

CHUN, L.; CHEN, F.; ZHANG, F.; MI, G.H. **Root growth, nitrogen uptake and yield formation of hybrid maize with different N efficiency.** Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, p. 615-619.

CIAMPITTI, I.A.; CAMBERATO, J.J.; MURREL, S.T.; VYN, T.J. **Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: I. macronutrients.** Agronomy Journal, Madison, 2013a, vol. 105, p. 783-195.

CIAMPITTI, I.A.; MURREL, S.T.; CAMBERATO, J.J.; TUINSTRA, M.; XIA, Y.; FRIEDEMANN, P.; VYN, T.J. **Physiological dynamics of maize nitrogen uptake and partitioning in response to plant density and nitrogen stress factors: II. reproductive phase.** Crop Science, Madison, 2013b, vol. 53, p. 1-15.

CIAMPITTI, I.A.; VYN, T.J. **Understanding global and historical nutrient use efficiencies for closing maize yield gaps.** Agronomy Journal, Madison, 2014, v. 106, p. 2107-2117.

CLARKSON, D.T.; SANDERSON, J. **Sites of absorption and translocation of iron in barley roots. Tracer and microautoradiographic studies.** Plant Physiology, Rockville, 1978, c. 61, p. 731-736.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GUEDES, G.A.A. **Balanço de nitrogênio (¹⁵N) em um Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 1991, v. 15, p. 187-193.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. **Seja o doutor do seu milho.** Arquivo do Agrônomo número 2. Informações Agrônomicas número 71. 1995, p. 1-24.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira:** grãos, safra 2015/2016, 11º levantamento, 2016, Brasília, p. 1-171.

COOKE, G.W. **Maximizing fertilizer efficiency by overcoming constraints to crop growth.** Journal of Plant Nutrition, 1987, v.10, p. 1357-1369.

COURT, M.N.; STEPHEN, R.C.; WAID, J.S. **Nitrite toxicity arising from the use of urea as a fertilizer.** Nature, 1962, p. 1263-1265.

COURT, M.N.; STEPHEN, R.C.; WAID, J.S. **Toxicity as a cause of the inefficiency of urea as a fertilizer. I. Review.** European Journal of Soil Science, 1964, Germany, p. 42-48.

DAKER, A. **A água na agricultura: Manual de hidráulica agrícola.** Rio de Janeiro, 1976. v. 3, 453 p.

DAVIDSON, E.A.; HOWARTH, R.W. **Nutrients in synergy**, Nature, 2007, v. 449, p.1000-1001.

DEBRUIN, J.; MESSINA, C.D.; MUNARO, E.; THOMPSON, K.; CONLON-BECKNER, C.; FALLIS, L.; SEVENICH, D.M.; GUPTA, R.; DHUGGA, K.S. **N distribution in maize plant as a marker for grain yield and limits on its remobilization after flowering.** Plant Breeding, Berlin, 2013, v. 132. p. 500-505.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. **Elementos requeridos à nutrição de plantas.** In: NOVAIS, R.F. et al., ed. Fertilidade do Solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 92-129.

DENG, S.; DICK, R.P. **Sulfur oxidation and rhodanese activity in soils.** Soil Science, Baltimore, 1990, vol. 150, número2, p. 552-560.

DIAS, N.D.; BLANCO, F.F. **Efeitos dos sais no solo e na planta.** In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 129-140.

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.

DORBAS, C. **Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations.** European Journal of Agronomy, Amsterdam, 2009, vol. 30, p. 129-139.

DREW, M.C.; SAKER, L.R.; ASHLEY, T.W. **Nutrient supply and the growth of seminal root system in barley.** Journal of Experimental Botany, Lancaster, 1973, p. 1189-1202.

DURIEUX, R.P.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A.; MOLL, R.H. **Root distribution of corn: The effect of nitrogen fertilization.** Agronomy Journal, Madison, 1994, p. 958-962.

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, 2008, v. 37, p. 542-550.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1997, 212 p.

EMBRAPA. **Milho: o produtor pergunta a Embrapa responde.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 338 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas.** Londrina, 2006, 403 p.

FAGERIA, N.K.; CARVALHO, M.C.S. **Comparison of conventional and polymer coated urea as nitrogen sources for lowland rice production.** Journal of Plant Nutrition, 2014, v.37, p. 1358-1371.

FAN, M.X.; MACKENZIE, A.F. **The toxicity of banded urea to corn growth and yield as influenced by triple superphosphate.** Canadian Journal of Soil Science, 1994, p. 117-122.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO D. **Produção de milho.** 2. Ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

FARIA, V.P. **Técnicas de produção de silagem.** Anais do congresso brasileiro de pastagens, Piracicaba, 1986. p. 79-144.

FARINELLI, R.; BORGES, L. **Produtividade e eficiência agrônômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos do solo.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 2010, número 9, p. 135-146.

FARQUHAR, G.D.; WETSELAAR, R.; FIRTH, P.M. **Ammonia volatilization from senescing leaves of maize.** Science, Washington, 1979.

FERNANDES, L.A.; VASCONCELLOS, C.A.; FURTINI NETO, A.E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G.A.A. **Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grão e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 1998, v. 34, p. 1961-1968.

FERNANDES, F.C.S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J.A.C. **Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 2005, número 4, p. 195-204.

FERREIRA, R.G.; TÁVORA, F.J.A.F; HERNANDEZ, F.F.F. **Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 2001, p. 79-88.

FIRESTONE, M.K. **Biological denitrification.** In: STEVENSON, F.J.; BREMNER, J.M.; HAUCK, R.D.; KEENEY, D.R. Nitrogen in Agricultural Soils. American Society of Agronomy, Madison, 1982, p. 289-326.

FRANCO, H.C.J.; DAMIN, V.; FRANCO, A.; MORAES, M.F.; TRIVELIN, P.C.O. **Perda de nitrogênio pela Brachiaria decumbens após a antese: relação com a umidade do solo.** Ciência Rural, Santa Maria, 2008, v. 38, número 1, p. 96-102.

FUJITA, T.; SHOJI, S. **Kinds and properties of Meister fertilizers.** In: SHOJI, S. Meister controlled release fertilizer, Sendai, Japão, 1999, p. 13-34.

FURLANI, A.M.C. **Nutrição mineral**. In: KEBAUY, G.B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2004. p. 40-75.

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

GAMBOA, A. **La fertilización del maíz**. Berna, Instituto Internacional de de la Potassa, 1980. 72 p.

GASSER, J.K.R. **Urea as a fertilizer**. Soils Fertility, 1964, p. 175-180.

GAVA, G.J.C. **Compartimentalização do nitrogênio no sistema solo-planta na implantação da semeadura direta do ciclo da cultura do milho**. 2003. 125 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Physical and mineralogical methods. Madison: ASA; SSSA, 1986. p.383-411.

GOERTZ, H.M. **Controlled release technology**. Encyclopedia of Chemical Technology, 1993, p. 251-274.

GONÇALVES, J.L.M.; FIRME, D.J.; NOVAIS, R.F.; RIBEIRO, A.C. **Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 1985, p. 107-111.

GONZÁLEZ VILLALBA, H.A. **Mistura de ureia revestida com polímeros e ureia convencional na adubação da cultura do milho**. 2013. 91p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

GOULD, W.D.; HAGEDORN, C.; McCREADY, R.G.L. **Urea transformation and fertilizer efficiency in soil**. Advances in Agronomy, 1986, p. 209-238.

GOURLEY, C.J.P; ALLAN, D.L.; RUSSELE, M.P. **Defining phosphorus efficiency in plants.** In: BARROW, N.J. Plant nutrition - from genetic engineering to field practice, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1993, p. 363-366.

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, 2012, v. 127, p. 170-180.

GUO, L.; NING, T.; NIE, L.; LI, Z.; LAL, R. **Interaction of deep placed controlled-release urea and water retention agent on nitrogen and water use and maize yield.** European Journal of Agronomy, Amsterdam, 2016, p. 118-129.

HALVORSON, A.D.; DEL GROSSO, S.J.; REULE, C.A. **Tillage and nitrogen source effects on nitrous oxide emissions from irrigated crop system.** Soil Science Society of America Journal, Madison, 2010, v. 74, p. 435-445.

HALVORSON, A.D.; DEL GROSSO, S.J. **Nitrogen source and placement effects on soil nitrous oxide emissions from no-till corn.** Journal of Environmental Quality, Madison, 2012, v.41, p. 1349-1360.

HANAWAY, J.J. **Corn growth and composition in relation to soil fertility: I. Growth of different plant parts and relation between leaf weight and grain yield.** Agronomy Journal, Madison, 1962a, vol. 54, p. 145-148.

HANWAY, J.J. **Corn growth and composition in relation to soil fertility: II. Uptake of N, P, and K and their distribution in different parts during the growing season.** Agronomy Journal, Madison, 1962b, p. 145-148.

HANWAY, J.J. 1963. **Growth stages of corn.** Agronomy Journal, Madison, 1963, p. 487-492.

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, 2001, v. 60, p. 1-8.

HAUCK, R.D. **Slow release and bio-inhibitor-amended nitrogen fertilisers.** In: ENGELSTAD, O.P. Fertiliser technology and Use, p. 293-322.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizer: An introduction to nutrient management.** New Jersey, Prentice Hall, 1999, 499 p.

HERSCHBACH, C.; RENNENBERG, H. **Influence of glutathione (GSH) on net uptake of sulfate and its transport in tobacco plants.** Journal of Experimental Botany, Oxford, volume 45, 1994, p. 1069-1079.

HOEFT, R. G. **Desafios para obtenção de altas produtividades de milho e soja nos EUA.** Informações Agronômicas, Piracicaba, 2003, número 104, p. 1-4.

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, 2007, v. 36, p. 354-362.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. **Oxidation of elemental sulfur in tropical soils.** Ciência Rural, Santa Maria, 2006, vol. 36, número 3, p. 822-828.

HU, H.Y.; NING, T.Y.; LI, Z.J.; HAN, H.F.; ZHANG, Z.Z.; QIN, S.J.; ZHENG, Y.H. **Coupling effects of urea types and subsoiling on nitrogen-water use and yield of different varieties of maize in northern China.** Field Crop Research, 2013, v.142, p. 85-94.

HUGGINS, D.R.; PAN, W.L. **Nitrogen efficiency component analysis - an evaluation of cropping system differences in productivity.** Agronomy Journal, Madison, 1993, v.85, p. 898-905.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16387**: soil quality: effects of pollutants on Enchytraeidae (*Enchytraeus sp.*). Determination of effects on reproduction and survival. Geneva, 2003.

JANZEN, H.H.; BETTANY, J.R. **The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils**. Soil Science, Baltimore, 1987, vol. 144, número 2, p. 81-89.

KAMPRATH, E.J. **Enhanced phosphorus status of maize resulting from nitrogen fertilization of high phosphorus soils**. Soil Science Society of American Journal, Madison, 1987, p. 522-526.

KARLEN, D.L.; FLANNERY, R.L.; SADLER, E.J. **Nutrient and dry matter accumulation rates for high yielding maize**. Journal of Plant Nutrition, New York, 1987, v. 10, número 9/16, p. 1409-1417.

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

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.; KORDÖRFER, 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, 1997, p. 489-496.

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

LARA CABEZAS, W.A.R.; ARRUDA, M.R.; CANTARELLA, H.; PAULETTI, V.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A. **Imobilização de nitrogênio da ureia do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura de milho, no sistema plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2005, p. 215-226.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B.; SALOMÃO, L.C.C.; CRUZ, C.D. **Macronutrient accumulation in coffee fruits at Brazilian Zona da Mata conditions.** Journal of Plant Nutrition, Jefferson, 2009, v. 32, p. 980-995.

LAWRENCE, J.R.; GERMIDA, J.J. **Relationship between microbial biomass and elemental sulfur oxidation in agricultural soils.** Soil Science Society of America Journal, Madison, 1988, vol. 52, p. 672-677.

LEPSCH, I.F. **19 Lições de Pedologia.** Oficina de textos, São Paulo, 2011. 456 p.

LERAYER, A. **Guia do milho: tecnologia do campo à mesa.** CIB, 2006, p. 1-16.

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

LI, X.; HE, J.Z.; HUGHES, J.M.; LIU, Y.R.; ZHENG, Y.M. **Effects of super-absorbent polymers on a soil-wheat (*Triticum aestivum* L.) system in the field.** Applied Soil Ecology, 2014, v.73, p. 58-63.

LOPES, J.C.; MACEDO, C.M.P. **Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino.** Revista Brasileira de Sementes, Londrina, 2008, v. 30, número 3, p. 79-85.

LOUÉ, A. **Estudo comparativo das exigências minerais de algumas variedades de milho híbrido.** Fertilité, Paris, 1963, v. 20, p. 22-32

LOW, A.J.; PIPER, F.J. **Urea as a fertilizer.** Laboratory and pot-culture studies. Journal of Agricultural Science, Toronto, 1961, 249-255.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. **Fisiologia da produção de milho,** Sete Lagoas, MG, 2006, Circular Técnica 76, 10 p.

MALAVOLTA, E. **Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras.** Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato – Instituto Internacional da Potassa, 1979. 92 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** Ceres, São Paulo, 1980. 254 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações.** POTAFOS, Piracicaba, 1989, 201p.

MALAVOLTA, E.; **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. POTAFOS, Piracicaba, 1997, 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** Londres, 1995. 889 p.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J.; CHABA, G.D.; POSS, J.A.; SHANNON, M.C. **Salt sensitivity of corn at various growth stages.** Irrigation Science, Riverside, 1983, p. 45-57.

MEURER, E.J. **Potássio.** In: FERNANDES, M.S., ed. **Nutrição Mineral de Plantas,** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 281-295.

MIKKELSEN, R.L.; WILLIAMS, H.M.; BEHEL, A.D. **Nitrogen leaching and plant uptake from controlled-release fertilizers.** Fertilizer Research. The Hauge, 1994, v.37, p. 43-50.

MINOTTI, P.L.; WILLIAMS, D.C.; JACKSON, W.A. (1968) **Nitrate uptake and reduction as affected by calcium and potassium.** Soil Science Society of America Journal, Madison, 1968, p. 692-698.

MORAES, J.A.P.; ARENS, K. **Eliminação de potássio pelas folhas em dependência da luz e obscuridade.** Ciência Cultural, 1969, número 21, p. 728-370.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, O.S. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002, 625 p.

MUNNS, R. **Comparative physiology of salt and water stress.** Plant, Cell and Environment, Malden, 2002, p. 239-250.

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

NOVOA, R.; LOOMIS, R.S. **Nitrogen and plant production.** Plant and Soil, 1981, v.58, p. 177-204.

OLIVEIRA, J.R. **Adubação nitrogenada com ureia de liberação controlada na semeadura do milho.** 2013. 75 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

OUYANG, D; MACKENZIE, A.F.; FAN, M. **Phytotoxicity of banded urea amended with triple superphosphate and potassium chloride.** Agronomy Journal, Madison, 1998, v. 90, p. 734-739.

OVERREIN, L.N.; MOE, P.G. **Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil.** Soil Science Society of America Proceedings, 1967, p. 57-61.

PAIS, I.; JONES JUNIOR, J.B. **The handbook of trace elements.** St. Lucie Press, Boca Raton, 1996, 223 p.

PAUL, E.A. **Soil microbiology, ecology and biochemistry.** Burlington, USA: Academic Press, 2007, 532 p.

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

PRISCO, J.T. **Contribuição ao estudo da fisiologia do estresse salino durante a germinação e estabelecimento da plântula de uma glicófita [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]** Tese de doutorado – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1987, 65 p.

QIN, R.; STAMP, P.; RICHNER, W. **Impact of tillage and banded starter fertilizer on maize root growth in the top 25 centimeters of the soil.** Agronomy Journal, Madison, 2005, p. 674-683.

RADIÉ, V.; BEATOVIÉ, D.; MRDA, J. **Salt tolerance of corn genotypes (*Zea mays* L.) during germination and later growth.** Journal of Agricultural Sciences, Toronto, 2007, v. 52, número 2, p. 115-120.

RAIJ, B. van; CAMARGO, O.A. **Nitrate elution from soil columns of three Oxisols and one Afisol.** In: International Congress of Soil Science, 7, Moscou, 1974. p. 384-391.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. **Milho para grãos e silagem.** In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico, 1997. 285 p. (Boletim Técnico 100)

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

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

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; URQUIAGA, S.C. **The fate of fertilize nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AGROCHEMICAL: FATE IN FOOD AND THE ENVIRONMENT USING ISOTOPE TECHNIQUES, Proceedings, Viena, 1982, p. 277-289.

RICHARDS, L.A. **Suelos salinos y sodicos: Diagnostico y rehabilitacion.** Editora Limusa, México, 1974, 172 p.

RILLO, S.N.; RICHMOND, P.B. **Evaluación de tres criterios de fertilización nitrogenada en el cultivo de maiz en siembra directa en un suelo hapludol.** In: National Congress of Apresid, 16, Rosario, 2006. p. 78-84.

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

ROBERTSON, G.P. **Denitrification**. In: SUMMER, M.E., Handbook of Soil Science, Boca Raton, CRC Press, 2000, p. 181-190.

SANDRAS, V.O. **The N:P stoichiometry of cereal, grain legume and oilseed crop**. Field Crops Research, 2006, p. 13-19.

SAYRE, J.D. **Mineral accumulation in corn**. Plant Physiology, Waterbury, 1948, vol. 23, número 3, p. 267-281.

SHAO, G.; LI, Z.; NING, T.; ZHENG, Y. **Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and grain yield of maize to controlled-release urea and irrigation after anthesis**. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2013, p. 595-602.

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

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

SHAVI, A. **Improvement of fertilizer efficiency – Product processing, positioning and application methods**. Proceedings 469, International Fertilizer Society, York, 2001, 23 p.

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

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, Philadelphia, 2001, v.32, p. 1051-1070.

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, 2005, v.29, número 5, p. 725-733.

SMIL, V. **Global population and the nitrogen cycle.** Scientific American, 1997, p. 76-81.
SNAPP, SS.; LYNCH, J.P. **Phosphorus distribution and remobilization in bean plant as influenced by phosphorus nutrition.** Crop Science, Madison, 1996, vol. 36, número 4, p. 929-935.

SCHIMANSKY, C. **Investigations on translocation of magnesium (^{28}Mg) in sunflower plant.** Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 1973, volume 136, p. 68-82.

SCHONINGER, E.L. **Absorção foliar de amônio e produtividade do milho em função da época de aplicação de ureia em cobertura.** 2014. 96p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

SNYDER, C.S.; BRUULSEMA, T.W. **Nutrient use efficiency and effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefit.** Norcross, International Plant Nutrition Institute, 2007. 4p.

STIPP, S.R.; CASARIN, V. **A importância do enxofre na agricultura brasileira.** Informações Agronômicas, Piracicaba, 2010, número 129, p. 14-20.

SU, L.; DONG, Z.; SHAO, G.; LI, Z.; NING, T. **Effects of different application modes and rates of controlled release urea on fertilizer nitrogen use efficiency and grain yield of summer maize.** Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, p. 915-920.

SUHET, A.R.; PERES, J.R.R.; VARGAS, M.A.T. **Nitrogênio.** In: GOEDERT, W.J., ed. Solos dos cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina, Embrapa-DDT, 1986. p. 119-144.

TA, C.T.; WEILAND, R.T. **Nitrogen partitioning in maize during ear development.** Crop Science, Madison, 1992, p. 443-451.

TIAN, Q.; CHEN, F.; ZHANG, F.; MI, G. **Possible involvement of cytokinin in nitrate-mediated root growth in maize.** Plant and Soil, 2005, p. 185-196.

TIAN, Q.; CHEN, F.; LIU, J.; ZHANG, F.; MI, G. **Inhibition of maize root growth by high nitrate supply is correlated with reduced IAA levels in root.** Journal of Plant Physiology, 2007, p. 942-951.

TERMAN, G.L.; NOGGLE, J.C. **Nutrient changes in corn as affected by dry matter accumulation with age and response to applied nutrients.** Agronomy Journal, Madison, 1973, p. 941-945.

TERRY, D.L.; McCANTS, C.B. **Quantitative prediction of leaching in field soils.** Soil Science Society of American, Madison, 1970, vol. 34, número 2, p. 271-276.

TOMLINSON, T.E. **Urea: Agronomic applications.** Proceeding Fertilizer Society, 1970, p. 1-76.

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

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

USDA. **World Agricultural Supply and Demand Estimates.** United States Department of Agriculture World Agricultural, Washington, D.C., USA, 2016, p. 22.

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLEN, D.L. **Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource.** New Phytologist Journal, Lancaster, 2003, p. 423-447.

VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, R.; PAIVA, P.J.R. **Efeito do enxofre no crescimento e assimilação de nitrogênio em milho.** Revista Ciência e Prática, Lavras, 1993, p. 343-350.

VITTI, G.C.; TEIXEIRA B.H.L.; BARROS C.M. **Diagnóstico da fertilidade do solo e adubação para alta produtividade de milho** In: Fancelli L.A.; Neto, D.D., ed. Milho: estratégias de manejo para alta produtividade, Piracicaba, ESALQ/USP, 2003. p. 134-173.

VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. **Cálcio, Magnésio e Enxofre.** In: FERNANDES, M.S., ed. Nutrição Mineral de Plantas, Viçosa, SBCS, 2006. p. 299-326.

WANG, Y.; MI, G.H.; CHEN, F.; ZHANG, F. **Genotypic differences in nitrogen uptake by maize inbred lines its relation to root morphology.** Acta Ecologica Sinica, 2003, p. 297-302.

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

YAN, X.; HOSEN, Y.; YAGI, K. **Nitrous oxide and nitric oxide emissions from maize field plots as affected by N fertilizer type and application method.** Biology and fertility of Soils, Berlin, 2001, v.34, p. 297-303.

YU, J.; SHI, J.G.; DANG, P.F.; MAMEDOV, A.I.; SHAINBERG, I.; LEVY, G.J. **Soil and polymer properties affecting water retention by superabsorbent polymers under drying conditions.** Soil Science Society of America Journal, Madison, 2012, v.76, p. 1758-1767.

ZHANG, J.; BARBER, S.A. **Maize root distribution between phosphorous fertilized and unfertilized soil.** Soil Science Society of America Journal, Madison, 1992, p. 819-822.

ZHANG, J.; BARBER, S.A. **Corn root distribution between ammonium fertilized and unfertilized soil.** Communications in Soil Science and Plant Analysis, p. 411-419.

ANEXOS

ANEXO A - Valores do Ymax, X₀ e B da função sigmoidal usada para gerar a taxa máxima de acúmulo de massa seca e macronutrientes, baseado nos acúmulos totais de massa seca da parte aérea (MSPA), N (NPA), P (PPA), K (KPA), Ca (CaPA), Mg (MgPA) e S (SPA) no LVAd e no LVd.

Ymax	X ₀	B	r ²	p	Ymax	X ₀	B	r ²	p	Ymax	X ₀	B	r ²	p
média de 8 tratamentos* no LVAd					controle no LVAd					média de 9 tratamentos** no LVd				
MSPA					MSPA					MSPA				
24225,4218	90,4194	-3,5611	1	<10 ⁻⁴	11824,7002	96,2455	-5,0642	0,99	<10 ⁻⁴	23195,5861	99,0873	-3,6856	0,99	<10 ⁻⁴
NPA					NPA					NPA				
262,1576	75,0741	-3,1576	0,99	<10 ⁻⁴	134,8785	86,9980	-4,4158	0,99	<10 ⁻⁴	263,5365	78,5719	-2,7598	0,99	<10 ⁻⁴
PPA					PPA					PPA				
31,3525	76,1926	-2,8197	0,99	2.10 ⁻⁴	26,3400	87,9530	-3,0138	0,99	<10 ⁻⁴	29,8064	75,9007	-5,2524	0,99	<10 ⁻⁴
KPA €					KPA €					KPA €				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaPA					CaPA					CaPA				
37,0984	73,5198	-7,0909	0,99	<10 ⁻⁴	34,6217	96,2113	-2,7923	0,99	<10 ⁻⁴	33,6944	69,2286	-35,2503	0,99	5.10 ⁻⁴
MgPA					MgPA					MgPA				
26,1188	72,1826	-37,8971	0,99	<10 ⁻⁴	17,3517	90,2087	-5,0096	1	<10 ⁻⁴	27,4722	69,2750	-36,0617	0,98	10 ⁻³
SPA €					SPA €					SPA €				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*média dos tratamentos adubados com nitrogênio; **média de todos os tratamentos incluindo o controle. p = probabilidade do teste F. Ajuste significativo quando $p \leq 0,05$. X₀ = ponto de inflexão em dias após a emergência do milho. LVAd = Latossolo Vermelho Amarelo distrófico; LVd = Latossolo Vermelho distrófico. € não ocorreram ajustes para o KPA e para o SPA, não sendo gerado informações para Ymax, X₀ e B pelo programa estatístico utilizado.

ANEXO B - Valores das constantes (A, B e C) da equação Gaussiana usada no ajuste dos modelos de massa seca da parte aérea (MSPA), acúmulo na parte aérea de N (NPA), P (PPA), K (KPA), Ca (CaPA), Mg (MgPA) e S (SPA) nas frações da planta (folha (F), colmo (C), sabugo (S) e grão (G)) no LVAd e no LVd.

Fração	A	B	C	r ²	p	A	B	C	r ²	p	A	B	C	r ²	p
	média de 3 tratamentos* no LVAd					controle no LVAd					média de 9 tratamentos** no LVd				
	MSPA					MSPA					MSPA				
F	7,4383	1601,6052	560,0696	0,99	2.10 ⁻⁴	4,3032	1613,2765	483,5348	0,99	<10 ⁻⁴	7,0962	1675,2789	555,8438	0,99	<10 ⁻⁴
F+C	11,1973	1654,6121	580,5455	0,99	4.10 ⁻⁴	6,0035	1643,1567	481,4222	1	<10 ⁻⁴	11,1017	1729,9009	539,9756	0,99	<10 ⁻⁴
F+C+S	13,0907	1693,4877	566,7456	0,99	10 ⁻⁴	7,1521	1690,0813	478,0712	1	<10 ⁻⁴	12,7941	1762,9301	531,0908	1	<10 ⁻⁴
F+C+S+G	20,3992	2038,1032	670,4647	0,99	<10 ⁻⁴	11,4338	2000,1987	573,2903	1	<10 ⁻⁴	19,6885	2160,0615	687,6405	0,99	<10 ⁻⁴
	NPA					NPA					NPA				
F	114,3709	1354,5152	507,1044	0,99	10 ⁻³	58,0362	1421,5151	461,3818	0,99	<10 ⁻⁴	123,2813	1451,2288	534,6943	0,99	4.10 ⁻⁴
F+C	133,0550	1384,3456	530,2783	0,97	<10 ⁻⁴	67,0419	1453,6190	476,7043	0,99	<10 ⁻⁴	146,0332	1482,4040	548,9824	0,99	7.10 ⁻⁴
F+C+S	142,1170	1423,9200	537,1759	0,98	10 ⁻³	74,3822	1493,5325	477,2813	0,99	<10 ⁻⁴	158,8955	1523,7122	550,9237	0,99	3.10 ⁻⁴
F+C+S+G	222,6803	1972,0709	756,5058	0,99	9.10 ⁻⁴	130,3257	1985,9832	655,6289	0,99	<10 ⁻⁴	227,6471	2106,1962	808,1794	0,99	8.10 ⁻⁴
	PPA					PPA					PPA				
F	14,9665	1306,3695	408,9474	0,99	10 ⁻⁴	10,2114	1377,7075	381,2100	0,99	10 ⁻³	17,2466	1408,8473	425,2854	0,99	5.10 ⁻⁴
F+C	17,4286	1302,1148	416,0508	0,99	10 ⁻³	12,4591	1385,0206	379,5532	0,99	5.10 ⁻⁴	21,1184	1418,9904	427,0720	1	<10 ⁻⁴
F+C+S	20,1565	1347,9549	407,7702	0,99	<10 ⁻⁴	14,7726	1418,2971	368,1451	0,99	<10 ⁻⁴	25,7093	1454,5605	404,7534	0,99	5.10 ⁻⁴
F+C+S+G	26,3346	2125,5030	840,0857	0,99	10 ⁻²	21,1222	2188,9536	757,2256	0,99	10 ⁻⁴	30,6158	1942,4752	680,1324	0,99	2.10 ⁻³
	KPA					KPA					KPA				
F	175,0606	1284,2996	386,8099	0,99	2.10 ⁻³	89,7395	1296,9199	385,6111	0,99	10 ⁻³	155,5451	1338,8685	418,8306	0,99	1.10 ⁻²
F+C	219,8653	1261,2313	421,8653	0,98	10 ⁻²	99,5599	1311,3046	447,1961	0,99	8.10 ⁻³	203,8874	1309,4494	448,7417	0,99	3.10 ⁻⁴
F+C+S	224,4664	1286,3940	436,8693	0,99	10 ⁻²	104,3044	1345,2422	458,9247	0,99	6.10 ⁻³	209,3044	1336,0745	460,3044	0,99	2.10 ⁻⁴
F+C+S+G	222,0445	1337,0836	483,7442	0,97	2.10 ⁻²	102,5262	1499,0169	582,2145	0,98	2.10 ⁻²	209,8265	1390,5185	504,6984	0,99	9.10 ⁻⁴
	CaPA					CaPA					CaPA				
F	27,4447	1600,6331	563,5159	0,99	5.10 ⁻³	12,6807	1831,5443	648,6803	0,99	3.10 ⁻⁴	27,2633	1696,1392	541,7825	0,99	<10 ⁻⁴
F+C	33,0983	1656,5276	584,2645	0,99	4.10 ⁻⁴	15,5970	1882,8872	651,3419	0,99	2.10 ⁻⁴	32,9864	1723,7972	554,3513	0,99	<10 ⁻⁴
F+C+S	34,5250	1665,7275	579,9136	0,99	3.10 ⁻⁴	16,5337	1890,0984	642,6425	0,99	10 ⁻⁴	34,2482	1736,0445	553,4245	0,99	<10 ⁻⁴
F+C+S+G	39,2580	1842,4884	656,2248	0,99	4.10 ⁻⁴	24,8071	2328,2592	789,3662	0,99	10 ⁻⁴	37,0050	1836,4271	597,3162	0,99	<10 ⁻⁴
	MgPA					MgPA					MgPA				
F	16,9600	1573,8240	489,6962	0,99	5.10 ⁻⁴	8,8182	1711,4505	494,1812	0,99	<10 ⁻⁴	19,8737	1632,2427	499,9869	0,99	<10 ⁻⁴
F+C	21,9856	1628,5978	530,9000	0,99	2.10 ⁻³	11,5067	1748,4674	513,2962	0,99	3.10 ⁻⁴	26,3817	1669,4493	516,8879	0,99	5.10 ⁻⁴
F+C+S	23,1185	1631,7931	521,1608	0,99	10 ⁻³	12,4235	1744,8086	497,8982	0,99	10 ⁻⁴	27,8167	1671,2948	506,0674	0,99	3.10 ⁻⁴
F+C+S+G	27,6107	1815,5253	595,5304	0,99	10 ⁻³	16,8645	1993,9459	583,8532	0,99	2.10 ⁻⁴	30,6976	1804,8232	567,5111	0,99	6.10 ⁻⁴
	SPA					SPA					SPA				
F	9,9063	1745,5712	687,8365	0,98	2.10 ⁻³	4,8177	1948,7506	772,0035	0,99	2.10 ⁻³	9,5025	1768,7437	710,0556	0,99	10 ⁻²
F+C	13,0323	1709,1413	659,2553	0,98	2.10 ⁻³	6,2018	1903,9593	711,1358	0,99	9.10 ⁻⁴	12,7995	1822,3838	706,8383	0,99	10 ⁻²
F+C+S	14,3532	1718,3342	638,2500	0,98	10 ⁻³	7,3011	1883,8223	661,1808	0,99	2.10 ⁻⁴	14,4819	1880,0646	706,2575	0,99	6.10 ⁻³
F+C+S+G	614,4227	7240,6260	1660,6260	0,99	10 ⁻⁵	1431,0078	7347,630	1778,7447	0,99	10 ⁻⁴	503,3893	6298,6434	1764,5969	0,99	5.10 ⁻³

*média dos tratamentos 100%URP, 70%URP + 30%U e 60%URP + 40%U; **média de todos os tratamentos incluindo o controle. *p* = probabilidade do teste F. Ajuste significativo quando *p* ≤ 0,05. LVAd: Latossolo Vermelho Amarelo distrófico; LVd: Latossolo Vermelho distrófico.