



CÉSAR FERREIRA SANTOS

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DA UREIA TRATADA COM
INIBIDORES DA UREASE ASSOCIADOS A POLÍMERO
ORGÂNICO**

**LAVRAS-MG
2018**

CÉSAR FERREIRA SANTOS

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DA UREIA TRATADA COM INIBIDORES DA
UREASE ASSOCIADOS A POLÍMERO ORGÂNICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

**LAVRAS–MG
2018**

Santos, César Ferreira.

Volatilização de amônia da ureia tratada com inibidores da urease associados a polímero orgânico / César Ferreira Santos. - 2018.

57 p. : il.

Orientador(a): Douglas Ramos Guelfi Silva.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Amônia. 2. Micronutrientes. 3. NBPT. I. Silva, Douglas Ramos Guelfi. . II. Título.

CÉSAR FERREIRA SANTOS

**VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DA UREIA TRATADA COM INIBIDORES DA
UREASE ASSOCIADOS A POLÍMERO ORGÂNICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 11 de julho de 2018.

Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Dr. Carlos Alberto Silva
Dr. Reinaldo Bertola Cantarutti

UFLA
UFLA
UFV

Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva
Orientador

**LAVRAS–MG
2018**

À meus pais: Deus, Eva e Valdir, por convencer-me que era possível.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por me dar força e coragem para continuar sempre, iluminando e conduzindo-me ao melhor caminho, auxiliando-me as melhores tomadas de decisão.

Aos meus pais, Eva e Valdir, que por mais difícil que fosse a caminhada, me ensinaram a lutar e acreditar que dias melhores sempre haveriam de surgir.

À minha namorada, pelo companheirismo e paciência, durante os momentos de dificuldade e por entender os propósitos dessa caminhada, que apenas se inicia.

À família da minha namorada, pelo apoio nos momentos difíceis, tias, Luciene Gomes (Ene), Mariene Gomes, Darcy dos Passos, vô José Pedro (Zezé) e vó Maria Ribeiro Sobrinha (Lilia, *in memoriam*), e ao amigo de todas as horas, Konrad Silva.

Ao meu orientador, Douglas Guelfi, pela dedicação e competência em me orientar e pela amizade e confiança em mim depositada.

Às recentes amizades conquistadas: Wantuir Filipe, Taylor Lima (já de longa data), André Baldansi, Rúbio Rodrigues, Ana Paula Nunes, Naiara Altafin, Allan Dhan, Maycool Faria, Larissa Barbosa, Adriana Mendonça, Gustavo Reis e Lis, pela ajuda na realização deste trabalho.

Aos responsáveis por ceder as áreas para instalação dos experimentos, Talles (Luminárias) e Allan (Ingaí), pela boa vontade e prontidão nos momentos necessários.

Aos funcionários e amigos do Departamento de Ciência do Solo, Dirce, Maria Alice, Dulce, Doroteo, Bethânia, Riqueline, Aline, Regina, Roberto, Lívia, Mariene, Geila, “Pezão” e Milton, pelo apoio necessário a realização deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro e concessão de bolsa.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gérias e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo apoio financeiro nas pesquisas.

Ao Departamento de Ciência do Solo, pelo suporte físico e técnico oferecido e a todos os funcionários e amigos que frequentam esse departamento e que de alguma forma me ajudaram na realização do trabalho.

“Faça algo que ame e você nunca mais precisará trabalhar na vida.”

Willie Hill

RESUMO

A indústria de fertilizantes possui grandes desafios na melhoria de seus produtos, buscando aumentar a eficiência do suprimento de nutrientes para as culturas, principalmente as fontes de nitrogênio. A adição de NBPT à ureia, um aditivo para inibição da atividade da urease no solo, é uma das opções de tecnologias disponíveis para redução das perdas de amônia ($N-NH_3$). Entretanto, são escassos os estudos para avaliação da eficiência da ureia tratada com NBPT, revestida com polímeros e micronutrientes, ou seja, a associação de duas tecnologias no mesmo grânulo do fertilizante. O objetivo deste trabalho foi avaliar tecnologias de revestimento para ureia associadas a inibidores de urease na cultura do milho. Foram realizados 2 experimentos: o experimento “1” no município de Luminárias - MG e o experimento “2” em Ingaí - MG. Os tratamentos utilizados em ambos locais foram: 1) ureia perolada; 2) ureia+ NBPT; 3) ureia+ polímero orgânico; 4) ureia+ polímero orgânico + Zn + B; 5) ureia+ NBPT + polímero orgânico; 6) ureia+ polímero orgânico + Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B; 7) Controle, sem nitrogênio (N) em cobertura com 4 repetições. Os fertilizantes foram aplicados em cobertura nas doses de 50; 100 e 150 kg ha⁻¹ de N. Como variável resposta foram quantificadas as perdas de N-NH₃ por volatilização. Os resultados mostraram que para o experimento realizado em Ingaí, a ureia + polímero orgânico + Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B apresentou menor perda por volatilização de N-NH₃, já em Luminárias a ureia + polímero orgânico + Zn + B apresentou menores perdas de N-NH₃ por volatilização que os demais tratamentos. Desta forma o uso do revestimento com polímero orgânico associado a Zn e B, independente da fonte, foi eficiente na redução das perdas de N-NH₃ por volatilização nos dois locais em estudo.

Palavras-chave: Amônia. Micronutrientes. NBPT. Polímeros orgânicos. *Zea mays L.*

ABSTRACT

The fertilizer industry has major challenges in improving its products, seeking to increase the efficiency of nutrient supply to crops, especially nitrogen sources. The addition of NBPT to urea, an additive for inhibition of the urease activity in soil, is one of the technology options available for reduction of the ammonia (N-NH₃) losses. However, there are few studies for evaluation of the efficiency of the urea treated with NBPT, coated with polymers and micronutrients, that is, the association of two technologies in the same granule of the fertilizer. The aim of this work was to evaluate coating technologies to urea associated to urease inhibitors in maize crop. Two experiments were carried out: the experiment "1" in the city of Luminárias - MG and the experiment "2" in Ingaí - MG. Treatments applied in both sites were: 1) pearled urea; 2) urea + NBPT; 3) urea + organic polymer; 4) urea + organic polymer + Zn + B; 5) urea + NBPT + organic polymer; 6) urea + organic polymer + Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B; 7) Control, without nitrogen (N), topdressed with 4 repetitions. Fertilizers were topdressed-applied in the rates of 50; 100 and 150 kg ha⁻¹ of N. As a variable response, the losses of N-NH₃ through volatilization were quantified. The results showed that, for the experiment performed in Ingaí, urea + organic polymer + Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B presented less loss by volatilization of N-NH₃, whereas in Luminárias urea + organic polymer + Zn + B presented lower losses of N-NH₃ by volatilization than the other treatments. Thus, the use of coating with organic polymer associated to Zn and B, regardless of the source, was efficient in reducing the losses of N-NH₃ by volatilization in both sites studied.

Keywords: Ammonia. Micronutrients. NBPT. Organic polymers. Zea mays L.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1–Mapa de localização das áreas experimentais.....	23
Figura 2 –Eletromicrografia de varredura da ureia revestida por polímero orgânico, e tecnologias associadas. (continua).....	36
Figura 3 - Esquema de confecção dos coletores utilizados para avaliação das perdas de N-NH ₃ por volatilização.	40
Figura 4 – Perdas diárias de N-NH ₃ (A) e dados climáticos (B) 30 dias após à aplicação da ureia e suas diferentes tecnologias na adubação de cobertura do milho em Luminárias - MG.	42
Figura 5 – Perda acumulada de N-NH ₃ 30 dias após à aplicação da ureia e suas diferentes tecnologias na adubação de cobertura do milho em Luminárias - MG.	44
Figura 6 – Perdas diárias de N-NH ₃ (A) e dados climáticos (B) 48 dias após à aplicação da ureia e suas diferentes tecnologias na adubação de cobertura do milho em Ingaí – MG.....	46
Figura 7 – Perda acumulada de N-NH ₃ 48 dias após à aplicação da ureia e suas diferentes tecnologias na adubação de cobertura do milho em Ingaí- MG.....	47
Figura 8 – Perdas por volatilização de N-NH ₃ do desdobramento de tratamentos dentro de locais e vice-versa.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise química e da granulometria do solo do experimento “1” localizado no município de Luminárias- MG.	25
Tabela 2 –Nitrogênio total, nitrogênio mineral, densidade do solo, matéria orgânica e estoques de nitrogênio em diferentes profundidades em Luminárias-MG.	26
Tabela 3 – Análise química e da granulometria do solo do experimento “2” localizado no município de Ingaí- MG.	28
Tabela 4 – Nitrogênio total, nitrogênio mineral, densidade do solo, matéria orgânica e estoques de nitrogênio em diferentes profundidades em Ingaí – MG.	29
Tabela 5 – Caracterização química do polímero orgânico adesivo.	31
Tabela 6 – Caracterização química do polímero orgânico pó selante.	32
Tabela 7 – Concentração de aminoácidos no polímero orgânico.	33
Tabela 8 – Concentração de ácidos orgânicos e açúcares no polímero orgânico.	33
Tabela 9 – Concentração de nitrogênio, boro, zinco, carbono orgânico e NBPT na ureia e seus diferentes tipos de tecnologias.	34
Tabela 10 – Doses de Zn e B aplicadas pelos tratamentos compostos por ureia revestida com micronutrientes.	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 A cultura do milho.....	14
2.2 Perdas de nitrogênio por volatilização.....	16
2.3 Fertilizantes nitrogenados.....	18
2.4 Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta e controlada	19
2.4.1 Associação de tecnologias na redução de perdas de N-NH ₃	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Localização das áreas experimentais	23
3.2 Caracterização das áreas experimentais e tratos culturais	24
3.2.1 Experimento “1” em Luminárias – MG	24
3.2.2 Experimento “2” em Ingaí - MG.....	27
3.3 Delineamento experimental	30
3.4 Caracterização do polímero utilizado.....	30
3.5 Caracterização dos fertilizantes	34
3.6 Perdas de N-NH ₃	39
3.7 Análise dos dados.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Perdas de N-NH ₃	41
4.1.1 Primeiro experimento em Luminárias - MG	41
4.1.2 Segundo experimento em Ingaí – MG	45
4.1.3 Análise conjunta das perdas de N-NH ₃ por volatilização em Luminárias e Ingaí	48
5 CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A indústria de fertilizantes tem grande desafio em melhorar a qualidade de seus produtos, aumentando a eficiência das adubações, principalmente dos nitrogenados (CANCELLIER et al., 2016).

A ureia, apesar de ser o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura, quando aplicada superficialmente ao solo pode sofrer perdas por volatilização de amônia ($N-NH_3$), devido a elevação do pH do solo em torno do grânulo (CANCELLIER et al., 2016; CHIEN et al., 2009; MOTA et al., 2015).

As perdas de $N-NH_3$ são influenciados pela temperatura elevada, alta umidade relativa do ar, pH do solo, baixa capacidade de troca de cátions e doses do fertilizante aplicado (MA et al., 2010). A presença de resíduos vegetais sobre o solo aumenta a atividade da urease e pode reduzir o contato do fertilizante com o solo, elevando as perdas de $N-NH_3$ (ROCHETTE et al., 2009). Perdas de $N-NH_3$ por volatilização são importantes não apenas do ponto de vista econômico, mas também pelo impacto ambiental gerado para atmosfera (ZAMAN; BLENNERHASSETT, 2010).

Com o objetivo de diminuir as perdas de $N-NH_3$, aumentar a eficiência no uso do N e minimizar os impactos ambientais causados pela liberação de $N-NH_3$, diversas estratégias e tecnologias podem ser utilizadas.

Uma dessas tecnologias é a utilização de fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta, controlada e seus “blends” (TIMILSENA et al., 2014). Estes fertilizantes são recobertos ou encapsulados por substâncias que fazem com que os nutrientes sejam gradativamente liberados, ou possuem aditivos que inibem alguma etapa de transformação do N no solo (TRENKEL, 2010). Desta forma, as perdas de $N-NH_3$ podem ser menores (AZEEM et al., 2014; JIN et al., 2013).

O uso do NBPT como aditivo para ureia também é reportado como uma alternativa de tecnologia para redução das perdas de $N-NH_3$ (ADOTEY et al., 2017; CANCELLIER et al., 2016; SOUZA et al., 2017). Outra opção dentre as tecnologias seria o revestimento usando Zn e B que são íons metálicos que podem ser eficientes na redução das perdas de $N-NH_3$ por volatilização pela inibição da urease (SINGH et al., 2013), ou ainda o uso de polímeros para revestimento dos grânulos, promovendo uma proteção física a liberação do nitrogênio para o solo.

A uniformidade no revestimento dos grânulos de ureia com nutrientes e polímeros pode determinar o potencial de redução das perdas de amônia por volatilização, pois a

dissolução do grânulo de ureia para o solo se dá através dos pontos de fraqueza e rachaduras provocadas pela água no revestimento (CHAGAS et al., 2016).

O revestimento da ureia com Zn e B por exemplo, além de inibir a atividade da urease também fornece os nutrientes ao solo (CANCELLIER et al., 2016; SILVA, 2016), que serão distribuídos juntamente com a ureia, e a eficiência de distribuição está relacionada a uniformidade no revestimento.

Apesar de haver estudos com o uso de inibidores de urease, revestimento, ou associação entre estes para obtenção de blends que são misturas físicas das tecnologias (CHAGAS et al., 2016), pesquisas avaliando a associação de revestimentos e inibidores de urease no mesmo grânulo dos fertilizantes ainda são incipientes. A associação de inibidores da urease e o revestimento dos grânulos de ureia seria importante para que, após o rompimento da camada de revestimento, o inibidor de urease possa diminuir a taxa de hidrólise da ureia.

A diminuição na taxa de hidrólise da ureia poderia diminuir as perdas de $N-NH_3$, além do zinco e boro usados no revestimento da ureia serem nutrientes de plantas, ou seja, teriam dupla função, inibir a atividade da urease e fornecer micronutrientes como o B e Zn para o milho (CANCELLIER et al., 2016; SILVA, 2016).

O milho pela importância socioeconômica e a sua participação no consumo de fertilizantes nitrogenados na agricultura brasileira tem sido alvo de pesquisas que visam o aumento da eficiência no uso do N por meio da utilização de novas tecnologias para ureia. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas de amônia por volatilização da ureia tratada com inibidores de urease associados a polímero orgânico na cultura do milho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é um dos principais grãos produzidos em todo o mundo, importante fonte de alimento para a população humana e animal, e ainda possui papel relevante como matéria prima para diversos produtos, principalmente em função da quantidade e da natureza das reservas acumuladas nos grãos (ASSIS, 2004). Esta cultura possui enorme importância econômica, pois possui valor agregado destaque no cenário agropecuário brasileiro (BUSATO & BUSATO, 2011; FRAZÃO et al., 2014).

Para a safra 2017/2018, em termos de área plantada, o milho poderá ocupar 16,6 milhões de hectares, com uma produção de quase 89 milhões de toneladas e com uma média nacional de 5,33 t ha⁻¹ (CONAB, 2018). Segundo a Conab, a produtividade média para o estado de Minas Gerais, nessa mesma safra, poderá atingir 6,19 t ha⁻¹, com uma área plantada de 1,14 milhões de hectares e produção de 7,1 milhões de toneladas de milho, somando-se a safra e a safrinha.

No Brasil, a produção de grãos de milho ocorre em duas épocas distintas de semeadura. Uma realizada no verão, também conhecida como primeira safra, efetuada durante o período chuvoso, que, para a região Sul, inicia-se no final de agosto, e para as regiões Centro-Oeste e Sudeste vai até outubro e novembro. Há, ainda aquela realizada no outono, denominada de safrinha ou segunda safra, que é na maioria das vezes semeada logo após a colheita da soja precoce, iniciando-se no final de janeiro e terminando até início de março. A safrinha é realizada principalmente na região Centro-Oeste e nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná (CIVARDI, 2011).

A cultura do milho vem passando por mudanças significativas, principalmente tecnológicas, resultando em aumentos de produtividade e produção. Podem-se citar como exemplos, a melhoria na qualidade dos solos, seja pelo manejo adequado, rotação de culturas, plantio direto e o manejo da fertilidade, através da calagem, gessagem e adubação.

Dentre as várias mudanças citadas, a adubação desta cultura merece destaque, principalmente com relação ao nitrogênio, que se destaca como o principal macronutriente para o aumento na produtividade de grãos. É considerado o mais limitante quanto ao desenvolvimento, produtividade e a formação de biomassa para o crescimento vegetal dessa cultura, por participar diretamente da constituição de aminoácidos, coenzimas, ácidos nucléicos, citocromos e clorofila (CIVARDI, 2011, SANTOS et al., 2010).

As doses de fertilizantes nitrogenados aplicados a cultura do milho são muito variáveis, em função do nível tecnológico de produção. São geralmente doses elevadas, visto que a produtividade desta cultura aumenta consideravelmente com doses crescentes de N (OHLAND et al., 2005), apesar do aproveitamento do N decrescer, pois muitas vezes o suprimento excede as necessidades da cultura (KAPPES et al., 2013), além do aumento nas doses de N aplicadas a cultura, estas podem elevar os custos de produção (ARGENTA E SILVA, 2003).

Como o milho é cultivado em duas safras, os investimentos para o cultivo da primeira e segunda safra podem ser diferentes, pois a primeira safra geralmente apresenta elevadas produtividades em função principalmente das condições climáticas adequadas à cultura. A segunda safra pode também gerar elevadas produtividades, sendo está mais sujeita a condições climáticas desfavoráveis durante o cultivo, quando se tem produtividades elevadas torna-se necessário a aplicação de elevadas doses de N (CANCELLIER et al., 2016).

A necessidade nutricional do milho dependerá da finalidade com que se produz, grãos ou silagem, e ainda relaciona-se com a produtividade e extração pela cultura durante seu ciclo produtivo (MARTIN e PAVINATO, 2010). A quantidade de nutriente a ser suprida deve corresponder, no mínimo, as quantidades extraídas pela planta durante seu ciclo, podendo ser fornecida por meio da aplicação de fertilizantes minerais ou orgânicos. As informações sobre a extração de N pelo milho possuem grande variação entre diferentes trabalhos, mas é o que define as doses de N a serem aplicadas a cultura. A extração de N pode chegar a 340 kg ha^{-1} , sendo incorporados em produção de palha e grãos, e a exportação é de aproximadamente 200 kg ha^{-1} (CANTARELLA, 2007).

Os valores extraídos pela cultura podem ser expressos em kg por tonelada, como a extração média de N de $16,4 \text{ kg}$ para cada tonelada de grãos produzidos, para produtividades próximas a 8 t ha^{-1} de grãos, sendo necessário aumentar para $17,8 \text{ kg}$ para conseguir produtividades superiores a 8 t ha^{-1} (SETIYONO et al., 2010).

As aplicações de N ao milho devem satisfazer os estágios de maior demanda pelo nutriente, sendo os dois períodos de máxima absorção de nitrogênio, durante o desenvolvimento vegetativo e fase reprodutiva, ou formação da espiga, e as menores taxas compreendem o período entre a emissão da inflorescência masculina e início da formação da espiga (OLNESS e BENOIT, 1992).

As doses recomendadas para produtividade próxima a 15 t ha^{-1} de milho, é a aplicação de 316 kg ha^{-1} de N em sistema de plantio direto e 340 kg ha^{-1} em sistema de plantio convencional (SANTOS et al., 2013). A aplicação de elevadas doses deste nutriente relaciona-

se ao baixo aproveitamento do N pela planta, que pode é inserido no sistema de produção pela adubação, e a saída do sistema se dá por meio da remoção de N do solo pela colheita (grãos ou silagem). Mas as principais perdas são devido a desnitrificação, nitrificação, lixiviação, erosão do solo e volatilização de N-NH₃ (FAO, 2001; SHAVIV, 2005; TRENKEL, 2010).

2.2 Perdas de nitrogênio por volatilização

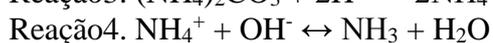
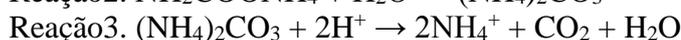
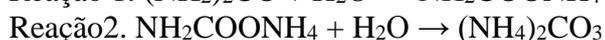
A amônia (N-NH₃) é um gás facilmente liberado para a atmosfera. Suas perdas são dependentes de alguns fatores climáticos, solo e alterações no manejo (MA et al., 2010). Como fatores climáticos podem-se citar temperatura alta, umidade relativa do ar, precipitação não suficiente a incorporação do fertilizante ao solo e velocidade do vento, que contribui para a evaporação da água do solo junto a NH₃. Os fatores ligados ao solo e ao manejo são o aumento do pH superficial, baixa CTC, presença de resíduos sobre a superfície, aumentando a atividade da urease e reduzindo o contato do fertilizante com o solo, a não incorporação da ureia em cobertura e parcelamento das aplicações de fertilizantes (ROCHETTE et al., 2009).

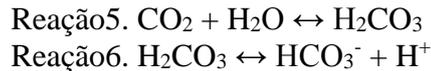
A volatilização de amônia tem início quando fertilizantes nitrogenados (fonte amídica) são aplicados e hidrolisados pela urease, produzida naturalmente no solo por bactérias, actinomicetos e fungos ou ainda originada de restos vegetais (COSTA, VITTI, CANTARELLA, 2003).

Quando ocorre a hidrólise da ureia há a formação de carbamato de amônio (NH₂COONH₄) (Reação 1), que em seguida, em meio aquoso se transforma em carbonato de amônio (NH₄⁺)₂CO₃ (Reação 2). Em meio ácido o carbonato de amônio reage com íons H⁺ presentes na solução do solo e se transforma em NH₄⁺, CO₂ e H₂O (Reação 3). O amônio reage com uma hidroxila, formando gás amônia e água (Reação 4), sendo que a amônia é perdida para a atmosfera.

Após a reação 4, o pH que define a constante de dissociação em soluções aquosas a 20° C é 9,2, abaixo deste valor predomina o amônio em relação a amônia. De acordo com Cantarella, 2007, apenas 0,01 % de amônia é encontrada em pH 5,2; a qual aumenta em função do pH, podendo chegar a 50% em pH 9,2.

O dióxido de carbono da reação 3, está dissolvido em solução, parte dele então reage com moléculas de água, dando origem ao ácido carbônico (Reação 5), que após se dissociar, em pH acima de 6,3 (KOELLIKER, 1998) libera um íon H⁺ (Reação 6).





O pH é fator determinante para que ocorra a volatilização de amônia, pois com a hidrólise da ureia catalisada pela urease há um rápido consumo de prótons H^+ próximo aos grânulos, o meio se torna alcalino pela formação de bicarbonato (HCO_3^-) e hidroxila (OH^-) (MIKKELSEN, 2009; TASCA et al., 2011; TRENKEL, 2010), favorecendo a manutenção da amônia em solução, que é facilmente perdida para a atmosfera.

A umidade é fundamental para que ocorra perdas de N- NH_3 por volatilização, pois provoca a difusão da ureia, aumentando a superfície de contato para ação da urease, desta forma a umidade determinará a velocidade da perda (MIKKELSEN, 2009). Mais importante que a umidade do solo no momento da aplicação é o processo de evaporação da água do solo, sendo que todos os fatores que influenciam na secagem do solo também influenciam as perdas de amônia por volatilização, como por exemplo a velocidade do vento. Vários estudos têm demonstrado que as perdas são maiores quando o solo está secando (CANTARELLA, 2007; HARGROVE et al., 1987; LARA CABEZAS et al., 1992).

Os valores de perda de N- NH_3 são variáveis em função do clima e manejo empregado. Tasca et al. (2011) observaram perda máxima de 50% do N aplicado na forma de ureia em experimento conduzido em laboratório. Perdas de N- NH_3 por volatilização foram observadas em média de 30% na cultura do café em experimento conduzido em campo com uso de diferentes fontes nitrogenadas (DOMINGHETTI et al., 2016). Na cultura do milho em condições de campo foram observadas perdas que variaram de 0,7 a 39% do nitrogênio em aplicação superficial usando diferentes fontes nitrogenadas (SOUZA et al., 2017).

Em trabalho realizado por Cancellier et al, (2016) usando 4 tratamentos para ureia, ureia perolada; ureia + NBPT; ureia+ Cu e B e ureia + polímero orgânico aplicadas ao milho, observaram pico de perda da ureia perolada já no 2º dia após a aplicação em cobertura (12% do aplicado), a ureia+ Cu e B e ureia + polímero orgânico no 3º dia após a adubação, com 6,8 e 5,6 % do aplicado, sendo que o pico da ureia + NBPT ocorreu no 4º dia com 7 % do aplicado em cobertura.

O pico de volatilização para ureia convencional e para a ureia revestida com polímero aplicadas em cobertura no milho em sistema de plantio direto, ocorreu no 15º dia após a adubação para as duas fontes e diferentes doses aplicadas (ZAVASCHI, 2014).

2.3 Fertilizantes nitrogenados

Os principais fertilizantes nitrogenados usados no Brasil são ureia, sulfato de amônio e nitrato de amônio (ANDA, 2017).

A ureia possui 45 % de N na forma amídica, o que torna os custos com transporte, armazenamento e distribuição menores (ZAVASCHI et al., 2014; FRAZÃO et al., 2014). Possui elevada higroscopicidade, e a principal limitação de uso são as elevadas perdas de N-NH₃, quando aplicada em superfície e em condições que favoreçam a rápida hidrólise desta no solo, como temperatura e umidade relativa do ar elevada, presença de resíduos sobre o solo, a baixa CTC e pH alcalino em superfície (SANGOI et al., 2003; ROCHETTE et al., 2009). A ureia pela menor eficiência nas adubações, deve ser avaliada de acordo com as condições que favoreçam as perdas após a aplicação, para ser considerada a fonte de menor custo por unidade de N (SOUZA et al, 2017).

O sulfato de amônio (NH₄)₂SO₄, apresenta em média 21% de N na forma de amônio e 23% de enxofre, solúvel em água e o acabamento é feito com a cristalização do fertilizante.

O nitrato de amônio NH₄⁺ NO₃⁻ possui em torno de 32% de N, solúvel em água e possui metade do nitrogênio na forma amoniacal e metade na forma nítrica.

Apesar de serem os três mais usados no Brasil, os dois últimos apresentam baixas perdas de N-NH₃ por volatilização, como observado em trabalho conduzido na cultura do milho no município de Lavras-MG, onde as perdas acumuladas de N-NH₃ por volatilização foram 0,7 e 1% do total aplicado para nitrato de amônio e sulfato de amônio, respectivamente (SOUZA et al., 2017).

A ureia aplicada superficialmente ao solo em condições de baixa capacidade de troca de cátions, influenciada pelo baixo teor de argila, baixo teor de matéria orgânica e ainda a elevada dose de fertilizante aplicada, pode apresentar elevadas perdas de N-NH₃ por volatilização (SIMS et al., 1998), bem como a presença de resíduos sobre o solo. Por exemplo, em sistema de plantio direto, onde há resíduos orgânicos sobre o solo, as perdas de N-NH₃ do sistema podem ser intensificadas, principalmente pelo menor contato do fertilizante com o solo (CANCELLIER et al., 2016; VARSA et al., 1995) e a maior atividade da urease no resíduo orgânico.

A correção do solo com o uso de calcário sem incorporação também pode intensificar as perdas N-NH₃ por volatilização, pois torna elevado o pH da superfície do solo, favorecendo a presença da amônia em solução (CANCELLIER et al., 2016).

Diante das perdas de N-NH₃ por volatilização, que resultam no baixo aproveitamento do N pelo milho, estratégias e tecnologias são estudadas, para otimizar o uso da ureia como fonte de N em cobertura no milho.

2.4 Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta e controlada

Com o objetivo de minimizar as perdas de N-NH₃ por volatilização, tecnologias vem sendo estudadas, como por exemplo os fertilizantes estabilizados, de liberação lenta, controlada e seus “blends” (TRENKEL, 2010; SOUZA et al., 2017).

Os fertilizantes estabilizados são aqueles onde são adicionados aditivos em sua composição que podem inibir a urease ou a reação de nitrificação (SOUZA et al., 2017). Dentre os inibidores de enzimas, o NBPT tem sido muito utilizado visando a redução da atividade da urease no solo e a permanência do nitrogênio na forma amídica por maior tempo (SOUZA et al., 2017).

O NBPT adicionado ao grânulo de ureia, quando aplicada ao solo oxida-se em seu análogo NBPTO, sendo esta molécula capaz de inibir a atividade da urease no solo pela formação de complexos estáveis com a enzima (COBENA et al., 2011), pois provoca a substituição quase perfeita das moléculas de água próximas ao sítio ativo da urease, fazendo ligações com o átomo de níquel (KRAJEWSKA, 2009).

Os fertilizantes de liberação lenta ou quimicamente modificados, como a ureia formaldeído também são utilizados com objetivo de redução de perdas de N-NH₃. Esta tecnologia consiste na reação da ureia com o formaldeído em um reator sob condições controladas, formando moléculas de maior tamanho com átomos de C e N entrelaçados (SOUZA et al., 2017). Neste caso a ureia tem liberação gradual para o solo, sendo influenciada pela atividade microbológica, temperatura, acidez e umidade do solo (AZEEM et al., 2014; YAMAMOTO et al., 2016).

Os fertilizantes de liberação controlada são aqueles revestidos com resinas, enxofre elementar e polímeros que controlam a liberação do nitrogênio para o solo por difusão (AZEEM et al., 2014). Nesse caso o revestimento promove uma proteção física quanto à entrada de água no interior do grânulo de ureia impedindo sua liberação para o solo (TRENKEL, 2010). A eficiência do revestimento depende da espessura do revestimento do grânulo e a ausência de pontos de fraqueza (CHAGAS et al., 2016; TRENKEL, 2010).

A ureia revestida com enxofre elementar, por exemplo, após diversos estudos sobre a forma de liberação do N (TIMELSENA et al., 2014; TRENKEL, 2010), chegou-se à

conclusão de que a liberação ocorre devido aos poros e rachaduras ocasionados pela água em seu revestimento (AZEEM et al., 2014).

Em diversos estudos são observados casos de insucesso dos fertilizantes de liberação controlada ou revestidos com polímeros para aumento de produção de grãos de milho (CIVARDI et al., 2011; GUARESCHI et al., 2013; MAESTRELO et al., 2014), ou respostas semelhantes para ureia NBPT e revestida com polímeros (FRAZÃO et al., 2014).

Neste sentido, a obtenção de blends pela mistura física de fertilizantes com diferentes tecnologias seria uma alternativa a redução das perdas de N-NH₃ por volatilização, e ainda, redução de custos, promovendo um sincronismo de liberação do nutriente de acordo com a demanda da cultura (AZEEM et al., 2014; JIN et al., 2013). A obtenção de blends já é realizada por exemplo pela mistura física entre ureia convencional, de liberação controlada e com inibidor de urease (TRENKEL, 2010).

Com a mistura física de fertilizantes, a ureia convencional seria a fonte mais rápida de liberação de N, o fertilizante de liberação controlada após o rompimento do revestimento disponibilizaria o nutriente em um outro estágio de desenvolvimento da cultura, bem como o fertilizante estabilizado.

Em experimento conduzido em lavoura de café foram encontrados resultados positivos com uso de blend de ureia convencional, liberação controlada e estabilizada (com inibidor de urease), sendo que a perda acumulada referente ao parcelamento em 2 aplicações foi de 24,3 kg ha⁻¹ (CHAGAS et al., 2016). Os autores concluíram que a aplicação do blend tem o potencial de redução de perdas de N-NH₃ por volatilização, e a aplicação de 70% da dose de N recomendada para o café não afetou o rendimento da safra nem a nutrição da planta.

A mistura física de grânulos de ureia com diferentes tecnologias já é realidade, mas cada tecnologia encontra-se em grânulos separados. Com os resultados obtidos pela mistura de grânulos, torna-se necessário o estudo dessas tecnologias em um único grânulo, que sejam acessíveis em relação ao custo, aumentem a eficiência das adubações nitrogenadas com fonte amídica pela redução nas perdas por volatilização de N-NH₃.

2.4.1 Associação de tecnologias na redução de perdas de N-NH₃

Existe esforço para o desenvolvimento de estratégias que, além de minimizar as perdas de N-NH₃, forneça nutrientes deficientes no solo, como B e Zn (FRAME et al., 2012). O uso de micronutrientes, como Zn, Cu e B podem inibir a atividade da urease por ligação aos grupos sulfidrílica (KARACA et al., 2010) e ainda fornecer os nutrientes do revestimento ao solo.

Estudos conduzidos em laboratório mostraram o potencial de uso de um composto contendo B, podendo este inibir a urease e contribuir para a redução da volatilização de N-NH₃ (SINGH et al., 2013). O uso de ácido bórico adicionado ao grânulo de ureia também foi eficiente na redução da atividade da urease por inibição competitiva (BENINI et al., 2004).

O uso de micronutrientes no tratamento da ureia visando a redução da atividade da urease e conseqüente redução das perdas por volatilização é tido como auxiliar, pois em alguns estudos não foram observados resultados positivos com uso de micronutrientes isoladamente. Como observado em trabalho conduzido em condições controladas em que o uso do sulfato de zinco não foi suficiente para reduzir as perdas de N-NH₃ por volatilização (HAWKE; BALDOCK, 2010).

Apesar dos micronutrientes reduzirem a atividade da urease a eficiência de redução não é grande, por isso deveriam ser adicionadas quantidades elevadas destes, o que poderia causar toxidez as culturas (ADOTEY et al., 2017). A estratégia para evitar o uso de quantidades elevadas de micronutrientes seria a associação de outras tecnologias ao mesmo grânulo (ADOTEY et al., 2017).

A associação de tecnologias no mesmo grânulo poderia auxiliar na redução das perdas de N-NH₃ por volatilização, como observado em estudo conduzido por Frame et al., 2012, onde baixas concentrações de NBPT e revestimento da ureia com CaSO₄ e K₂SO₄ foram eficientes na redução de perdas de N-NH₃ por volatilização.

Ao avaliar as perdas de amônia sob condições controladas em quatro tipos de solo, pela ureia tratada com ZnSO₄ (onde a concentração deste não foi informada); 1,7 g kg⁻¹ de B, 0,6 g kg⁻¹ de NBPT e Gipsita, as perdas de N-NH₃ por volatilização foram inferiores aos obtidos com ureia convencional e ureia tratada com ZnSO₄ apenas, sendo que em comparação a ureia convencional as perdas foram reduzidas de 81% do N aplicado para 59% do N aplicado (ADOTEY et al., 2017). E em alguns solos a perda de amônia da ureia tratada com ZnSO₄, B, NBPT e Gipsita foi inferior as registradas pela ureia tratada com NBPT nas concentrações de 0,3; 0,6 e 0,9 g kg⁻¹, mostrando a eficiência da associação de tecnologias, principalmente em solos com pH < 5,5, onde a degradação do NBPT é mais rápida (ADOTEY et al, 2017).

O uso de polímeros para revestimento de ureia já é empregado para proteção física do grânulo que possui liberação controlada para o solo. Esses polímeros são macromoléculas formadas pela repetição de segmentos ao longo da cadeia, denominadas monômeros que possuem baixo peso molecular e que ao condensar-se dão origem a materiais com alto peso molecular, então chamados de polímeros. São uma classe de materiais considerados versáteis,

muito utilizados na agricultura, e sua versatilidade está relacionada a sintetização de acordo com sua aplicação (MILANI et al., 2017).

Devido à ausência de um material que em sua forma pura possua todas as aplicações para que se deseja, procura-se a mistura de materiais (orgânicos e inorgânicos) que combinados possuam as mesmas propriedades do material puro, mas que satisfaça a aplicação desejada (MALLMANN, 2016), constituindo por exemplo o polímero híbrido orgânico-inorgânico. Caso não seja necessário o uso de materiais combinados pode-se sintetizar um polímero somente constituído de materiais inorgânicos ou sintéticos. Já os polímeros orgânicos por sua vez possuem a mesma definição química que os inorgânicos e aqueles combinados, mas são sintetizados a partir de matrizes exclusivamente orgânicas.

O uso de polímeros no revestimento de fertilizantes e moléculas de defensivos agrícolas é largamente utilizado com o objetivo de promover a liberação controlada do produto, mas até então havia pouca preocupação com o tempo gasto para degradação desses materiais aplicados ao solo, que eram feitos exclusivamente com materiais sintéticos (MILANI et al., 2017). Estudos mais recentes estão objetivando o uso de polímeros biodegradáveis, para substituição daqueles usados até o momento.

Para a produção de polímeros inorgânicos há um custo elevado, sendo a principal desvantagem apresentada por esses materiais, além do maior tempo de degradação quando aplicados ao solo (MILANI et al., 2017). Com base nisso pode-se inferir que, ao optar pelo uso de polímeros sintetizados apenas por materiais orgânicos, o tempo de degradação destes no solo será menor, visto que os materiais utilizados não caracterizam xenobióticos (materiais estranhos aos organismos do solo), como os polímeros sintéticos. E ainda, o uso de resíduos de processamento industrial de diversos produtos vegetais pode ser utilizados para a obtenção de polímeros orgânicos, que além de serem utilizados para revestimento de fertilizantes, são de baixo custo e dariam destinação aos resíduos da indústria de processamento.

Os materiais orgânicos quando usados para o revestimento de fertilizantes nitrogenados, sobretudo da ureia, seria responsável por redução das perdas de $N-NH_3$ por volatilização por possuírem elevada CTC e pH geralmente ácido (PAIVA et al, 2012), responsável por tamponar a reação de hidrólise da ureia aplicada ao solo. Desta forma, a associação de inibidores de urease (como NBPT e micronutrientes) com estes polímeros orgânicos seria alternativa para aumentar a eficiência no uso da ureia em cobertura, como proposto por Frame et al., 2012 que recomendam estudos em condições de campo visando definir doses de NBPT associadas a revestimentos físicos que seriam eficientes na redução das perdas de $N-NH_3$ por volatilização.

Ao optar pelo uso de NBPT associado a polímero orgânico deve-se atentar a possibilidade de degradação da molécula pelo baixo pH geralmente encontrado nestes materiais (ENGEL et al, 2013), neste caso a associação do polímero orgânico com micronutrientes poderia ser mais eficiente.

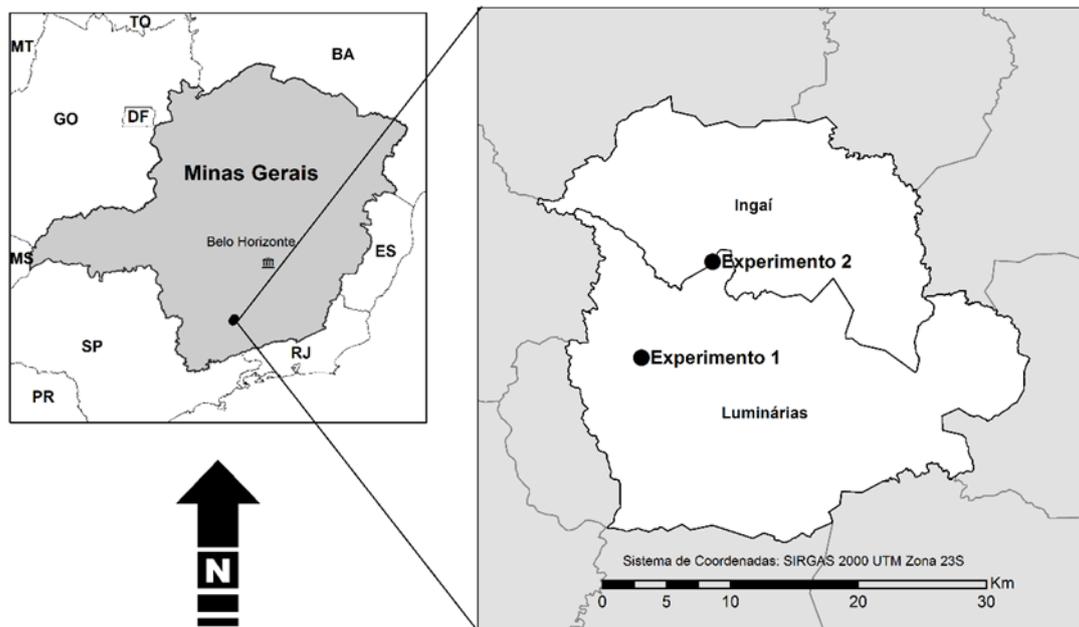
A eficiência de redução das perdas de N-NH₃ por volatilização da ureia revestida com polímeros orgânicos e/ou micronutrientes dependem de fatores como, sistema de cultivo, da cultura e do tipo de solo, podendo estes variarem em função da área de estudo, por isso, resultados de apenas um estudo não podem ser confiáveis para comprovar a redução das perdas de N-NH₃ por volatilização (XU et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização das áreas experimentais

O experimento foi instalado em duas áreas de produção de grãos, uma localizada no município de Ingai e outra no município de Luminárias, como mostra o mapa de localização (figura1).

Figura 1–Mapa de localização das áreas experimentais.



3.2 Caracterização das áreas experimentais e tratos culturais

3.2.1 Experimento “1” em Luminárias – MG

O primeiro experimento foi realizado em uma fazenda de produção de grãos, localizada no município de Luminárias-MG (coordenadas geográficas 21° 30' 42" S e 45° 00' 48" W), sendo semeado em março e com previsão de colheita para julho de 2018, em condições de sequeiro.

O clima da região é do tipo Cwa, temperado húmido, com inverno seco e verão quente, segundo a classificação de Köppen. Temperatura média anual de 20,8°C, com precipitação pluviométrica média de 1.204 mm. A área experimental encontra-se a 959m de altitude.

A área em que foi realizado o experimento é cultivada em sistema de plantio direto (SPD) em vias de consolidação, com sucessão de culturas soja/milho ou soja/trigo, o cultivo anterior à implantação do experimento foi soja.

O solo da área experimental foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico (EMBRAPA, 2013). Para a caracterização química e granulométrica foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e; 20 a 40 cm (Tabela 1).

Tabela 1– Análise química e da granulometria do solo do experimento “1” localizado no município de Luminárias- MG.

Profundidade	pH	K⁺	P	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H+Al	SB	T	T	V	m
cm	H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%				
0-5	6,3	117,62	5,74	5,60	0,72	0,02	1,96	6,62	6,64	8,58	77,17	0,30
5-10	5,2	58,15	19,11	2,10	0,24	0,12	4,32	2,49	2,61	6,81	36,55	4,60
10-20	5,3	67,38	1,40	1,64	0,23	0,07	3,66	2,04	2,11	5,70	35,84	3,32
20-40	5,5	69,43	0,52	1,30	0,18	0,06	3,13	1,66	1,72	4,79	34,61	3,49
0-20	5,52	77,63	6,91	2,74	0,35	0,14	3,4	4,10	3,36	6,69	46,35	2,88
Profundidade	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	P-rem	Argila	Silte	Areia		
cm	mg dm ⁻³						mg L ⁻¹	dag kg ⁻¹				
0-5	6,75	17,14	28,37	1,33	0,24	25,29	17,14	34	38	28		
5-10	8,42	13,50	12,16	1,75	0,15	87,59	13,50	42	31	27		
10-20	1,17	10,75	6,78	1,10	0,16	99,11	10,75	43	28	29		
20-40	0,56	8,53	3,70	0,76	0,17	95,84	8,53	44	26	30		
0-20	4,37	13,03	13,52	1,32	0,17	77,77	13,03	40,5	31,25	28,25		

P-K-Fe-Zn-Mn-Cu – Extrator Mehlich; Ca-Mg-Al – Extrator KCl -1 mol/L; H+Al – Extrator SMP; B – Extrator água quente; S – Extrator Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; % V = Índice de Saturação de Bases; m = Saturação de Alumínio; P(rem) = Fósforo Remanescente.

O N total foi determinado pelo método Kjeldhal após digestão sulfúrica das amostras, o N inorgânico no extrato de KCl 1 mol L⁻¹ pelo método Kjeldhal usando como extratores óxido de magnésio e liga de devarda, de acordo com Tedesco et. al, 1995

A matéria orgânica determinada por oxidação em dicromato de sódio 0,57 mol L⁻¹ e Ácido sulfúrico 4 mol L⁻¹, e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico (GROSSMAN e REINSCH, 2002). Os estoques de nitrogênio total e nitrogênio mineral foram calculados multiplicando-se os teores de nitrogênio em mg kg⁻¹ pela densidade do solo na camada amostrada (área cultivada), sendo o valor obtido multiplicado pelo peso do solo na camada, em kg, com posterior transformação dos valores para kg ha⁻¹. Os valores referentes às análises químicas e os estoques de N nas diferentes profundidades estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Nitrogênio total, nitrogênio mineral, densidade do solo, matéria orgânica e estoques de nitrogênio em diferentes profundidades em Luminárias-MG.

Profundidade	M.O.	N Total	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	D.S.	E _{NT}	E _{NH₄⁺}	E _{NO₃⁻}	E _{NM}
cm	dag kg ⁻¹	g kg	mg kg ⁻¹		kg dm ⁻³	kg ha ⁻¹			
0-5	3,70	2,60	40,83	96,07	1,12	1.456	22,86	53,79	76,65
5-10	2,63	1,60	30,96	42,64	1,16	928	17,95	24,73	42,68
10-20	2,19	1,56	22,42	38,61	1,09	1.700	24,43	42,08	66,51
20-40	2,00	1,38	20,32	35,37	1,05	2.898	42,66	74,26	116,92
0-20	2,67	-	-	-	-	4.084	65,24	120,60	185,84

M.O.= matéria orgânica (Oxidação Na₂Cr₂O₇ 0,57 mol L⁻¹+H₂SO₄ 5mol L⁻¹), D.S.= Densidade do solo pelo método do anel volumétrico; E_{NT}= Estoque de nitrogênio total, E_{NH₄⁺}= Estoque de nitrogênio na forma de amônio, E_{NO₃⁻}= Estoque de nitrogênio na forma de nitrato, E_{NM}= Estoque de nitrogênio mineral referente a soma do E_{NH₄⁺} e E_{NO₃⁻}.

A semeadura foi realizada utilizando-se o híbrido simples Pionner P3707 VYH em semeadora a vácuo no dia 06/03/2018, com espaçamento entre linhas de 0,5 m e estande final de 60.000 plantas por hectare.

A adubação de semeadura foi realizada com base na análise de solo (Tabela 1). Para isso, foram aplicados 200 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral misto 13-33-00 + 9% de S⁰, a dose menor de fósforo se deve a baixa produtividade de grãos esperada.

Foi realizada aplicação única de herbicida no dia 16/03/2018, com produtos à base de Tembotriona (420g L⁻¹) e Atrazina (500g L⁻¹), na dose de 240 mL ha⁻¹ e 4 L ha⁻¹ respectivamente.

No dia 24/03/2018 (estágio V3) foi realizada a adubação de cobertura com os fertilizantes nitrogenados dos tratamentos e à aplicação de 80 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio (58 % de K₂O). Os fertilizantes foram distribuídos manualmente a uma distância de 10 cm da linha de semeadura.

Foi realizada adubação foliar (5% N; 4% S; 5% Mn; 0,3% B; 0,05% Mo e 3% Zn) no dia 23/03/2018 na dose de 2 L ha⁻¹, juntamente com aplicação de inseticida a base de Imidacloprido (100g L⁻¹) + Betaciflutrina (12,5 g L⁻¹), na dose de 750 mL ha⁻¹. Na adubação foliar foram aplicados: 100 g ha⁻¹ de N; 80 g ha⁻¹ de S; 100 g ha⁻¹ de Mn; 6g ha⁻¹ de B; 1g ha⁻¹ de Mo; 60 g ha⁻¹ de Zn.

As aplicações de fungicida foram realizadas nos dias 21/04/2018 e 05/05/2018. A 1ª aplicação com o uso de fungicida a base de Trifloxistrobina (100g L⁻¹) + Tebuconazol (200g L⁻¹) e fungicida/acaricida a base de Mancozeb (750 g kg⁻¹), nas doses de 600 mL ha⁻¹ e 2 kg ha⁻¹ respectivamente. Na 2ª aplicação foi utilizado o fungicida a base de Picoxistrobina (200g L⁻¹) + Ciproconazole (80g L⁻¹), na dose de 400 mL ha⁻¹. Todas as aplicações dos produtos descritos acima foram realizadas por pulverizador auto propellido.

3.2.2 Experimento “2” em Ingaí - MG

O experimento foi realizado em uma fazenda de produção de grãos, localizada no município de Ingaí-MG (coordenadas geográficas 21° 26' 38" Se 44° 50' 42"W), sendo semeado em março e previsão para colheita em agosto de 2018, em cultivo sequeiro. O clima da região é o mesmo descrito para o experimento 1, e a área encontra-se a 1030m de altitude.

O experimento foi realizado em área de SPD em vias de consolidação, onde se emprega sucessão de culturas soja/milho.

O solo da área experimental foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico (EMBRAPA, 2013). Para a caracterização química e granulométrica foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e; 20 a 40 cm (Tabela 3).

Tabela 3 – Análise química e da granulometria do solo do experimento “2” localizado no município de Ingaí- MG.

Profundidade	pH	K⁺	P	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m
cm	H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³						%	
0-5	7,0	153,70	1,99	5,38	2,01	0,03	1,19	7,78	7,81	8,97	86,78	0,38
5-10	6,1	117,48	2,08	2,86	0,80	0,05	2,17	3,96	4,01	6,13	64,62	1,25
10-20	5,0	72,20	0,46	1,00	0,25	0,19	4,37	1,44	1,63	5,81	24,70	11,66
20-40	5,3	55,10	0,20	0,91	0,21	0,09	3,00	1,26	1,35	4,26	29,61	6,67
0-20	5,52	103,89	1,24	2,56	0,82	0,115	3,02	3,65	3,77	6,68	50,20	6,23
Profundidade	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	P-rem	Argila	Silte	Areia		
cm	mg dm ⁻³						mg L ⁻¹	dag kg ⁻¹				
0-5	36,12	29,32	30,81	6,24	0,22	5,85	14,20	38	42	20		
5-10	2,15	28,01	6,12	1,84	0,16	18,38	12,72	46	34	20		
10-20	10,55	24,81	4,78	1,64	0,09	66,51	10,70	46	34	20		
20-40	3,28	26,24	2,80	1,63	0,13	51,47	11,05	41	40	19		
0-20	14,84	26,73	11,62	2,84	0,14	39,31	12,08	44	36	20		

P-K-Fe-Zn-Mn-Cu – Extrator Mehlich; Ca-Mg-Al – Extrator KCl -1 mol/L; H+Al – Extrator SMP; B – Extrator água quente; S – Extrator Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; %V = Índice de Saturação de Bases; m = Saturação de Alumínio; P(rem) = Fósforo Remanescente.

O N total foi determinado pelo método Kjeldhal após digestão sulfúrica das amostras, o N inorgânico no extrato de KCl 1 mol L⁻¹ pelo método Kjeldhal utilizando óxido de magnésio e liga de devarda, de acordo com Tedesco et. al, 1995

A matéria orgânica determinada por oxidação em dicromato de sódio 0,57 mol L⁻¹ e Ácido sulfúrico 4 mol L⁻¹, e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico (GROSSMAN e REINSCH, 2002). Os estoques de nitrogênio total e nitrogênio mineral foram calculados multiplicando-se os teores de nitrogênio em mg kg⁻¹ pela densidade do solo na camada amostrada (área cultivada), sendo o valor obtido multiplicado pelo peso do solo na camada, em kg, com posterior transformação dos valores para kg ha⁻¹. Os valores referentes às análises químicas e os estoques de N nas diferentes profundidades estão na Tabela 4.

Tabela 4 – Nitrogênio total, nitrogênio mineral, densidade do solo, matéria orgânica e estoques de nitrogênio em diferentes profundidades em Ingaí - MG.

Profundidade	M.O.	N Total	N-NH₄⁺	N-NO₃⁻	D.S.	E_{NT}	E_{NH₄⁺}	E_{NO₃⁻}	E_{NM}
Cm	dag kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		kg dm ⁻³	kg ha ⁻¹			
0-5	3,74	2,60	87,66	43,93	1,20	1.560	52,59	26,35	78,94
5-10	2,57	1,58	46,55	32,72	1,21	955,5	28,16	19,80	47,96
10-20	2,50	1,52	41,59	33,82	1,13	1.717	47,00	38,21	85,21
20-40	2,10	1,32	37,44	23,61	1,05	2.772	78,62	49,60	128,22
0-20	2,82	-	-	-	-	4.233	127,75	84,36	212,11

M.O.= matéria orgânica (Oxidação Na₂Cr₂O₇ 0,57 mol L⁻¹+H₂SO₄ 5mol L⁻¹), D.S.= Densidade do solo pelo método do anel volumétrico; E_{NT}= Estoque de nitrogênio total, E_{NH₄⁺}= Estoque de nitrogênio na forma de amônio, E_{NO₃⁻}= Estoque de nitrogênio na forma de nitrato, E_{NM}= Estoque de nitrogênio mineral referente a soma do E_{NH₄⁺} e E_{NO₃⁻}.

Foi realizada a semeadura com o híbrido Feroz Viptera 3 com auxílio de semeadora/adubadora no dia 23/03/2018, com espaçamento de 0,6 metros entre linhas e com população final de 60.000 plantas por hectare. Na adubação de semeadura foram aplicados 230 kg ha⁻¹ do fertilizante mineral misto 10-30-10, sendo a baixa dose de fósforo aplicada, devido à baixa produtividade esperada.

Para o controle de plantas invasoras foi realizada única aplicação de herbicidas no dia 03/04/2018, a base de Tembotriona (420 g L⁻¹) e Atrazina (500 g L⁻¹), na dose de 180 mL ha⁻¹ e 3 L ha⁻¹, respectivamente.

No dia 14/04/2018 (estágio V3) foi realizada a adubação de cobertura com os fertilizantes nitrogenados dos tratamentos e à aplicação de 80 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio (58 % de K₂O). Os fertilizantes foram distribuídos manualmente a uma distância de 10 cm da linha de semeadura.

No dia 08/05/2018 realizou-se adubação foliar com fertilizante contendo 5% Mn; 5% N; 4% S; 0,3% B; 0,05% Mo e 3% Zn na dose de 2,5 L ha⁻¹. Na adubação foliar foram aplicados: 125 g ha⁻¹ de N; 100 g ha⁻¹ de S; 125 g ha⁻¹ de Mn; 7,5 g ha⁻¹ de B; 1,2 g ha⁻¹ de Mo; 75 g ha⁻¹ de Zn. Na mesma aplicação foi realizado o controle de doenças com 2 L ha⁻¹ do fungicida a base de Trifloxistrobina (100g L⁻¹) + Tebuconazol (200g L⁻¹), na dose de 600 mL ha⁻¹, foi adicionado também inseticida a base de Tiametoxam (141 g L⁻¹) + Lambda-Cialotrina (106 g L⁻¹), na dose de 250 ml ha⁻¹.

3.3 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados em esquema fatorial 6 x 3 +1, totalizando 19 tratamentos, com 4 repetições em ambas localidades. Cada parcela experimental foi composta de 5 linhas com 5m de comprimento. As 3 linhas centrais e os 3m centrais de cada linha foram considerados como área útil.

Os tratamentos foram 6 fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura nas doses de 50; 100 e 150 kg ha⁻¹ de N mais o controle, sem aplicação de N em cobertura. Os fertilizantes nitrogenados foram: 1) ureia perolada; 2) ureia+ NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida); 3) ureia + polímero orgânico; 4) ureia + polímero orgânico + Zn + B; 5) ureia+NBPT + polímero orgânico, 6) ureia + polímero orgânico+ Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B. O polímero orgânico utilizado foi sintetizado utilizando como matéria-prima resíduo de processamento da soja.

3.4 Caracterização do polímero utilizado

O chamado kit polímero orgânico (agente adesivo supressor de poeira e agente selante) usado neste experimento é uma invenção que trata-se do processo de produção de revestimento para fertilizantes minerais granulados e outras aplicações. O kit é composto por dois produtos, sendo o principal, a massa orgânica blindada aniônica, que é um produto que pode se apresentar tanto na forma fluída/viscosa ou na forma pastosa, de acordo com o processo industrial de mistura dos fertilizantes granulados especiais e outras aplicações, denominado polímero orgânico adesivo e o outro seria o polímero orgânico pó selante.

O polímero orgânico adesivo é preparado com uma porcentagem de polímero orgânico pó, o que contribui para superfície específica estimada de 137 mil m² kg de produto. Os teores de macro e micronutrientes, carbono orgânico total, pH e densidade do polímero orgânico adesivo são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização química do polímero orgânico adesivo.

Composição	Valor	Unidade
Carbono Orgânico Total	30,16	%
Matéria orgânica (MO)	56,55	%
Nitrogênio total	1,07	%
Fósforo (P₂O₅)	0,39	%
Potássio (K₂O)	2,6	%
Cálcio	0,8	%
Magnésio	0,09	%
Enxofre	0,05	%
Zinco	31,95	mg kg ⁻¹
Cobre	10,65	mg kg ⁻¹
Manganês	19,17	mg kg ⁻¹
Boro	33,46	mg kg ⁻¹
Ferro	55,38	mg kg ⁻¹
Sódio	660,24	mg kg ⁻¹
Relação C/N	28	-
pH	5,0	-
Densidade	1,28	g cm ⁻³
Superfície específica	137.000	m ² kg ⁻¹

Métodos: pH em CaCl₂ 0,01M; Matéria Orgânica Total e Resíduo mineral por combustão em mufla; Potássio(K₂O), cálcio (Ca), magnésio (Mg) por espectrofotômetro de absorção atômica, extraído com HCl 1+1; Nitrogênio total, digestão sulfúrica (Kjeldahl); Carbono por dicromato seguido de titulação; Fósforo (P₂O₅): Extração com HCl 1+1, determinação por espectrofotômetro (leitura no comprimento de onda de 430 nm) pelo método com a solução de vanadomolibdica; Enxofre (S) método gravimétrico do sulfato de bário; Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Sódio (Na) por espectrofotômetro de absorção atômica extraído com HCl 1+1. Boro (B) por espectrofotômetro com Azometina H monossódica. (Ref. Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos. MAPA, 2014)

O polímero orgânico pó selante, que é utilizado para fabricação do polímero orgânico adesivo e para selagem do revestimento em alguns casos, possui a mesma composição do polímero orgânico adesivo, mas com uma superfície específica mais elevada (Tabela 6).

Tabela 6 – Caracterização química do polímero orgânico pó selante.

Composição	Valor	Unidade
Carbono Orgânico Total	21,38	%
Matéria orgânica (MO)	42,07	%
Nitrogênio total	0,19	%
Fósforo (P₂O₅)	0,08	%
Potássio (K₂O)	0,37	%
Cálcio	0,77	%
Magnésio	0,09	%
Enxofre	0,04	%
Zinco	12,65	mg kg ⁻¹
Cobre	6,90	mg kg ⁻¹
Manganês	81,62	mg kg ⁻¹
Boro	10,12	mg kg ⁻¹
Ferro	694,37	mg kg ⁻¹
Sódio	655,28	mg kg ⁻¹
Relação C/N	113	-
pH	8,5	-
Densidade	0,2	g cm ⁻³
Superfície específica	1.703,62	m ² g ⁻¹

Métodos: pH em CaCl₂ 0,01M; Matéria Orgânica Total e Resíduo mineral por combustão em mulfla; Potássio(K₂O), cálcio (Ca), magnésio (Mg) por espectrofotômetro de absorção atômica, extraído com HCl 1+1; Nitrogênio total, digestão sulfúrica (Kjeldahl); Carbono por dicromato seguido de titulação; Fósforo (P₂O₅): Extração com HCl 1+1, determinação por espectrofotômetro (leitura no comprimento de onda de 430 nm) pelo método com a solução de vanadomolibdica; Enxofre (S) método gravimétrico do sulfato de bário; Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Sódio (Na) por espectrofotômetro de absorção atômica extraído com HCl 1+1. Boro (B) por espectrofotômetro com Azometina H monossódica. (Ref. Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos. MAPA, 2014).

Para revestimento dos fertilizantes com o kit polímero orgânico usa-se de 1 a 1,5% do polímero adesivo supressor de poeira e a mesma proporção do pó selante para cada tonelada de fertilizante tratado. Primeiramente é adicionado ao fertilizante o polímero orgânico adesivo, e posteriormente adiciona-se o pó selante, que possui elevada superfície específica e elevada densidade de cargas negativas.

A elevada adesividade do polímero orgânico permite a adição de micronutrientes em pó na mistura de formulados minerais granulados, permitindo a produção de fertilizantes granulados especiais, contendo não só micronutrientes, como matéria orgânica, ácidos

orgânicos e aminoácidos. Para análise de ácidos orgânicos, aminoácidos e açúcares, uma amostra do material foi enviada para o Laboratório Eurofins do Brasil Análises de Alimentos Ltda, e os resultados são apresentados nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Concentração de aminoácidos no polímero orgânico.

Aminoácidos	Concentração (g 100g⁻¹)	Aminoácidos	Concentração (g 100g⁻¹)
Alanina	0,207	Omitina	< 0,05*
Arginina	0,239	Fenilalanina	0,211
Ácido	0,925	Prolina	0,174
Ácido aspártico	0,510	Serina	0,123
Glicina	0,166	Treonina	0,118
Histidina	0,133	Tirosina	0,194
Hidroxiprolina	< 0,05*	Valina	0,121
Leucina	0,127	Cisteína + Cistina	0,056
Lisina	0,122	Metionina	0,045
Isoleucina	0,090	Triptofano	0,089

* Abaixo do limite de detecção. Metodologia: AMSUR, ISSO 13.903: 2005, EU 152/2009.

Tabela 8 – Concentração de ácidos orgânicos e açúcares no polímero orgânico

Ácidos orgânicos¹	Concentração (mg kg⁻¹)	Açúcares²	Concentração (%)
Ácido acético	2000	Frutose	1,53
Ácido butírico	< 300*	Glucose	< 0,15*
Ácido cítrico	29.000	Lactose	<0,15*
Ácido fórmico	< 200*	Maltose	0,46
Ácido láctico	24.000	Sacarose	10,4
Ácido oxálico	160	Açúcares totais	12,39
Ácido propiônico	< 300*		
Ácido pirúvico	< 10*		
Ácido succínico	1.500		

* Abaixo do limite de detecção. ¹Analisado por cromatografia líquida de acordo com metodologia interna do laboratório; ²Metodologia: AOAC 982.14, 1990.

De acordo com os objetivos de uso, o tratamento dos fertilizantes pode ser realizado de diferentes formas. Quando se pretende adicionar micronutrientes no grânulo de fertilizante com o polímero orgânico adesivo, o produto (fertilizante tratado) pode ter ou não a inclusão do polímero pó selante, dependendo do tipo de fertilizante granulado tratado, mas quando se

faz o tratamento apenas com o polímero orgânico adesivo, obrigatoriamente deve-se usar o polímero orgânico pó para selagem do revestimento.

Ao serem aplicados ao solo, os fertilizantes tratados com o polímero entrando em contato com a água, o kit se dissolve gradativamente em meio a uma solução escura carregada de aminoácidos, ácidos orgânicos e cargas negativas, fazendo com que elementos com cargas positivas sejam retidos e disponibilizados para as plantas por um maior período de tempo, aumentando sua eficiência, como por exemplo, menor volatilização do N por ligação do íon NH_4^+ as cargas negativas liberadas nas proximidades do grânulo pelo polímero.

3.5 Caracterização dos fertilizantes

Para determinação dos teores de N, B e Zn os fertilizantes foram enviados para o Laboratório de Corretivos e Fertilizantes (DQI/ UFLA) (MAPA, 2014). A porcentagem de carbono orgânico total foi determinada no Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo (DCS/UFLA) por combustão seca em analisador marca Elementar, modelo Vario TOC.

A concentração de NBPT nos fertilizantes foi analisada em cromatógrafo líquido, modelo HP1100 Agilent com detector de arranjo de diodos (DAD) de acordo com metodologia descrita em European Handard, 2008 (Tabela 9).

Tabela 9 – Concentração de nitrogênio, boro, zinco, carbono orgânico e NBPT na ureia e seus diferentes tipos de tecnologias.

Fertilizante	N	B	Zn	COT ⁴	NBPT ⁵
	%				mg kg ⁻¹
Ureia perolada	45,6	—	—	19,029	—
Ureia + NBPT	44,8	—	—	19,293	85,09
Ureia + polímero orgânico	45,6	—	—	21,302	—
Ureia + polímero orgânico + Zn¹+ B²	44,5	0,30	1,21	19,988	—
Ureia + NBPT + polímero orgânico	45,5	—	—	20,344	22,83
Ureia +polímero orgânico + Zn³+ B²	43,4	0,33	1,23	19,081	—

¹100% de ZnO; ²100% octaborato de sódio; ³50% de ZnO e 50% de ZnSO₄⁴ Combustão seca; ⁵ European Handard- EN 15688.

As doses de Zn e B adicionadas por meio dos dois fertilizantes onde foram adicionados micronutrientes no revestimento da ureia estão na Tabela 10.

Tabela 10 – Doses de Zn e B aplicadas pelos tratamentos compostos por ureia revestida com micronutrientes.

Fertilizante	Doses N (kg ha⁻¹)	Zn (g ha⁻¹)	B (g ha⁻¹)
Ureia+ polímero orgânico+ Zn + B	0	0,00	0
	50	1.360	338
	100	2.720	674
	150	4.070	1.011
Ureia+ polímero orgânico+ Zn (50% ZnSO₄+ 50% ZnSO₄) + B	0	0,00	0
	50	1.410	380
	100	2.830	760
	150	4.250	1.140

Todos os tratamentos com revestimento para ureia foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultra estrutural (LME), localizado no Departamento de Fitopatologia (DFP) da Universidade Federal de Lavras de acordo com metodologia descrita em Cancellier, 2013 (Figura 2).

Figura 2 – Eletromicrografia de varredura da ureia revestida por polímero orgânico, e tecnologias associadas. (continua)

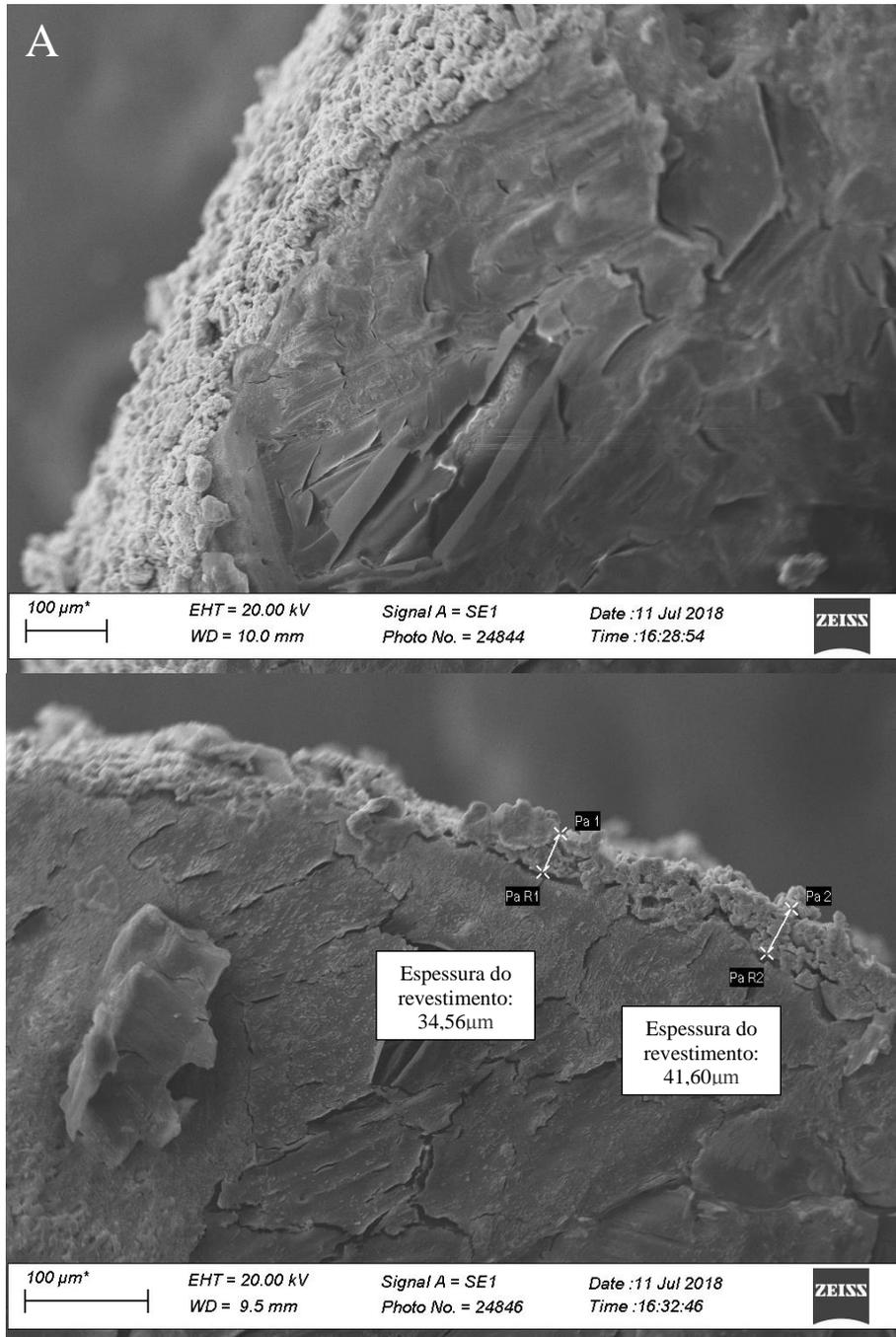


Figura 2 – Eletromicrografia de varredura da ureia revestida por polímero orgânico, e tecnologias associadas. (continua)

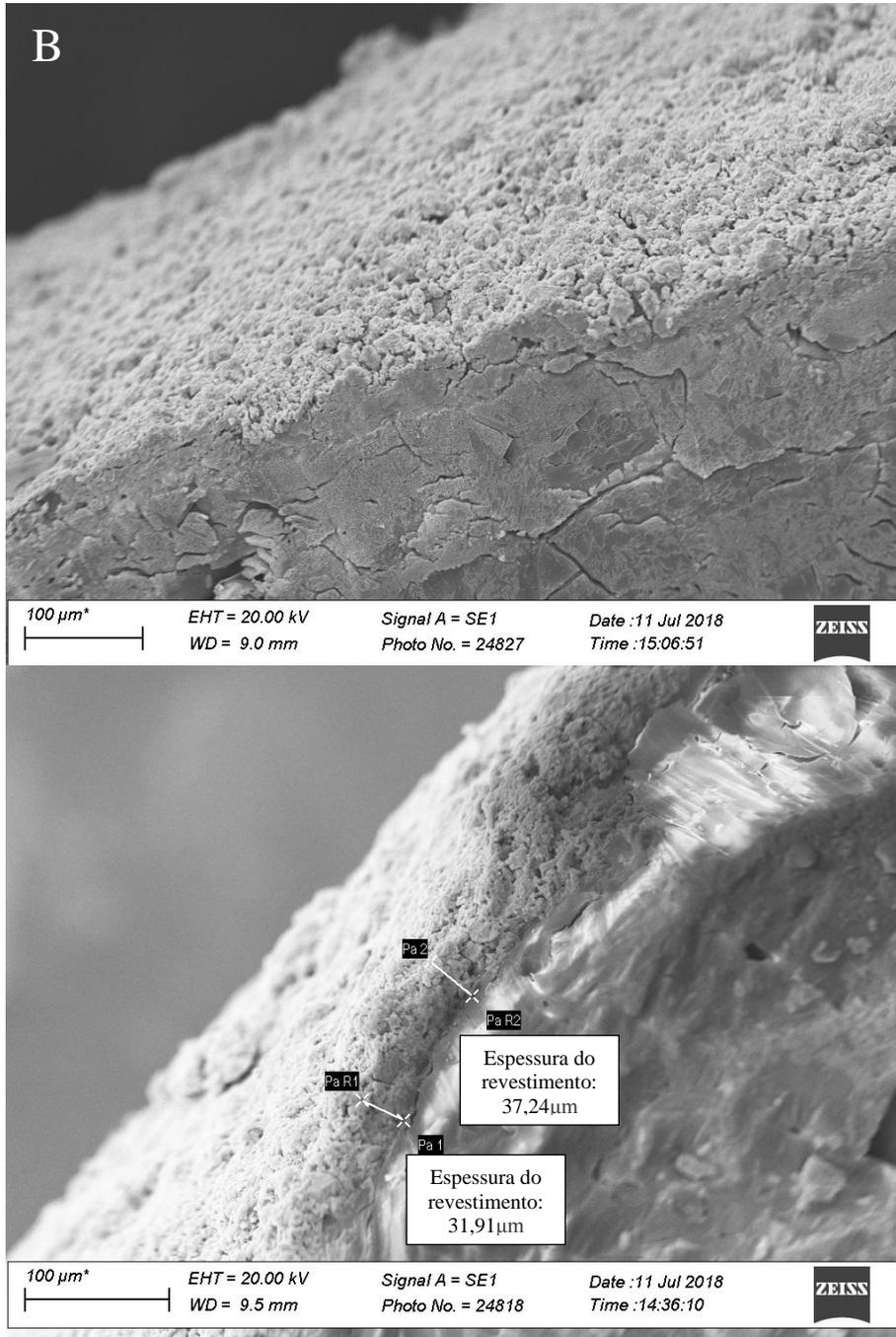


Figura 2 – Eletromicrografia de varredura da ureia revestida por polímero orgânico, e tecnologias associadas. (continua)

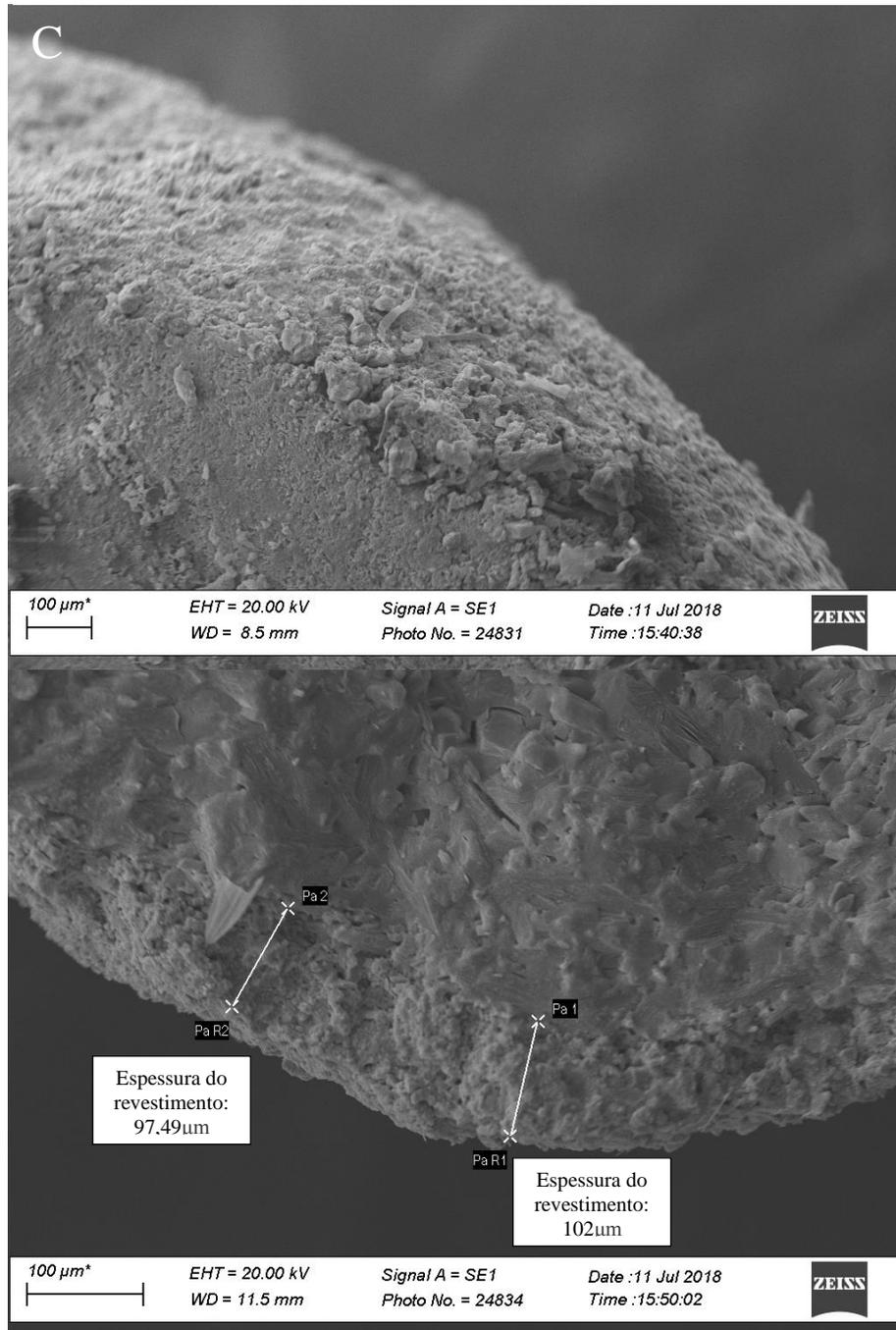
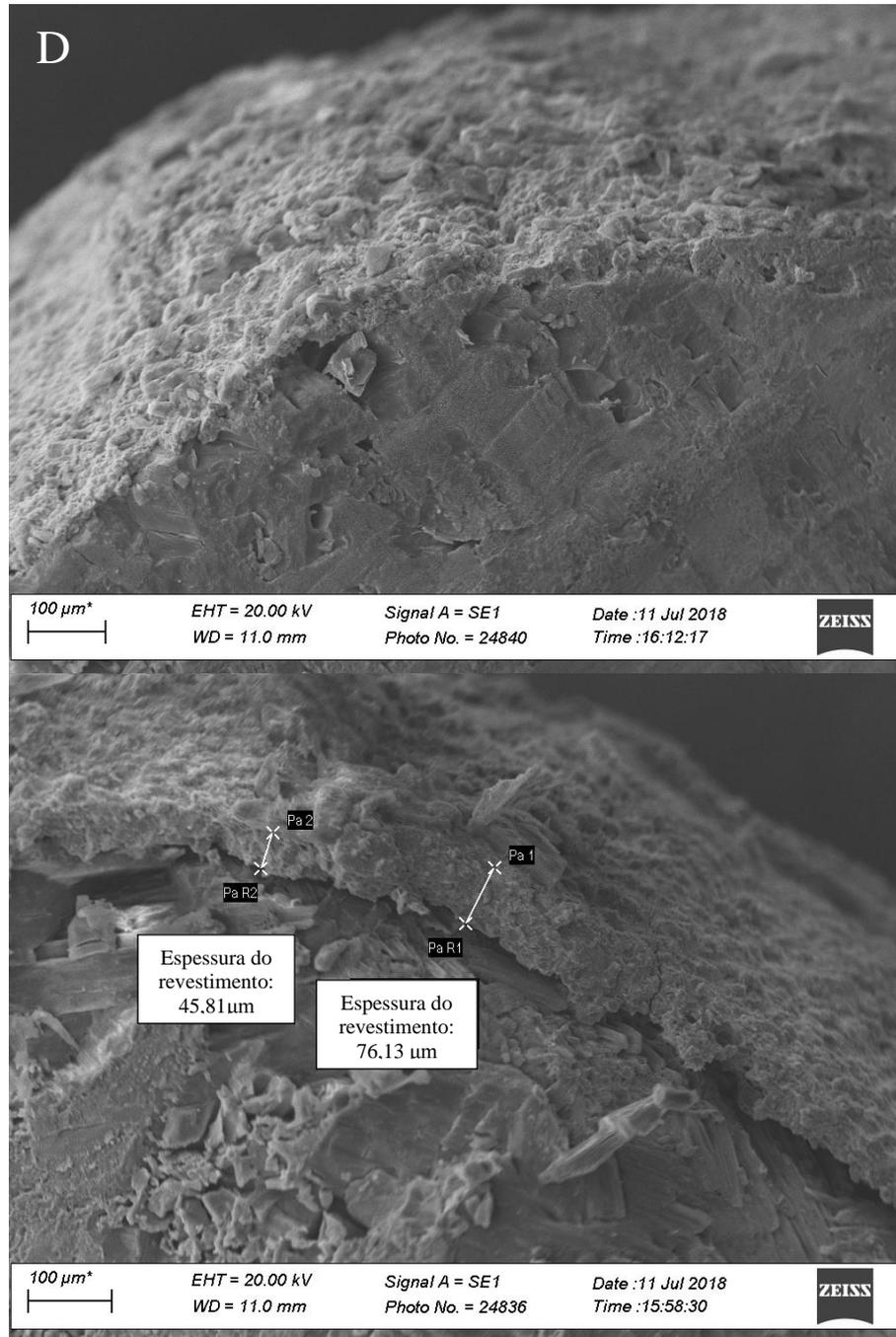


Figura 2 – Eletromicrografia de varredura da ureia revestida por polímero orgânico, e tecnologias associadas. (conclusão)



Ureia + polímero orgânico (A), ureia+ polímero orgânico + Zn + B (B), ureia + NBPT + polímero orgânico (C), ureia + polímero orgânico + Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B (D).

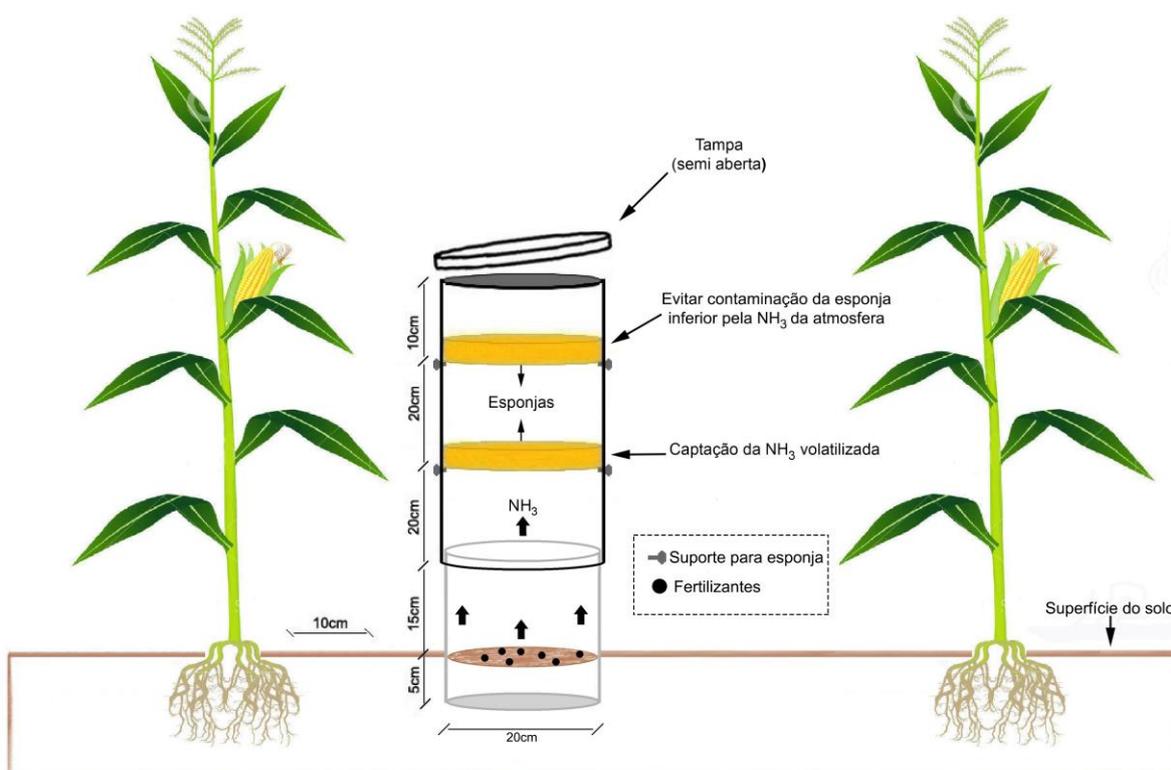
3.6 Perdas de N-NH₃

As perdas de N-NH₃ foram mensuradas por coletor estático semi-aberto de acordo com o método descrito por Chagas et al., 2016. As bases dos coletores semiabertos foram

instaladas somente nas parcelas onde aplicou-se a dose 150 kg ha^{-1} de N. As câmaras foram instaladas a uma distância de 10 cm da linha, imediatamente após a adubação nitrogenada de cobertura.

Os coletores foram constituídos por tubos de PVC com 50 cm de altura e 20 cm de diâmetro. Dentro de cada coletor foram acondicionadas duas esponjas (densidade de $0,02 \text{ g cm}^{-3}$) embebidas com solução de ácido fosfórico (60 ml L^{-1}) e glicerina (50 ml L^{-1}) com a função de absorver a amônia volatilizada, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3– Esquema de confecção dos coletores utilizados para avaliação das perdas de N-NH_3 por volatilização.



A esponja localizada na parte superior do coletor teve como função evitar contaminação da esponja inferior por gases da atmosfera, e ainda barreira física a entrada de insetos.

Após cada coleta foi realizado um rodízio das câmaras nas três bases distribuídas dentro de cada parcela, para diminuir a variabilidade espacial da emissão de amônia e a formação de um microclima dentro das câmaras.

Foram realizadas coletas para mensuração das perdas de N-NH_3 no 1º experimento no: 1º, 2º, 3º, 4º, 5º, 6º, 7º, 9º, 12º, 16º, 22º, 28º e 30º dias após a adubação nitrogenada de cobertura. No 2º experimento foram realizadas duas coletas a mais em relação ao 1º

experimento, no 35° e 48° dia após adubação, pois ainda apresentavam perdas de amônia maiores do que 0,2% do N aplicado.

Após a coleta das esponjas com o N-NH₃, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos e, posteriormente, encaminhadas para o laboratório onde foram analisadas para a obtenção da quantidade de amônia volatilizada, conforme metodologia descrita em Chagas et al., 2016.

3.7 Análise dos dados

Foi realizada análise conjunta das duas áreas em estudo (Ingaí e Luminárias) e os seis tratamentos utilizados (ureia perolada, ureia + NBPT, ureia + polímero orgânico, ureia + polímero orgânico + Zn + B, ureia + polímero orgânico + NBPT e ureia + polímero orgânico + Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B).

Neste estudo a análise de variância foi realizada utilizando também a função *lm* do pacote *stats* do programa estatístico R (R CORE TEAM, 2018). O teste de médias de Scott-Knott foi realizado com a função *scott knott* do pacote *ExpDes.pt* do programa estatístico R. Como é uma análise conjunta os testes F são com base na interação dupla: tratamentos *versus* locais. Para justificar a realização da análise conjunta foi utilizada a seguinte equação (Pimentel-Gomes e Garcia, 2002):

$$QM_1/QM_2 < 7, \text{ a prova não será significativa ao nível de 5\%}$$

No caso de grupos de experimentos similares, em que todos os tratamentos tenham o mesmo número de repetições, poderá ser feita a análise conjunta, se o conjunto entre o maior e o menor quadrado médio residual for menor do que 7. No presente estudo o quadrado médio (QM₂) do experimento conduzido em Luminárias foi 7,2538 e o quadrado médio (QM₁) do experimento conduzido em Ingaí foi 2,9932, então o quociente dos dois quadrados médios foi 2,423, sendo menor que 7, não significativo a 5%.

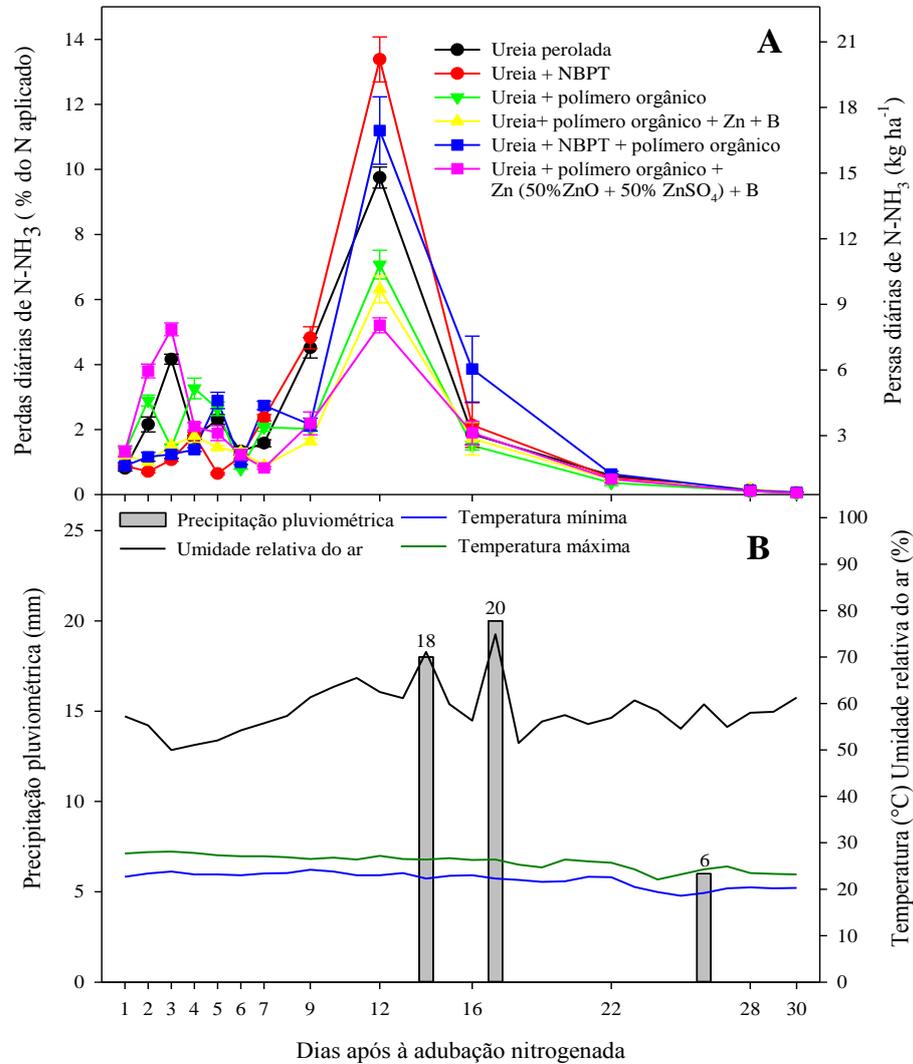
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perdas de N-NH₃

4.1.1 Primeiro experimento em Luminárias - MG

As perdas diárias de amônia (N-NH₃), precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar, durante os 30 dias desde a realização da adubação nitrogenada de cobertura estão nas Figuras 4A e 4B.

Figura 4 – Perdas diárias de N-NH₃ (A) e dados climáticos (B) 30 dias após à aplicação da ureia e suas diferentes tecnologias na adubação de cobertura do milho em Luminárias - MG.



As barras verticais indicam o erro padrão das médias (n = 4).

A precipitação acumulada durante os 30 dias após a adubação de cobertura foi de 44 mm e não houve ocorrência de chuvas nos treze primeiros dias após à adubação (Figura 4B). No 14º dia após a adubação houve precipitação de 18 mm, onde possivelmente os fertilizantes nitrogenados foram incorporados ao solo, razão pela qual, as perdas de amônia diminuiriam significativamente no 16º dia.

A umidade relativa do ar se manteve entre 50 e 60%, com média de 55%, até o 8º dia após a adubação nitrogenada. A partir do 9º dia a umidade relativa do ar aumentou para 65 %

e a temperatura média em 27°C (Figura 4B), o que favoreceu o aumento das perdas de N-NH₃ entre o 9° e 12° dia após a adubação de cobertura.

As perdas diárias de N-NH₃ foram influenciadas pela ureia e suas diferentes tecnologias na cultura do milho. A ureia + NBPT, ureia + NBPT + polímero orgânico e ureia + polímero orgânico + Zn + B reduziram a intensidade dos picos de volatilização de amônia em comparação aos demais tratamentos nos quatro primeiros dias após à adubação. A ureia perolada e a ureia + polímero orgânico + Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B tiveram picos diários de 4,16 e 5,08 % do N total aplicado no 3° dia, período de ausência de chuvas.

Trabalhos conduzidos por diversos pesquisadores têm mostrado que o pico de perda de N-NH₃ da ureia convencional, acontece entre os primeiros sete dias após a adubação (ADOTEY et al, 2017; CANCELLIER et al, 2016; CHAGAS et al, 2016; DOMINGHETTI et al., 2016; SOUZA et al., 2017).

As perdas de N-NH₃ no 12° dia, que representam o somatório das perdas diárias de N-NH₃ do 10° e 11° dia, seguiram a seguinte ordem decrescente: ureia + NBPT (13,4% do aplicado) > ureia + NBPT + polímero orgânico (11,2%) > ureia perolada (9,8%) > ureia + polímero orgânico (7,1%) > ureia + polímero orgânico + Zn + B (6,31%) > ureia + polímero orgânico + Zn (50% ZnO + 50% Zn SO₄) + B (5,2%).

Nestas condições a diminuição da eficiência da ureia + NBPT pode estar associada ao pH de 0-0,05 m do solo que era de 6,3, a baixa concentração de NBPT do fertilizante de 85,09 mg kg⁻¹ e a degradação do NBPT no solo devido ao tempo de doze dias após à aplicação da ureia com o aditivo. A degradação do NBPT pode ocorrer em solos de pH reduzidos, como observado em laboratório, a taxa de degradação do NBPT foi de 4 a 5 vezes maior em solos de pH 5,5, quando comparado aos com pH 8,2 (ENGEL et al, 2013).

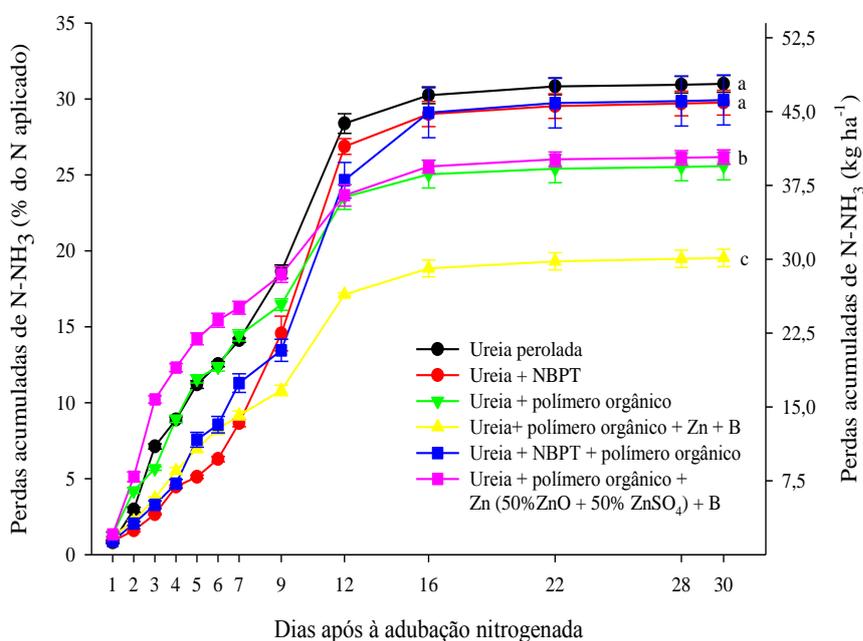
A ureia + NBPT + polímero orgânico apresentou baixa concentração de NBPT de 22,83 mg kg⁻¹ (Tabela 5), e apresentou perda acumulada de N-NH₃ (Figura 5) semelhante à da ureia perolada, isso pode ser explicado pela dissolução do revestimento ácido associado ao NBPT que causou sua degradação no solo.

Em alguns casos tem-se conseguido diminuir as perdas de N-NH₃ por volatilização com o uso do revestimento do grânulo de ureia. Como no município de Lavras, onde foi observada redução nas perdas de N-NH₃ com aplicação da ureia revestida com enxofre elementar (S⁰) + polímero orgânico (19,6% do aplicado) em comparação aos demais fertilizantes nitrogenados (CANCELLIER et al., 2016). Também foram observadas reduções na perda acumulada de N-NH₃ com à aplicação de ureia + resina termoplástica (3% do N aplicado) em comparação a demais fontes nitrogenadas na cultura do milho, exceto para

sulfato de amônio (1%) e nitrato de amônio (0,7%). A perda acumulada de N-NH₃ foi de 32% para a ureia + 7,9% de S⁰+ polímero em comparação a 39 e 38% para ureia granulada e perolada respectivamente (SOUZA et al., 2017).

As perdas acumuladas de N-NH₃ no município de Luminárias – MG foram influenciadas ($P < 0,05$) pela aplicação da ureia e suas tecnologias em cobertura no milho. A ureia + polímero orgânico + Zn + B promoveu a menor perda acumulada de N-NH₃.

Figura 5 – Perda acumulada de N-NH₃ 30 dias após à aplicação da ureia e suas diferentes tecnologias na adubação de cobertura do milho em Luminárias - MG.



Tratamentos agrupados pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância.

As perdas de N-NH₃ seguiram a seguinte ordem decrescente em Luminárias - MG: ureia perolada (46,5 kg ha⁻¹ de N-NH₃) = ureia + NBPT + polímero orgânico (44,89 kg ha⁻¹ de N-NH₃) = ureia + NBPT (44,62 kg ha⁻¹ de N-NH₃) > ureia + polímero orgânico + Zn (50% ZnO, 50% ZnSO₄) + B (39,25 kg ha⁻¹ de N-NH₃) = ureia + polímero orgânico (38,35 kg ha⁻¹ de N-NH₃) > ureia + polímero orgânico + Zn + B (29,25 kg ha⁻¹ de N-NH₃) (Figura 5).

A utilização de metais como Zn, B, e Cu pode inibir a atividade da urease (BREMNER; DOUGLAS, 1971; REDDY; SHARMA, 2000), devido competição dos íons metálicos pela ligação aos grupos sulfidríla da enzima. Além de atuarem como inibidores da

urease o Cu, B e o Zn são micronutrientes de plantas e no revestimento da ureia são uma opção para distribuição uniforme de micronutrientes.

Por outro lado, Hawk e Baldock (2010) reportaram que a utilização de micronutrientes isoladamente não foi suficiente para redução de perdas de amônia por volatilização. Como também em trabalho realizado por Adotey et al, 2017, onde não houve diferença nas perdas de N-NH₃, com a aplicação de ureia + Zn na forma de ZnSO₄ (sem informações da concentração no fertilizante) e para a ureia convencional.

As porcentagens de redução nas perdas de N-NH₃ das diferentes tecnologia sem relação à ureia perolada foram: 35; 15; 13; 1 e; 0,2% para a ureia + polímero orgânico + Zn + B; ureia + polímero orgânico; ureia + polímero orgânico + Zn (50% ZnSO₄ + 50% ZnO) + B; ureia + NBPT e ureia + NBPT + polímero orgânico, respectivamente.

A ureia+ NBPT e a ureia+ NBPT + polímero orgânico apresentaram perdas de N-NH₃ semelhantes à ureia perolada. A baixa concentração de NBPT em ambos fertilizantes (85,09 mg kg⁻¹ e 22,03 mg kg⁻¹, respectivamente) está relacionada a diminuição da eficiência do NBPT na redução das perdas de N-NH₃.

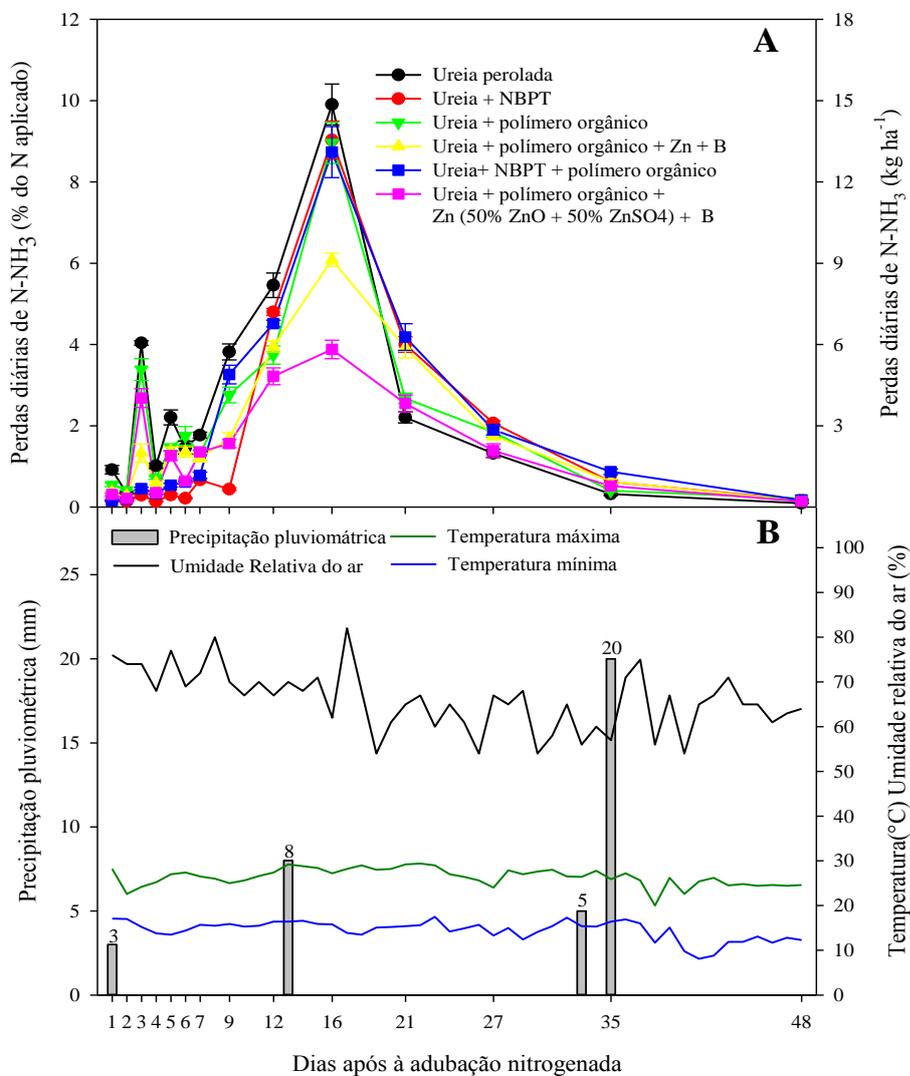
Menores perdas de N-NH₃ com uso de ureia +NBPT foram observados por Souza et al, 2017 em trabalho conduzido com a cultura do milho, onde a ureia + NBPT reduziu em 79 % as perdas de N-NH₃ em relação a ureia convencional. Enquanto que Cancellier et al. (2016) reportou redução de 18,6 % em relação a ureia convencional. Em ambos estudos não foi realizada determinação da concentração de NBPT nas amostras de ureia tratada com o aditivo. Foi relatada a concentração indicada pelos fabricantes.

A ureia+ polímero orgânico + Zn + B; a ureia+ polímero orgânico + Zn (50% ZnO, 50% ZnSO₄) + B; ureia + polímero orgânico promoveram redução nas perdas de N-NH₃ em comparação à ureia convencional. A perda acumulada pela ureia + polímero orgânico + Zn + B (19 % do N aplicado) foi a menor entre as tecnologias avaliadas devido ao Zn e B atuarem como inibidores de urease.

4.1.2 Segundo experimento em Ingaí – MG

As perdas diárias de N-NH₃, precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar durante os 48 dias após a adubação nitrogenada de cobertura do milho no município de Ingaí - MG estão nas Figuras 6A e 6B.

Figura 6 – Perdas diárias de N-NH₃ (A) e dados climáticos (B) 48 dias após à aplicação da ureia e suas diferentes tecnologias na adubação de cobertura do milho em Ingai – MG



As barras verticais indicam o erro padrão das médias (n = 4).

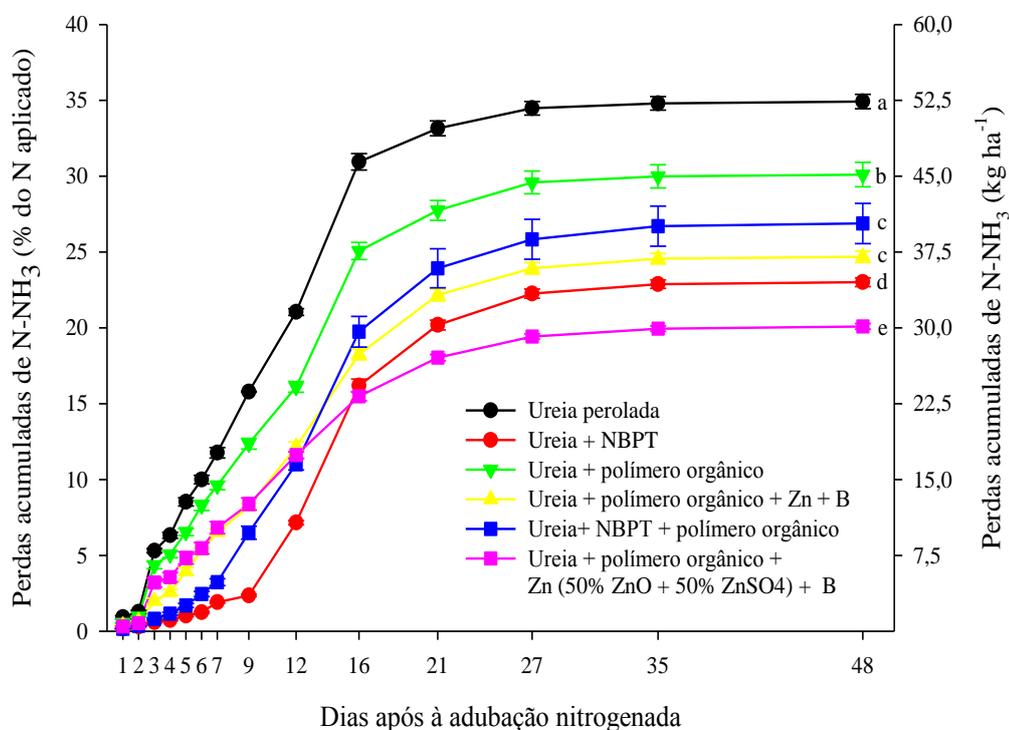
A precipitação acumulada durante os 48 dias após a adubação nitrogenada de cobertura foi 36 mm. Houve precipitação de 3mm no 1º dia após a adubação, a umidade relativa do ar permaneceu em 74% e a temperatura média em 26°C, sendo condições adequadas para o início da dissolução dos grânulos de ureia, mas não para sua incorporação ao solo.

No 3º dia, a ureia apresentou perda diária de 4,0% do N aplicado. A ureia+ polímero orgânico e a ureia + polímero orgânico + Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B apresentaram perdas diária de 3,4 e 2,7% do N aplicado.

As perdas diárias de N-NH₃ da ureia+ NBPT e ureia+ NBPT + polímero orgânicos e mantiveram constantes até o 7º dia. Em pesquisa com a cultura do milho houve redução e atraso no pico de perdas de N-NH₃ de 5% e 2 dias em relação a ureia convencional (CANCELLIER et al., 2016). Souza et al, 2017 reportaram redução de 18,1% e 8 dias de atraso no pico de perda em relação a ureia convencional.

Todas as tecnologias para ureia avaliadas promoveram redução na perda acumulada de N-NH₃ em comparação à ureia convencional (Figura 7). As perdas acumuladas de N-NH₃ no município de Ingaí – MG foram influenciadas (P<0,05) pela aplicação da ureia e suas tecnologias em cobertura no milho e seguiram a ordem decrescente: ureia perolada (52,38 kg ha⁻¹ de N-NH₃) > ureia+ polímero orgânico (45,16 kg ha⁻¹ de N-NH₃) > ureia + NBPT + polímero orgânico (40,32 kg ha⁻¹ de N-NH₃) = ureia + polímero orgânico + Zn + B (37,02 kg ha⁻¹ de N-NH₃) > ureia + NBPT (34,51 kg ha⁻¹ de N-NH₃) > ureia + polímero orgânico + Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B (30,10 kg ha⁻¹ de N-NH₃) (Figura 7).

Figura 7 – Perda acumulada de N-NH₃ 48 dias após à aplicação da ureia e suas diferentes tecnologias na adubação de cobertura do milho em Ingaí- MG.



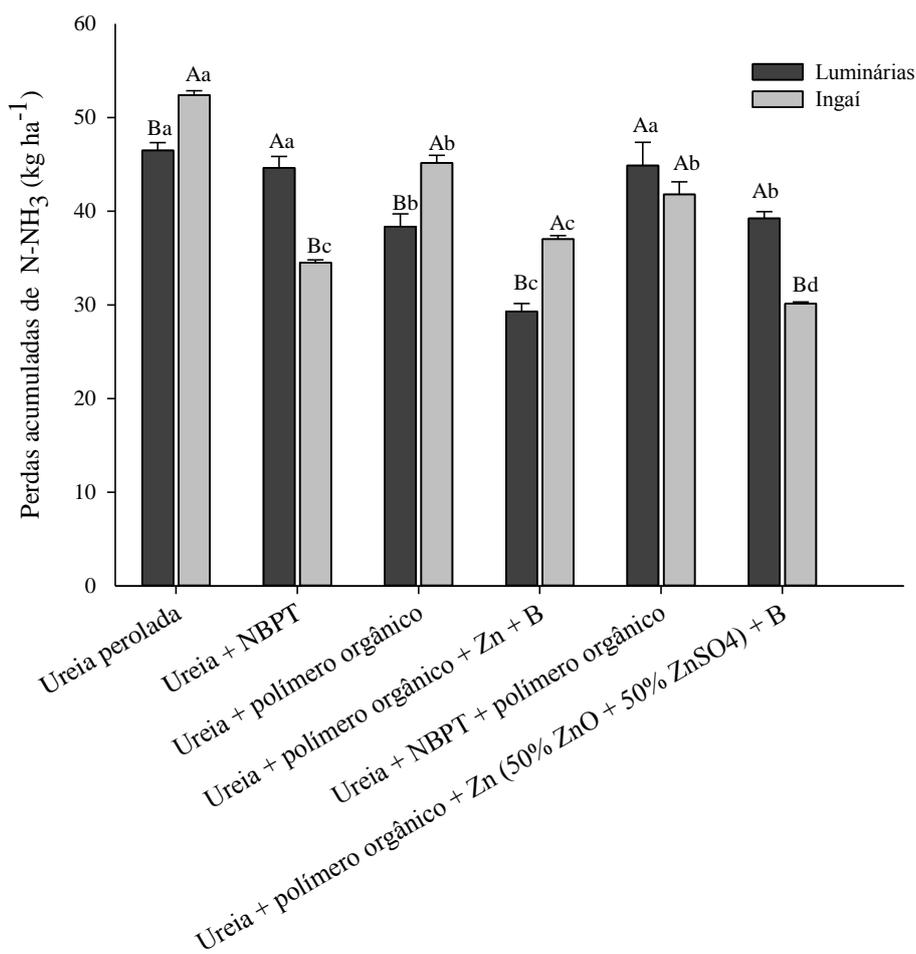
Tratamentos agrupados pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de significância. As barras verticais indicam o erro padrão das médias (n = 4).

As porcentagens de redução das perdas de N-NH₃ das diferentes tecnologias em relação à ureia perolada foram: 42,7; 34,0; 29,3; 23,0; 13,8 para ureia+ polímero orgânico + Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B; ureia + NBPT; ureia + polímero orgânico + Zn + B; ureia + NBPT+ polímero e ureia + polímero orgânico.

4.1.3 Análise conjunta das perdas de N-NH₃ por volatilização em Luminárias e Ingaí

Os resultados da análise conjunta mostram que houve diferença significativa para a interação tratamentos *versus* locais com valor-p=0,00000 para a variável perdas por volatilização de N-NH₃. Na Figura 8 são apresentadas as perdas por volatilização de N-NH₃ do desdobramento de tratamentos dentro de locais e vice-versa.

Figura 8 – Perdas por volatilização de N-NH₃ do desdobramento de tratamentos dentro de locais e vice-versa.



Médias seguidas de mesma letra, maiúscula para diferentes áreas (Luminárias e Ingaí), e minúsculas para tratamentos (ureia e suas tecnologias), não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

De acordo com os resultados obtidos por meio do teste de Scott-Knott ($P < 0,05$) para o experimento realizado em Ingaí, a ureia + polímero orgânico + Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B apresentou menor perda por volatilização de N-NH₃ em relação aos demais tratamentos, já em Luminárias a ureia + polímero orgânico + Zn + B apresentou menores perdas de N-NH₃ por volatilização que os demais tratamentos.

Os resultados do desdobramento de local dentro de cada tratamento, mostram que dentro dos tratamentos ureia + NBPT, ureia + polímero orgânico + Zn (50% ZnO + 50% ZnSO₄) + B, no município de Ingaí as perdas foram inferiores as observadas em Luminárias.

Dentro dos tratamentos ureia perolada, ureia + polímero orgânico e ureia + polímero orgânico + Zn + B observa-se em Luminárias menores perdas em relação as obtidas em Ingaí, o que se deve a ocorrência dos 3mm de precipitação no dia seguinte à aplicação dos tratamentos, não sendo suficiente a incorporação dos fertilizantes ao solo, mas para iniciar o processo de hidrólise. Nos tratamentos ureia + polímero orgânico e ureia + polímero orgânico + Zn + B as perdas foram semelhantes em ambos locais. As perdas de N-NH₃ por volatilização da ureia + polímero orgânico + NBPT indicam que os locais foram semelhantes quanto a variável analisada.

5 CONCLUSÕES

O uso do revestimento com polímero orgânico, zinco e boro apresentou maior eficiência na redução das perdas de N-NH₃ por volatilização em ambos locais.

As perdas apresentadas pelos tratamentos usando ureia + polímero orgânico e a associação deste com Zn e B foram semelhantes para ambos locais.

As duas áreas analisadas possuíram comportamentos semelhantes para as perdas de N-NH₃ por volatilização da ureia tratada com NBPT associada ao polímero orgânico.

REFERÊNCIAS

ADOTEY, N. et al. Ammonia Volatilization of Zinc Sulfate-Coated and NBPT-Treated Urea Fertilizers. **Soil Fertility & Crop Nutrition**, v. 109, p. 2918-2926, 2017.

ANIMAL FEEDING STUFFS – Determination of amino acids content; CEN EN ISO 13903. Switzerland, 2005. Disponível em:
<<https://www.saiglobal.com/pdftemp/previews/osh/is/en/2005/i.s.eniso13903-2005.pdf>>. Acesso em: maio de 2018.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 109-119, 2003.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo, 2017. 176p.

AZEEM, B. et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, Amsterdam, v. 181, p. 11-21, May 2014.

BENINI, S. et al. Molecular details of urease inhibition by boric acid: Insights into the catalytic mechanism. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 126, p. 3714–3715, Mar. 2004.

BREMNER, J. M.; L. A. DOUGLAS. Inhibition of urease activity in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 3, n. 4, p. 297-307, Nov. 1971.

BUSATO, C.; BUSATO, C.C.M. Crescimento inicial da cultura do milho em cultivo consorciado. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 307- 316, nov. 2011.

CANCELLIER, E. L. Eficiência da ureia estabilizada e de liberação controlada no milho cultivado em solo de fertilidade construída. 2013. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

CANCELLIER, E. L. et al. Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till maize in brazilian cerrado with improved soil fertility. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n.2 40, p. 133-144, Mar./Apr. 2016.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. p. 375-470.

CHAGAS, W. F. T. et al. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 5, p. 497-509, Sept.Oct. 2016.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to increase nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, v. 102, p. 261-316, 2009.

CIVARDI, E. A. et al. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, jan./mar. 2011.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2017/2018**. Brasília, jul. 2018. 178p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>. Acesso em: junho de 2018.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 631-637, 2003.

DAWAR, K. et al. Urea hydrolysis and lateral and vertical movement in the soil: effects of urease inhibitor and irrigation. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 47, n. 2, p. 139–146, Feb. 2011.

DOMINGHETTI, A. W. et al. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 2, p. 1-11, Mar./Apr. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

EUROPEAN COMMISSION. COMMISSION REGULATION (EC) N° 152/2009 of 27 January 2009 laying down the methods of sampling and analysis for the official control of feed. 2009. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32009R0152>. Acesso em: julho de 2018.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Fertilizers-Determination of urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamida (NBPT) using high-performance liquid chromatography (HPLC)**. Dublin, 2008. 10p. Disponível em: <<https://infostore.saiglobal.com/preview/is/en/2015/i.s.en16651-2015.pdf?sku=1809089>>. Acesso em: julho de 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global inventory of NH₃, emissions from mineral fertilizers and animal manure applied to croplands and grasslands**. Rome, 2001. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: abril de 2018.

FRAME, W. H. et al. In vitro evaluation of coatings to control ammonia volatilization from surface-applied urea. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, n. 5, p. 1201–1207, Jan. 2012.

FRAZÃO, J. J. et al. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1262-1267, jul. 2014.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T.G. Bulk density and linear extensibility. In: DANE, J. H. (Ed.); TOPP, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis**, Part 4: Physical methods. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 201-228.

GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R. Produtividade de milho submetido à aplicação de ureia revestida por polímeros. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 6, n. 2, p. 31-37, 2013.

HARGROVE, W. L. et al. Comparison of a forced-draft technique to ^{15}N recovery for measuring ammonia volatilization under field conditions. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 51, n. 1, p. 124-128, 1987.

HAWKE, B. G.; BALDOCK, J. A. **Ammonia volatilization from urea fertilizer products applied to an alkaline soil**. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, SOIL SOLUTIONS FOR A CHANGING WORLD FOR A CHANGING, 19., 2010, Brisbane. Anais... Brisbane, 2010. p. 12–15. Disponível em: <<http://www.iuss.org/19th%20WCSS?Symposium/pdf/D3.2.pdf>>. Acesso em: abril de 2018.

HELRICH, Kenneth; ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis. 15. ed. Arlington: AOAC, 1990.

JIN, S. et al. Preparation and properties of a degradable interpenetrating polymer networks based on starch with water retention, amelioration of soil, and slow release of nitrogen and phosphorus fertilizer. **Journal of applied Polymer Science**, v. 128, n. 1, p. 407-415, Apr. 2013.

KAPPES, C. et al. Effect of heavy metal on soil enzyme activities. In: SHERAMETI, I. (Ed.); VARMA, A. (Ed.) **Soil heavy metals**. Heidelberg: Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. Colection Soil biology, v. 19, p. 237-262.

KOELLIKER, J. K.; KISSEL, D. E. Chemical equilibria affecting ammonia volatilization. In: BOCK, B. R.; KISSEL, D. E. **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Tennessee: National Fertilizer Development Center, Tennessee Valley Authority, 1988. p.37-52.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; BOARETTO, A. E. Efeito do tamanho do grânulo e relação C/N da ureia aplicada em superfície na volatilização de amônia sob diferentes umidades iniciais do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 409-413, 1992.

MA, B. L. et al. On-farm assessment of the amount and timing of nitrogen fertilizer on ammonia volatilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 1, p. 134-144, Dez. 2010.

MAESTRELO, P. R. et al. Aplicação de ureia revestida em cobertura no milho irrigado sob sistema de semeadura direta. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.9, n.2, p.192-199, 2014.

MALLMANN, M. D. Desenvolvimento de Revestimentos de Polímeros Híbridos Orgânico-Inorgânicos. 2016, 130p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília, 2014. 227p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/laboratorios/arquivos-publicacoes-laboratorio/manual-_in-5_-analiticos-oficiais-para-fertilizantes-e-corretivos_com_capa_final_03.pdf>. Acesso em: julho de 2018.

MARTIN, T. N.; PAVINATO, P. S. Modelo determinístico para adubação nitrogenada na cultura do milho para grãos e silagem. In: MARTIN, T. N. et al. (Eds.). **Sistemas de Produção Agropecuária**. Piracicaba, 2010. p. 45-69.

- MIKKELSEN, R. Ammonia emissions from agricultural operations: fertilizer. **Better Crops, Atlanta**, v. 93, n. 4, p. 9–11, Jan. 2009.
- MILANI, et al. Polymers and its applications in agriculture. **Polímeros**, São Carlos, v. 27, n. 3, p. 256-266, July/Sept. 2017.
- MOTA, M. R. et al. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 39, n. 2, p. 512-522, mai. 2015.
- OHLAND, R. A. A. et al. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005.
- OLNESS, A.; BENOIT, G. R. A closer look at corn nutrient demand. **Better crops with plant food**, Atlanta, v. 76, n. 2, p. 18-20, 1992.
- PAIVA, D. M. et al. Urea coated with oxidized charcoal reduces ammonia volatilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1221-1229, July/Aug. 2012.
- PIMENTEL-GOMES, F; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: Fealq, 2002. 309 p.
- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. 2018. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 27 de julho de 2018.
- REDDY, D.; SHARMA, K. L. Effect of amending urea fertilizer with chemical additives on ammonia volatilization loss and nitrogen-use efficiency. **Biology and Fertility of Soils**, v. 32, n. 1, p. 24–27, Oct. 2000.
- ROCHETTE, P. et al. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. **Nutrient cycling in agroecosystems**, Dordrecht, v. 84, n. 1, p. 71-80, May 2009.
- SANGOI, L. et al. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, 687-692, jul./ago. 2003.
- SANTOS, L. P. D. et al. Doses de nitrogênio na cultura do milho para altas produtividades de grãos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 3, p. 270-279, 2013.
- SANTOS, M. M. et al. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (15^N) na planta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 1185-1194, 2010.
- SETIYONO, T. D. et al. Estimating maize nutrient uptake requirements. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.118, n. 2, p.158-168, Aug. 2010.
- SHAVIV, A. **Controlled release fertilizers**. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS. Anais... Frankfurt: IFA, 2005. Disponível em:

<<http://www.fertilizer.org/ifa/HomePage/LIBRARY/Publicationdatabase>>. Acesso em: abril de 2018.

SILVA, A. L. Eficiência agronômica da ureia estabilizada com inibidores de urease e nitrificação na cultura do milho. 2016. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2016.

SILVA, K.B. et al. Ammonia volatilization from urea as affected by tropical based palm oil palm effluent (pome) and peat. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 30, n. 4-5, p. 785-804, 1999.

SIMS, A. L. et al. Irrigated corn yield and nitrogen accumulation response in a comparison of no-tillage and conventional till: tillage and surface-residues variables. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, n. 5, p. 630-637, 1998.

SINGH, U. et al. Evaluation of boron produced as seed-core urea for urease inhibitor. In: INTERNATIONAL ANNUAL MEETING AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. Anais... Tampa, 2013. p. 406-403. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268142632_Evaluation_of_Boron_Produced_As_Seed-Core_Urea_for_Urease_Inhibition>. Acesso em: julho de 2018.

SOUZA, T. L. et al. Ammonia and carbon dioxide emissions by stabilized conventional nitrogen fertilizers and controlled release in corn crop. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 5, p. 494-510, Sept./Oct. 2017.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Assay of urease activity in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 4, n. 4, p. 479-487, Nov. 1972.

TASCA, F. A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 493-502, 2011.

TIMILSENA, Y. P. et al. Enhanced efficiency fertilizers: A review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 95, n. 6, p. 1131-1142, July 2014.

TRENKEL, M. E. **Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture**. Paris: IFA, 2010. 163 p.

VARSA, E.C. et al. **Nitrogen placement in no-till corn**. In: PROCEEDINGS OF NORTH CENTRAL EXTENSION-INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 24. Anais... St. Louis, 1994. p. 69-74.

XU, M. et al. Polyolefin-Coated urea decreases ammonia volatilization in a double rice system of Southern China. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 1, p. 277-284, Dec. 2012.

YAMAMOTO, C. F. et al. Slow release fertilizer based on urea/urea-formaldehyde polymer nanocomposites. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 287, p. 390-397, Mar. 2016.

ZAMAN, M.; BLENNERHASSETT, J. D. Effects of the different rates of urease and nitrification inhibitors on gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, nitrate leaching

and pasture production from urine patches in an intensive grazed pasture system. **Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 136, n. 3-4, p. 236-246, Mar. 2010.

ZAVASCHI, E. et al. Ammonia volatilization and yield components after application of polymer-coated urea to maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1200-1206, July/Aug. 2014.