

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E PERDAS DE N-NH₃ DE
FONTES CONVENCIONAIS E DE EFICIÊNCIA AUMENTADA
NA CULTURA DO MILHO**

Juscelio Ramos de Souza
Engenheiro Agrônomo

2018

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E PERDAS DE N-NH₃ DE
FONTES CONVENCIONAIS E DE EFICIÊNCIA AUMENTADA
NA CULTURA DO MILHO**

Juscelio Ramos de Souza

Orientador: Prof. Dr. Leandro Borges Lemos

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

2018

S729a Souza, Juscelio Ramos de
Adubação Nitrogenada e Perdas de N-NH₃ de Fontes
Convencionais e de Eficiência Aumentada na Cultura do
Milho / Juscelio Ramos de Souza. -- Jaboticabal, 2018
40 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal

Orientador: Leandro Borges Lemos

1. Manejo da Adubação Nitrogenada. 2. Fertilizantes de
Eficiência Aumentada. 3. Ureia Compactada com
Aditivos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos
pelo autor.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ADUBAÇÃO NITROGENADA E PERDAS DE N-NH₃ DE FONTES CONVENCIONAIS E DE EFICIÊNCIA AUMENTADA NA CULTURA DO MILHO

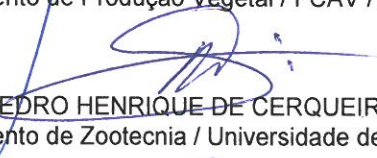
AUTOR: JUSCÉLIO RAMOS DE SOUZA

ORIENTADOR: LEANDRO BORGES LEMOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:



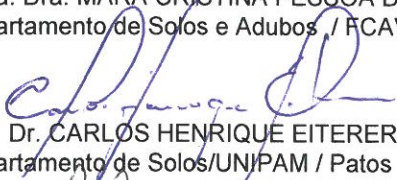
Prof. Dr. LEANDRO BORGES LEMOS
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal



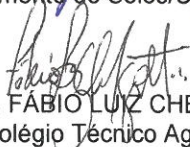
Prof. Dr. PEDRO HENRIQUE DE CERQUEIRA LUZ
Departamento de Zootecnia / Universidade de São Paulo - USP - Pirassununga



Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. CARLOS HENRIQUE EITERER DE SOUZA
Departamento de Solos/UNIPAM / Patos de Minas/MG



Prof. Dr. FÁBIO LUIZ CHECCHIO MINGOTTE
CTA - Colégio Técnico Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 19 de outubro de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Juscelio Ramos de Souza, nascido em 25 de setembro de 1978, na cidade de Jequitinhonha, MG, graduou-se em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) em março de 2006. Durante o curso de graduação foi monitor da disciplina propagação de plantas do departamento de fitotecnia e estagiário do departamento de solos da UFRRJ. Após a conclusão do curso, foi bolsista de desenvolvimento tecnológico industrial do CNPq, junto ao Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia da Embrapa (CNPAB). Iniciou o mestrado em agronomia, no curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, na UFRRJ, em 2008 e concluiu em 2010. Em 2010 iniciou os trabalhos na área de nutrição de plantas e desenvolvimento de novos fertilizantes na Kimberlit Agrociências. Ingressou no curso de Pós-Graduação em Agronomia Produção Vegetal (doutorado) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Jaboticabal, SP em 2015, concluindo o mesmo em 2018.

O BOM SEMEADOR SEMPRE VIVE
E VIVERÁ DOS MILAGRES DA SEMENTE.
(Ministro Fernando de Sousa Costa)

AGRADECIMENTOS

A Deus e aos meus pais Jaime Pinheiro de Souza e Almerinda Ramos Pinheiro pelos eternos ensinamentos da vida, pelo amor, educação, amizade, respeito e incentivo, permitindo o meu desenvolvimento e minha formação até os dias de hoje.

Aos meus Irmãos, Gildênio, Gilmar e Junília e meus sobrinhos Pedro e Helena, minha cunhada Valquíria e a todos meus familiares, pelo incentivo.

Em especial minha esposa e companheira Riscelly Santana Magalhães pelo amor e compreensão.

Ao grande e eterno amigo de nossa família

José Francisco de Souza *In Memoriam*.

E a todos os agricultores do Brasil.

Dedico este trabalho!

A DEUS, por ter me concedido a vida e estar presente em todos os momentos.

Ao curso de Pós-graduação em Agronomia Produção Vegetal da UNESP Jaboticabal, por me propiciar conhecimentos essenciais para minha vida acadêmica e profissional.

Ao professor e orientador Dr. Leandro Borges Lemos pelos ensinamentos e amizade.

A Kimberlit Agrociências pelo apoio no desenvolvimento desse trabalho, em especial aos gestores e amigos: Antonio Carlos de Gissi Junior e Luciano de Gissi.

Ao Dr. Fabio Mingotte, Fábio Leal e Orlando Ferreira pelo apoio nos experimentos.

Ao Wagner Cabral pelo apoio no laboratório de fertilizantes da Kimberlit.

Aos amigos Marcelo Rolim e José Carlos Polidoro pela amizade e conhecimentos compartilhados.

Aos professores membros da banca de defesa pelas considerações e ensinamentos.

Aos meus amigos e companheiros de jornada: Bruno Neves, Thiago Picinatti, Vicente Martins, Evandro Rocha, Lucas Rossi, Marcelo Angelo, Luciano Furini, André Jagata, Diego Loureiro, Alexandre Salmi, Thiago Cabrita, Gustavo Domingues, Gustavo Castro, Peterson Henrique, Luciano Carneiro, Carlos Simoni, Geziel (Patrão) e Marcos Soares.

Aos amigos e companheiros de trabalho: Aroldo Braido, Rosiane Menendes, Lucas e Tiago Gissi, Tarciso Ferrari, Ricardo Bertocco, Fernando Sichieri, André Bonilha, Marcos e William Pacheco, enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

Dedico!

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
CAPÍTULO 1 - Considerações gerais.....	1
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura	2
3. Referências.....	6
CAPÍTULO 2 – Volatilização de NH ₃ de fontes convencionais e ureia compactada sob condições controladas	8
RESUMO	8
1. Introdução	9
2. Material e Métodos	10
3. Resultados e Discussão.....	13
4. Conclusões	17
5. Referências.....	18
CAPÍTULO 3 – Fontes e doses de nitrogênio convencionais e de eficiência aumentada em cobertura na cultura do milho de primeira e segunda safras	21
RESUMO	21
1. Introdução	22
2. Material e Métodos	24
3. Resultados e Discussão.....	28
4. Conclusões	39
5. Referências.....	40

ADUBAÇÃO NITROGENADA E PERDAS DE N-NH₃ DE FONTES CONVENCIONAIS E DE EFICIÊNCIA AUMENTADA NA CULTURA DO MILHO

RESUMO – Os fertilizantes nitrogenados são essenciais para as culturas sob condições tropicais expressarem seus potenciais produtivos. Dentre esses fertilizantes a ureia é o mais utilizado na agricultura e devido à necessidade de redução de suas perdas por volatilização quando aplicada na superfície do solo, a ureia tornou-se o fertilizante convencional mais utilizado para o desenvolvimento de fertilizantes de eficiência aumentada. Atualmente substâncias inibidoras da enzima urease e mecanismos de revestimento de fertilizantes que alterem o fluxo de liberação de N para solução do solo, podem reduzir as perdas de N por volatilização da NH₃. O trabalho foi dividido em dois estudos, com os seguintes objetivos: avaliar em condições controladas de laboratório fontes de nitrogênio convencionais e de eficiência aumentada, quanto ao controle de perdas de N por volatilização de NH₃ e em um segundo estudo avaliar a eficiência de fontes e doses de nitrogênio convencionais e de eficiência aumentada em cobertura no desempenho agrônomo da cultura do milho, cultivado na primeira e segunda safras 2015/2016. No experimento de laboratório, os fertilizantes utilizados foram aplicados na superfície de um latossolo vermelho argiloso, previamente umedecido a 60% da capacidade de retenção de água. Conduzido em delineamento inteiramente ao acaso com seis repetições, os tratamentos foram quatro fontes de N (ureia, ureia + NBPT, nitrato de amônio e Haya® - ureia compactada com aditivos e polímeros), além de controles adicionais (solo sem fertilizante e câmara vazia) em dose equivalente a 100 kg ha⁻¹ de N. Foram avaliadas as perdas de N-NH₃ por volatilização por um período de 20 dias com o auxílio de câmaras hermeticamente fechadas. Ao final do experimento, após 20 dias da aplicação dos fertilizantes, o tratamento com ureia perdeu 43% do N aplicado, em quanto a ureia + NBPT e o Haya® reduziram as perdas de amônia em 81 e 77% respectivamente quando comparadas com a ureia comercial, surgindo como fontes promissoras para aumentar a eficiência da aplicação de nitrogênio sob condições tropicais. Os experimentos de campo foram conduzidos em um latossolo vermelho eutrófico, no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 3x3+1, utilizando-se três fontes de N (ureia, nitrato de amônio e Haya® - ureia compactada com aditivos e polímeros) e três doses de N (70, 140 e 210 kg ha⁻¹) e um tratamento adicional, sem adubação nitrogenada aplicadas em cobertura. O aumento das doses de N aplicadas em cobertura promoveu acréscimos no desempenho agrônomo da cultura do milho em ambas safras. As produtividades máximas de grãos obtidas na primeira safra foram de 12.297, 12.088 e 9.473 kg ha⁻¹, quando utilizado as fontes Haya®, nitrato de amônio e a ureia, nas doses de 161, 168 e 195 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Na primeira e segunda safras, a ureia compactada com aditivos e polímeros e o nitrato de amônio proporcionaram maior eficiência agrônomo, contudo, as maiores eficiências ocorreram na dose de 70 kg ha⁻¹, independentemente da fonte de N e das safras.

Palavras-chave: Manejo da adubação nitrogenada; produtividade de grãos; urease; NBPT.

NITROGEN FERTILIZATION AND N-NH₃ LOSS OF CONVENTIONAL SOURCES AND INCREASED EFFICIENCY IN CORN CULTURE

ABSTRACT - Nitrogen fertilizers are essential for crops under tropical conditions express their productive potential. Among these fertilizers urea is the most widely used in agriculture and due to the need to reduce their losses by volatilization when applied on the soil surface, the urea has become the conventional fertilizer most used for the development of enhanced efficiency fertilizers. Currently urease enzyme inhibitory substances and coating mechanisms of fertilizers that alter the flow of release of N to the soil solution, can reduce N losses by volatilization of NH₃. The work was divided in two studies, with the following objectives: to evaluate under controlled conditions of laboratory conventional nitrogen sources and increased efficiency, how to control N losses by volatilization of NH₃ and a second study evaluate the efficiency of sources and doses of conventional nitrogen and increased efficiency in coverage on agronomic performance of the culture of corn, cultivated in the first and second harvests 2015/2016. In the laboratory experiment, fertilizers used were applied on the surface of a red loamy latosol, previously moistened the 60% water holding capacity. Conducted in entirely random design with six repetitions, the treatments were four sources of N (urea, urea + ammonium nitrate and NBPT Haya® urea compressed with additives and polymers), plus additional controls (without soil and fertilizer Chamber empty) in dose equivalent to 100 kg ha⁻¹ of N losses were evaluated-NH₃ volatilization for a period of 20 days with the aid of hermetically sealed Chambers. At the end of the experiment, after 20 days the application of fertilizers, urea treatment lost 43% of the N applied, in how much urea + NBPT and Haya® reduced ammonia losses in 81 and 77% respectively when compared with the commercial urea, emerging as promising sources to increase the efficiency of nitrogen application under tropical conditions. The field experiments were conducted in a Eutrophic red latosol, in randomized block design with four replications. The treatments were distributed in 3 x 3 factorial scheme +1, using three sources of N (urea, ammonium nitrate and Haya®-urea packed with additives and polymers) and three doses of N (70, 140 and 210 kg ha⁻¹) and an additional treatment, no nitrogen fertilization applied in coverage. Increasing the doses of N applied in agronomic performance Extras promoted coverage of culture of corn in both crops. The maximum grain yields obtained in the first crop were 12,297, 12,088 and 9,473 kg ha⁻¹ when used the Haya® sources, ammonium nitrate and urea, in doses of 161, 168 and 195 kg ha⁻¹ N, respectively. In the first and second crops, urea packed with additives and polymers and the ammonium nitrate provide greater efficacy, however, the greatest efficiencies occurred at a dose of 70 kg ha⁻¹, regardless of the source of N and of harvests.

Keywords: Nitrogen fertilizer management; grain productivity; urease; NBPT.

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

1. Introdução

O milho é uma cultura altamente dependente de nitrogênio, em função de sua importância nos processos bioquímicos e fisiológicos (Farinelli et al., 2012; Portugal et al., 2017). Devido ao valor nutricional de seus grãos, o milho é uma das culturas mais estudadas no mundo, dada sua grande importância na alimentação humana e animal. O uso de seu grão para alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo (Duarte et al., 2010). Apesar do alto potencial produtivo da cultura do milho, evidenciado por produtividades de 12.000 kg ha⁻¹ de grãos, alcançado no Brasil em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas, o que se observa na prática é produção baixa e irregular, com média de 5.533 kg ha⁻¹ (Conab, 2018).

Os principais fatores que contribuem para os baixos níveis de produtividade média de milho, no Brasil, são as condições climáticas desfavoráveis de algumas regiões, a utilização de materiais genéticos não adaptados a determinadas condições edafoclimáticas, o uso de sementes não certificadas, o manejo inadequado da população de plantas (espaçamento), a ausência de pureza genética e o manejo incorreto de fertilizantes nitrogenados (Cantarella et al., 2008; Kappes et al., 2014; Portugal et al., 2017).

O manejo dos fertilizantes tem impacto direto na eficiência de utilização de nutrientes pelas plantas, fator essencial para obtenção de altas produtividades economicamente viáveis. Com relação a isto, deve-se dar especial atenção ao nitrogênio (N), que proporciona os maiores aumentos da produtividade de grãos de milho, uma vez que apresenta importância no metabolismo das plantas. Assim, se torna de extrema importância o manejo correto dos fertilizantes nitrogenados para que haja disponibilidade suficiente do nutriente para a nutrição das plantas no sistema de produção agrícola. O manejo da adubação nitrogenada é bastante complexo em função das reações químicas e biológicas pelas quais o nutriente passa no solo, da dependência de condições edafoclimáticas e das perdas existentes no solo (Cantarella et al., 2008; Ruser et al., 2015).

Outra possibilidade de aumentar a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes nitrogenados é o uso de fertilizantes de liberação lenta, controlada ou com inibidores de urease, para evitar a rápida transformação do N contido nos fertilizantes em formas de N menos estáveis em determinados ambientes (Cantarella, 2008). Os fertilizantes de liberação controlada são aqueles que atrasam a disponibilidade inicial dos nutrientes ou incrementam a sua disponibilidade no tempo, através de diferentes mecanismos, com a finalidade de disponibilizar os nutrientes para as culturas por maior período de tempo e otimizar a absorção pelas plantas, reduzindo perdas. Este tipo de fertilizante é caracterizado pelo recobrimento do seu grânulo por aditivos ou polímeros de natureza diversa. O uso de aditivos e polímeros no revestimento da ureia vem sendo apresentado como nova opção na redução da volatilização do N e na melhor sincronia de liberação para solução do solo, porém há necessidade de mais pesquisas para validar o seu uso.

Na literatura os resultados são conflitantes em relação as respostas de fertilizantes de eficiência aumentada, por isso as hipóteses que fundamentam esse trabalho são: os fertilizantes revestidos e formulados com NBPT, aditivos e polímeros podem retardar a atividade da enzima urease, diminuindo as perdas de N por volatilização e aumentar o desempenho agrônômico dos fertilizantes nitrogenados na cultura do milho de primeira e segunda safras.

Os objetivos com esse trabalho foram avaliar as perdas de N-NH₃ de fontes convencionais e de eficiência aumentada sob condições controladas e avaliar a eficiência da adubação nitrogenada de fontes e doses de N convencionais e de eficiência aumentada no desempenho agrônômico da cultura do milho, cultivado na primeira e na segunda safras, no ano agrícola de 2015/2016.

2. Revisão de Literatura

O fertilizante nitrogenado mais utilizado na cultura do milho é a ureia, em razão do seu custo baixo e da elevada concentração de nitrogênio, acima de 40% (Guelfi, 2017). Como desvantagem, a ureia quando aplicada sobre a superfície do solo, pode apresentar grandes perdas de N por volatilização (Frazão et al., 2014), em função da sua hidrólise sofrida pela ação da enzima urease sintetizada por diversos

microrganismos do solo (Campos et al., 2017). A lixiviação de N através do NO_3^- também é uma forma de perda de nitrogênio, que pode levar a contaminação de águas subterrâneas (Cantarella et al., 2008; Ruser et al., 2015; Guelfi, 2017).

O nitrato de amônio é uma das alternativas de substituição da ureia no manejo dos fertilizantes nitrogenados em razão da menor perda de N por volatilização, mesmo apresentando concentração de nitrogênio de 33%. Porém, a limitação de uso do nitrato de amônio está relacionada à sua ação explosiva em algumas condições de manipulação (Cantarella et al., 2008).

Com a finalidade de reduzir os processos de volatilização de N-NH_3 tem-se como possibilidade de manejo, a incorporação mecânica da ureia ao solo, ou por meio de lâmina de água (chuva ou irrigação). Outra alternativa, seria a utilização de inibidores de urease, que são substâncias que reduzem a velocidade de conversão da ureia para NH_3 (Sanz-Cobena et al., 2011 e Frazão et al., 2014). Várias substâncias têm sido estudadas com o objetivo de diminuir as perdas de N por volatilização da amônia e lixiviação do nitrato, entre elas o NBPT (N – (N-butil) tiofosfórico triamida), DMPP (fosfato de 3,4-dimetilpirazol), cobre mais boro e polímeros acrílicos (Timilsena et al., 2014). Resultados de pesquisas em área de cultivo de milho mostram que a perda de N por volatilização da ureia + NBPT foi de 8% do N aplicado. Portanto, dos 150 kg ha^{-1} de N aplicados em cobertura, 12 kg ha^{-1} foram perdidos por volatilização (Souza, 2015). Além do NBPT, existem diversos estudos anteriores relacionados à adição de zinco, cobre e boro no revestimento da ureia e sua atuação como inibidores de urease (Van der Puy et al., 1984; Whitehurst, 2004; Cancellier et al., 2016; Gueifi, 2017).

Outra possibilidade é utilizar revestimentos ou compactação dos grânulos dos fertilizantes nitrogenados, com a função de alterar o fluxo de liberação do N para solução do solo (Naz & Sulaiman, 2016). Os fertilizantes revestidos ou de eficiência aumentada, são aqueles que promovem melhorias na eficiência agrônômica das adubações em comparação aos fertilizantes convencionais (Trenkel, 2010; Timilsena et al., 2014; Guelfi, 2017). Atualmente esses fertilizantes, são classificados em três categorias, conforme as tecnologias utilizadas nos processos de produção: liberação lenta, liberação controlada e estabilizados (Guelfi, 2017).

Os fertilizantes de liberação lenta, são aqueles nos quais a dinâmica de liberação dos nutrientes do grânulo de fertilizante para solução do solo é mais lenta que os fertilizantes convencionais. Os de liberação controlada, são fertilizantes convencionais como a ureia, que tem alta solubilidade em água, aos quais são adicionados compostos para o recobrimento do grânulo que serve de barreira física e controla a passagem de N por difusão. Os estabilizados são aqueles nos quais a ureia é tratada ou recoberta com aditivos para estabilização do N. Esse grupo é subdividido em aditivos para inibição da urease e aditivos para inibição da nitrificação (Trenkel, 2010; Naz & Sulaiman, 2016; Guelfi, 2017). As condições edafoclimáticas da área (temperatura, umidade, pH, MO e textura) também influenciam na atividade microbiológica do solo e estão diretamente relacionadas com a degradação das cadeias de aditivos e polímeros utilizados para os revestimentos dos grânulos de fertilizantes (Azeem et al., 2014; Timilsena et al., 2014; Guelfi, 2017).

É importante enfatizar que existem diferenças conceituais entre as tecnologias quando são utilizados os termos liberação lenta e liberação controlada a primeira delas é que os fertilizantes de liberação lenta não têm revestimento, como os fertilizantes de liberação controlada. também ocorrem diferenças nos preços, pois geralmente os fertilizantes de liberação controlada são mais caros em função do tipo e quantidade de revestimento utilizado no processo de produção (Naz; sulaiman, 2016).

Os fertilizantes compactados e revestidos com aditivos e polímeros são a tecnologia mais avançada dentre os fertilizantes de eficiência aumentada (Trenkel, 2010; Timilsena et al., 2014; Naz & Sulaiman, 2016; Guelfi, 2017). Diversos compostos naturais ou sintéticos têm sido avaliados como revestimento em fertilizantes: polímeros naturais de amido, alginas, glúten de trigo, borracha e látex, em suas formas naturais ou modificadas. Vários compostos sintéticos foram preparados para revestimento de fertilizantes, como poliolefinas, poliuretano, poliacrílico, poliacrilamida, polisulfonato, policloreto de vinila, poliestireno, poliacetato e polidopamina (Guelfi, 2017).

O processo de produção dos fertilizantes recobertos com polímeros depende da natureza do seu recobrimento e das características desejáveis do produto final. O processo mais simples consiste na dissolução dos polímeros em um solvente orgânico

para aplicação nos grânulos em um misturador rotativo (Azeem et al., 2014; Naz & Sulaiman, 2016; Guelfi, 2017).

Os fertilizantes compactados, consistem na junção de matéria prima de fertilizantes em pó, as quais são compactadas com aditivos, polímeros e substâncias inibidoras da enzima urease e com efeito de retardar a atividade das bactérias nitrificadoras do solo. Essa compactação é realizada em equipamentos industriais com a capacidade de garantir aos fertilizantes dureza, granulometria, umidade e solubilidade para serem posicionados no campo (Figura 1).

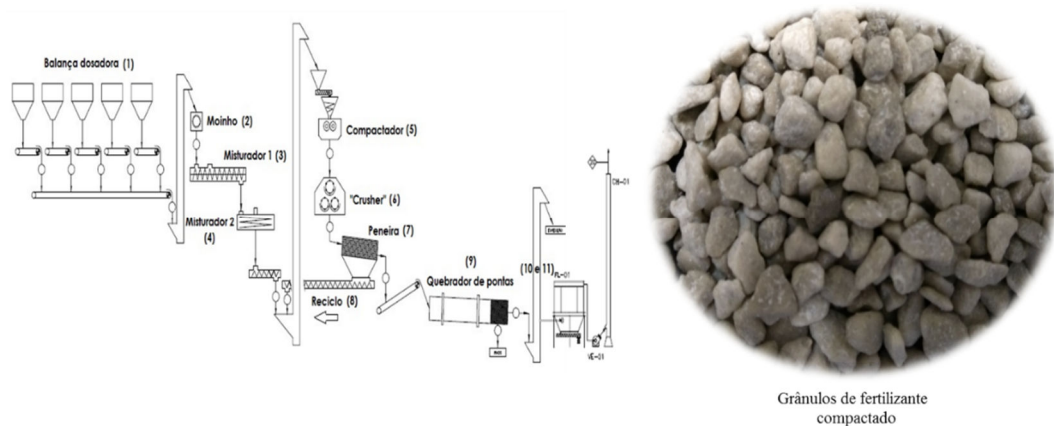


Figura 1- Estrutura da planta de compactação de ureia com outras matérias-primas e aditivos e grânulos do fertilizante compactado, Kimberlit Agrociências, Olímpia – SP, 2017.

Os fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada são uma realidade no mundo (Guelfi, 2017). Existem diferentes tipos de tecnologias de produção que influenciam no seu custo, em função da tecnologia de produção, os preços dos fertilizantes aumentam na seguinte ordem: convencionais < estabilizados < blends < liberação lenta < liberação controlada. O mercado global de fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada, excluindo a China é de 3,6 milhões de toneladas, o valor atual desse mercado é de U\$\$ 1,6 bilhão, as projeções indicam que o mercado global deverá crescer 7,5 milhões de toneladas (Apostolo-Poulou, 2016).

3. Referências

Apostolopoulou E **The global Market for slow-release, controlled-release and stabilized fertilizers**. Beijing: International Fertilizer Association – IFA, 2016.

Azeem B, Kushaari K, Man ZB, Basit A, ThanhTH (2014) Review on materials and methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release** 181:11-21.

Campos OR, Mattiello EM, Cantarutti RB, Vergutz L (2017) Nitrogen release from urea with different coatings or urease inhibitor. **Journal of the Science of Food And Agriculture**, 000:000-00.

Cancellier EI, Silva DrG, Faquin V, Almeida BA, Cancellier LL, Spehar CR (2016) Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till corn in Brazilian cerrado with improved soil fertility. **Ciência e Agrotecnologia** 40:15-23.

Cantarella, H. et al (2008) Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola** 65:397-401.

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2018) **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, sétimo levantamento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 15 de julho de 2018.

Guelfi D (2017) **Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada**. IPNI, Informações Agronômicas, 157:1-14.

Duarte, J.O.; Cruz, J.C.; Garcia, J.C. (2010) Economia da produção e utilização do milho. In: Cultivo do milho. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/economiadaprodu.htm>>. Acesso em: 10 de março de 2016

Farinelli R, Lemos LB (2012) Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 42:63-70.

Frazão JJ, Silva AR, Silva VL, Oliveira VA, Corrêa RS (2014) Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental** 18:1262–1267.

Kappes C, Arf O, Dal Bem AE, Portugal JR, Gonzaga AR (2014) Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo** 13:201-217.

Naz MY, Sulaiman AS (2016) Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. **Journal of controlled release**, 225:109-120.

Portugal JR, Arf O, Peres AR, Gitti DDC, Garcia NFS (2017) Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *azospirillum brasilense* em milho no cerrado. **Revista Ciência Agrônômica**, 48:639-649.

Ruser R, Schulz R (2015) The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N₂O) release from agricultural soils – a review. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 178:171-178.

Sanz-Cobena A, Misselbrook T, Camp VVallejoA (2011) Effect of water addition and the urease inhibitor NBPT on the abatement of ammonia emission from surface applied urea. **Atmospheric Environment**, 45:1517-1524.

Timilsena YP, Adhikari R, Casey P, Muster T, Gill H, Adhi-Kari B (2014) Enhanced efficiency fertilizers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 95:1131-1142.

Trenkel M E (2010) **Slow and controlled-release and stabilized fertilizers**: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association p167.

Van Der Puy M, Gatrone RC, Robison MA, Herdrickson LL (1984) **Urease inhibited urea based fertilizer compositions containing organo boron acid compounds**. em: <http://www.freepatentsonline.com/4462819.pdf>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2010.

Whitehurst GB, Whitehurst BM (2004) **Volatility-inhibited urea fertilizers**.

CAPÍTULO 2 – Volatilização de NH₃ de fontes convencionais e ureia compactada sob condições controladas

RESUMO: A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura tropical, mas quando aplicada na superfície do solo pode apresentar perdas de N por volatilização da amônia. Objetivou-se com esse estudo, avaliar em condições controladas de laboratório, fontes de nitrogênio convencionais e ureia compactada, quanto ao controle de perdas de N-NH₃. Os fertilizantes utilizados foram aplicados na superfície de um latossolo vermelho argiloso, previamente umedecido a 60% da capacidade de retenção de água. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso com seis repetições. Os tratamentos foram quatro fontes de N em dose equivalente a 100 kg ha⁻¹ de N (ureia, ureia + NBPT, nitrato de amônio e ureia compactada com aditivos e polímeros) e os controles adicionais (solo sem fertilizante e câmara vazia). Foram avaliadas as perdas de N-NH₃ por volatilização por um período de 20 dias com o auxílio de câmaras hermeticamente fechadas. Ao final do experimento, a ureia convencional perdeu 43% do N aplicado, enquanto a ureia + NBPT e a ureia compactada reduziram as perdas de amônia em 77 e 81% respectivamente quando comparadas com a ureia convencional, surgindo como fontes promissoras para aumentar a eficiência da aplicação de nitrogênio sob condições tropicais.

Palavras-chave: Adubação nitrogenada; eficiência aumentada; NBPT; polímeros.

1. Introdução

A síntese da amônia (NH_3) a partir da reação do gás dinitrogênio (N_2), presente na atmosfera, com o hidrogênio (H), em condições de alta pressão e temperatura e na presença de ferro (Yamamoto et al., 2016; Guelfi, 2017), é considerada o maior avanço tecnológico no setor de fertilizantes nitrogenados. A partir da síntese da amônia, foi possível a produção em maior escala dos principais fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura mundial, que tem a amônia como matéria-prima básica para a sua produção, entre eles a ureia.

Em função de suas características químicas e facilidade de ser hidrolisada no solo, as perdas por volatilização de NH_3 constitui um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da ureia em fornecer N às culturas (Cantarella, 2007; Frazão et al., 2014; Silva et al., 2017). O uso da ureia em cobertura pode gerar perdas de N que são bastantes significativas. Diversos trabalhos sugerem perdas que podem variar de 40 a 60% do N aplicado (Frazão et al., 2014; Lana et al., 2018).

Uma das formas de reduzir as perdas de N por volatilização de NH_3 é pela incorporação mecânica do fertilizante ao solo ou por meio de lâmina de água oriunda da chuva ou irrigação (Cantarella, 2007). Outra alternativa, seria a utilização de inibidores de urease, que são substâncias que reduzem a velocidade de conversão da ureia para NH_3 (Sanz-Cobena et al., 2011; Frazão et al., 2014). Várias substâncias têm sido estudadas com o objetivo de diminuir as perdas de N por volatilização da amônia, entre elas o NBPT (N – (N-butil) tiofosfórico triamida), cobre mais boro e polímeros acrílicos (Timilsena et al., 2014).

Os produtos que têm produzido os melhores resultados são os análogos de ureia, especialmente o tiofosfato de N-(n-butil) triamida – NBPT – comercializado desde 1996 nos Estados Unidos e mais recentemente no Brasil. O NBPT é atualmente o único inibidor de urease que tem grande importância comercial e prática na agricultura, sendo comercializado em mais de 70 países (Timilsena et al., 2014; Guelfi, 2017).

A estabilização do N da ureia devido à adição de substâncias para esse fim, tem como principal benefício o atraso do pico de volatilização, que proporciona: a) maior número de dias após a adubação nitrogenada para sua incorporação pelas

águas das chuvas ou irrigação; b) redução das perdas de N por volatilização devido a hidrólise excessiva da ureia na superfície do solo; c) aumento da absorção de N, da produtividade, da eficiência da adubação com N e da qualidade das culturas (Guelfi, 2017).

Atualmente, empresas no mundo comercializam ureia já tratada com o NBPT, Cu + B, polímeros e aditivos com a função de estabilizar o N por meio da inibição da reação da atividade da enzima urease no solo (Cantarella, 2007; Guelfi, 2017). No entanto, existem questionamentos quanto à estabilidade desses inibidores após sua aplicação, isso em razão dos produtos apresentarem eficiência variável em função do armazenamento e das condições edafoclimáticas no momento da aplicação (Cantarella, 2007; Mota et al., 2015).

Dessa forma, novas tecnologias têm sido desenvolvidas no intuito de apresentarem resultados com maior previsibilidade e estabilidade. Nesse sentido, a ureia compactada com aditivos e polímeros acrílicos podem ser uma alternativa para a redução das perdas de N por volatilização, retardamento do pico de perdas e, conseqüente, incremento da eficiência do uso dos fertilizantes.

Portanto, o objetivo com esse trabalho foi avaliar, em condições controladas de laboratório, o controle de perdas de N-NH₃ de fontes de N convencionais e de ureia compactada com aditivos e polímeros.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido no município de Olímpia - São Paulo - Brasil, em laboratório localizado no Centro de Pesquisa da Kimberlit Agrociências em parceria com a Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, no período de 09/01/2017 a 28/01/2017.

O solo utilizado foi coletado da camada de 0-20 cm, de uma área cultivada sem cobertura vegetal, classificado como Latossolo Vermelho argiloso, apresentando 526 g kg⁻¹ de argila, 189 g kg⁻¹ de silte e 285 g kg⁻¹ de areia. Após a coleta, a amostra de solo foi seca ao ar, passada em peneira (malha 2 mm), homogeneizada e submetida à análise química de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001). Os valores obtidos foram: pH (CaCl₂) 5,8; MO = 22 g dm⁻³; P (resina) = 48 mg dm⁻³; H+Al=

25 mmol_c dm⁻³; K = 6,8 mmol_c dm⁻³; Ca⁺² = 42 mmol_c dm⁻³; Mg⁺² = 18 mmol_c dm⁻³; CTC = 91,8 mmol_c dm⁻³ e V = 73%.

O experimento foi conduzido sob delineamento inteiramente ao acaso com quatro tratamentos: 1 - ureia (45% de N); 2 - ureia + NBPT; 3 - nitrato de amônio (33% de N) e 4 - ureia compactada (fertilizante comercial “Haya®” com aditivos e polímeros, 33% de N), em dose equivalente a 100 kg ha⁻¹ de N, com seis repetições. Além de controles adicionais (solo sem fertilizante e câmara vazia) para permitir descontar quaisquer emissões de NH₃ do solo, dispostos inteiramente ao acaso.

A ureia compactada, 33-00-00 + 3% de Ca (carbonato de cálcio) + 3% de S (enxofre elementar) e 0,3% de B (ulexita), com dureza de 3,5 kgf foi obtido por meio da compactação da ureia em pó, acrescentando nutrientes e aditivos inibidores da enzima urease, provenientes de um polímero acrílico.

Foram utilizadas câmaras de volatilização, que são recipientes cilíndricos de vidro com 68 cm² de área basal, tampa que fecha hermeticamente e capacidade para 1,5 L, em que foram abertos dois furos de lados opostos, 5 cm abaixo da tampa, para colocar dois tubos de vidro, um para a entrada e outro para a saída de ar. Dentro da câmara, na frente do tubo de entrada de ar foi colocada uma barreira de plástico rígido para que o ar circule na câmara antes de sair, o volume de espaço vazio na câmara foi próximo a 500 ml – entre a tampa e o solo (Figura 1).

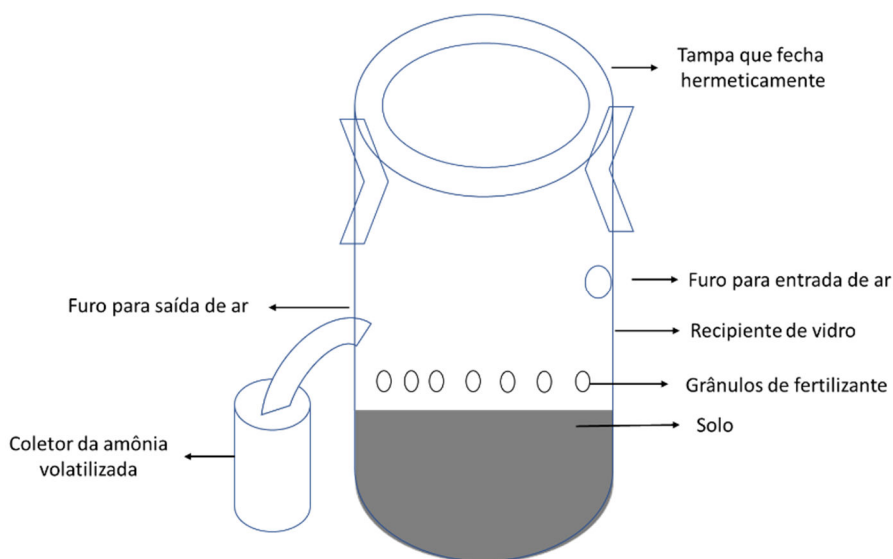


Figura 1 – Esquema da câmara de volatilização formada por recipiente cilíndrico de vidro, e coletor de amônia, Kimberlit Agrociências, Olímpia – SP, 2017.

As amostras de solo foram colocadas nas câmaras para preencher um volume até 2 cm abaixo dos furos de entrada e saída de ar, o que correspondeu a 1200 g. A temperatura ambiente durante o experimento, foi mantida a 26 °C e o solo foi umedecido uma semana antes do início do experimento, para recomposição da atividade microbiana. A quantidade de água foi equivalente a 60% da capacidade máxima de retenção de água, que foi determinada pelo volume de água percolado após a adição de 100 ml de água em 100 ml de solo, feito em tubo de percolação de vidro. Não houve reposição de água no solo durante o experimento, sendo que após a volatilização de NH_3 , o teor de umidade no solo era próximo a 30% da capacidade máxima de retenção de água.

Os fertilizantes foram pesados em balança analítica com precisão de 0,1 mg e aplicados sobre a superfície do solo contido nas câmaras com dose equivalente a 100 kg ha^{-1} . O ar, proveniente de compressor, teve a pressão regulada por manômetro a 2,4 kgf cm^{-2} , passava por uma solução de H_2SO_4 0,05 mol L^{-1} para eliminar traços de NH_3 , e por um frasco contendo água deionizada para manter o ar umidificado. Posteriormente, o ar era conduzido por meio de tubos de PVC até as câmaras de volatilização, onde o fluxo de ar foi controlado por registros individuais e regulado por fluxômetro a uma taxa de 1,5 L min^{-1} . O ar das câmaras era conduzido, por meio de tubos de vidro com 0,5 cm de diâmetro, até frascos contendo 150 ml de solução coletora, no qual borbulhava continuamente para reter a NH_3 arrastada das câmaras. A solução foi feita com 20 g L^{-1} de ácido bórico e os indicadores de mudança de pH vermelho de metila (0,044 g L^{-1}) e verde de bromocresol (0,066 g L^{-1}), tendo pH próximo a 5,0, ajustado com NaOH (0,1 mol L^{-1}). Os frascos contendo as soluções coletoras foram substituídos e a NH_3 analisada diariamente, até que as perdas por volatilização de NH_3 cessassem ou as taxas se estabilizassem em um patamar próximo do limite de detecção do método. A amônia foi determinada por titulação potenciométrica com solução padronizada de H_2SO_4 0,005 mol L^{-1} segundo a metodologia descrita por Cantarella & Trivelin (2001).

As curvas de volatilização de NH_3 diária e acumulada ao longo de tempo foram ajustadas a modelos gaussianos (equação 1) e de Hill (equação 2), respectivamente.

$$y = a \times e^{(-0,5 \times (x - x_0) / b)^2} \quad (1)$$

$$y = a \times x^b / (c^b + x^b) \quad (2)$$

Os dados foram submetidos a análise de variância utilizando-se o teste F ($p < 0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3. Resultados e Discussão

A porcentagem de perda diária de N-NH₃ da ureia convencional aumentou até o quarto dia após a aplicação desse fertilizante (Figura 2). As perdas de N-NH₃ foram concentradas nos 12 primeiros dias para todos as fontes de N, já que após esse período a volatilização de amônia se estabilizou, com pouca diferença entre os fertilizantes. Resultados semelhantes foram verificados por Oliveira et al. (2014) avaliando a volatilização de ureia compactada com enxofre e bentonita em ambiente controlado. A ureia apresentou pico de perdas de N-NH₃ ao quarto dia. Em contrapartida, tanto a ureia tratada com NBPT como a ureia compactada tiveram seus picos no oitavo dia. Esses picos de perdas de N-NH₃ por volatilização foram reduzidos em 81 e 77% para a ureia compactada e ureia tratada com NBPT respectivamente em comparação a ureia convencional.

No quarto dia após a aplicação dos fertilizantes (pico da ureia não tratada), a perda de amônia pela ureia convencional foi significativamente superior que as demais fontes de N (Tabela 1). No oitavo dia após a aplicação dos fertilizantes (picos das ureias tratadas), a perda de NH₃ pela ureia compactada foi inferior àquela tratada com NBPT (Tabela 1). O nitrato de amônio praticamente não teve perdas. Esse fertilizante tem reação ácida no solo e seu ânion NO₃⁻ atua como íon acompanhante favorecendo a mobilidade do NH₄⁺ no sentido vertical do perfil do solo, que reduzem a volatilização (Lara Cabezas et al., 1997). Perdas de N-NH₃ menores que 1% para o nitrato de amônio são recorrentes na literatura (Dominghetti et al., 2017; Otto et al., 2017).

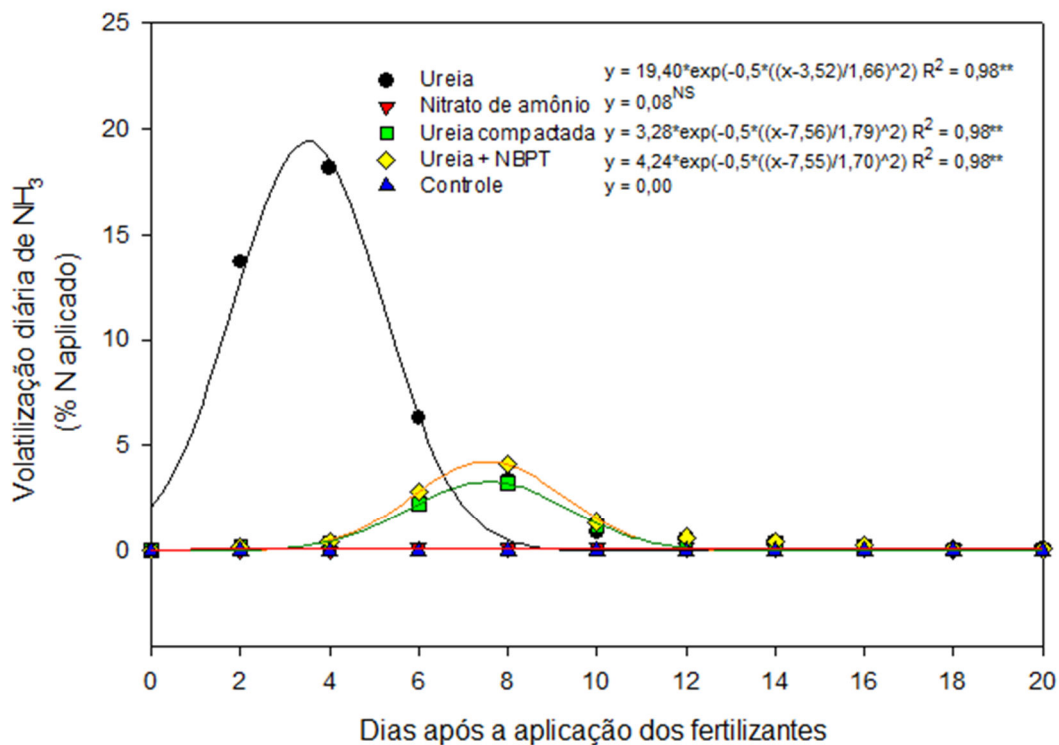


Figura 2. Volatilização diária de NH₃ pela aplicação superficial de ureia, nitrato de amônio, ureia compactada e ureia tratada com inibidor de urease (NBPT) ao longo de 20 dias da implantação do experimento.

Esses resultados podem ser explicados pelo atraso na atividade da enzima urease, provocado pelo NBPT e pelos aditivos e polímeros adicionados ao fertilizante compactado. A ureia é hidrolisada rapidamente logo na primeira semana após sua aplicação no solo, tornando-se suscetível às altas perdas por volatilização de NH₃. Dessa forma, é exatamente nesse período que a atuação de NBPT é mais evidente, retardando a hidrólise e consequentemente mantendo baixa a taxa de volatilização (Soares et al., 2012; Lana et al., 2018). Nesse sentido, Okumura & Cinque (2012) observaram que o NBPT é capaz de inibir por até 14 dias a degradação enzimática da ureia, proporcionando menor perda de N-NH₃.

Tabela 1. Análise de variância e teste de comparação de médias (Tukey) para a volatilização diária de amônia (NH_3) em função após a aplicação dos fertilizantes na câmara de volatilização.

	4 DAF	8 DAF	12 DAF	16 DAF	20 DAF
Ureia	18,15 a	3,38 b	0,53 b	0,14 c	0,08 a
Nitrato de amônio	0,01 c	0,14 d	0,11 c	0,08 d	0,05 c
Ureia compactada	0,38 b	3,22 c	0,53 b	0,21 b	0,08 a
Ureia +NBPT	0,42 b	4,13 a	0,63 a	0,25 a	0,06 b
Teste F	**	**	**	**	**
DMS	0,072	0,044	0,014	0,016	0,001
C.V. (%)	0,95	1,02	1,95	2,99	1,37
Média	4,74	2,72	0,45	0,17	0,06

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Outra explicação da maior volatilização seria em função da maior saturação dos sítios de ação da enzima urease dada a maior disponibilidade de amônio no solo provenientes da ureia não tratada conforme observado por Silva et al. (2017). A taxa de hidrólise da ureia pela enzima urease é mais expressiva durante os primeiros dias após adubação (Soares et al., 2012; Silva et al., 2017).

Os resultados obtidos pela ureia com NBPT e a compactada são interessantes, visto que aumentam o período para ocorrência de chuvas e incorporação do fertilizante ao solo, diminuindo as perdas por volatilização e aumentando a eficiência do adubo. Mota et al. (2015) reforçam a importância do retardamento em 7 dias na hidrólise da ureia, pois pode haver precipitação pluvial suficiente para incorporar o fertilizante ao solo e reduzir significativamente a perda de NH_3 por volatilização.

O acumulado das perdas diárias de N-NH_3 se estabilizou após o décimo dia para a ureia convencional, e após o décimo segundo dia para as ureias tratadas (Figura 3). A ureia convencional apresentou perdas máximas de 43,60% do N aplicado. Em contrapartida, os tratamentos com adição de inibidores de urease e polímeros acrílicos à ureia resultaram em menores perdas de N comparado com a ureia convencional: 10,38% e 8,45% do N aplicado, para os fertilizantes ureia + NBPT e ureia compactada, respectivamente. Ao final do experimento, as perdas de N-NH_3 para o fertilizante compactado foram significativamente menores que as verificadas para as demais fontes (Tabela 2), o que se deve principalmente as menores volatilizações constatadas no oitavo, décimo segundo e décimo sexto dia após a

aplicação dos fertilizantes. Alguns trabalhos têm relatado perdas de N-NH₃ de até 60% do N aplicado, com uma média entre 20 a 30%, em condições experimentais (Cantarella et al., 2008; Soares et al., 2012).

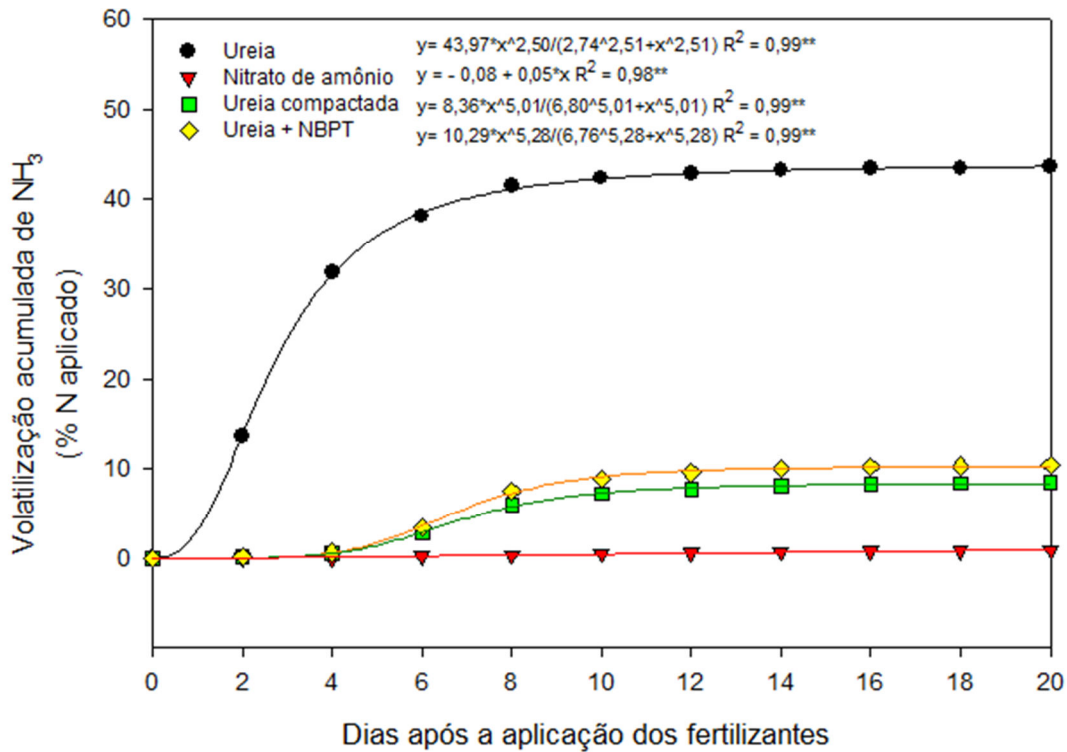


Figura 3. Volatilização acumulada de NH₃ pela aplicação superficial de ureia, nitrato de amônio, ureia compactada e ureia + NBPT ao longo de 20 dias da implantação do experimento.

Diversos compostos naturais ou sintéticos têm sido bastante estudados como revestimento em fertilizantes. Dentre os polímeros naturais: amido, alginas, glúten de trigo, borracha e látex. Vários compostos sintéticos também foram preparados para revestimento de fertilizantes, como poliolefinas, poliuretano, poliacrílico, poliacrilamida, polisulfonato, policloreto de vinila, poliestireno, poliacetato e polidopamina (Guelfi, 2017). Os resultados desse trabalho indicam que o fertilizante compactado com aditivos e polímeros foi tão eficiente em reduzir a volatilização de NH₃ quanto a ureia tratada com inibidor de urease NBPT. Essa eficiência deve ter ocorrido devido a quantidade de aditivos e polímeros inseridas no revestimento da ureia, uma vez que essas substâncias atuam retardando a atividade da enzima urease, além de atuarem na dinâmica de liberação do N para solução do solo,

diminuindo a concentração de NH_4^+ e o valor de pH na zona de aplicação do fertilizante, e conseqüentemente, reduzindo a volatilização de NH_3 (Stafanato et al., 2013; Oliveira et al., 2014).

Tabela 2. Análise de variância e teste de comparação de médias (Tukey) para a volatilização acumulada de amônia (NH_3) após a aplicação dos fertilizantes na câmara de volatilização.

	4 DAF	8 DAF	12 DAF	16 DAF	20 DAF
Ureia	31,81 a	41,51 a	42,89 a	43,45 a	43,60 a
Nitrato de amônio	0,01 c	0,32 d	0,61 d	0,77 d	0,88 d
Ureia compactada	0,54 b	6,01 c	7,71 c	8,29 c	8,45 c
Ureia +NBPT	0,63 b	7,57 b	9,58 b	10,25 b	10,38 b
Teste F	**	**	**	**	**
DMS	0,29	0,33	0,34	0,33	1,34
C.V. (%)	2,22	1,51	1,40	1,33	1,34
Média	8,24	13,85	15,20	15,69	15,83

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

A eficiência dos fertilizantes revestidos com polímeros é diretamente dependente da curva de liberação dos nutrientes de dentro dos grânulos, pois ocorre variação na taxa de liberação do N em função da composição e espessura do revestimento e da temperatura, umidade do solo e da quantidade de chuvas após a aplicação ao solo (Timilsena et al., 2014; Guelfi, 2017).

4. Conclusões

1. As perdas por volatilização de N-NH_3 entre os fertilizantes avaliados, em ordem crescente, foram: nitrato de amônio < ureia compactada < ureia + NBPT < Ureia.
2. A compactação de ureia com aditivos inibidores da enzima urease derivado de um polímero acrílico é eficiente contra as perdas de N-NH_3 por volatilização quando comparada as ureias convencional e tratada com NBPT.

5. Referências

- Cantarella H (2007) Nitrogênio. **In:** Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RL, Cantarutti RB, Neves JCL (Org.). Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 375-470.
- Cantarella H, Trivelin PCO (2001) Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. **In:** Rajj B van, Andrade JCde, Cantarella H, Quaggio JA (Org.). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Instituto Agrônomo, 270:276.
- Cantarella H, Trivelin PCO, Contin TLM, Dias FLF, Rossetto R, Marcelino R, Coimbra RB, Quaggio JA (2008) Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, 65:397-401.
- Dominghetti AW, Guelfi DR, Guimarães RJ, Caputo ALC, Spehar, CR, Faquin V (2016) Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, 40:173-183.
- Frazão JJ, Silva AR, Silva VL, Oliveira VA, Corrêa RS (2014) Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, 18:1262–1267.
- Douglas Guelfi (2017) **Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada**. IPNI, Informações Agronômicas, 157:1-14.
- Lana RMQ, Pereira VJ, Leite CN, Teixeira GM, da Silva GJ, Camargo R (2018) NBPT (urease inhibitor) in the dynamics of ammonia volatilization. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 13:1-8.
- Lara Cabezas WAR, Korndorfer GH, Motta AS (1997) Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:481-487.
- Mota MR, Sangoi L Schenatto, DE, Giordani W, Boniatti CM, Dall'igna L (2015) Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 39:512-522.

Nascimento CAC, Vitti GC, Faria LA, Luz PHC, Mendes FL (2013) Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 37:1057-1063.

Oliveira JA, Stafanato JB, Goulart RS, Zonta E, Lima E, Mazur N Pereira CG, Souza HN, Costa FGM (2014) Volatilização de amônia proveniente de ureia compactada com enxofre e bentonita, em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 38:1558-1564.

Okumura RS, Mariano DC (2012) Aspectos agronômicos da ureia tratada com inibidor de urease. **Ambiência**, 8:403-414.

Otto RZ, Souza NE, Machado GJM, Almeida B, Mira AB (2017) Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers applied to sugarcane straw. **Revista Ciência Agrônômica**, 48:413-418.

Sanz-Cobena A, Misselbrook T, Camp V, Vallejo A (2011) Effect of water addition and the urease inhibitor NBPT on the abatement of ammonia emission from surface applied urea. **Atmospheric Environment**, 8:1517-1524.

Silva AGB, Sequeira CH, Sermarini RA, Otto R (2017) Urease inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: A meta-analysis. **Agronomy Journal**, 109:1-13.

Soares JR, Cantarella H, Menegale MLC (2012) Amônia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. **Soil Biology & Biochemistry**, 52:82-89.

Stafanato JB, Goular RS, Zonta E, Lima E, Mazur N, Pereira CG, Souza HN (2013) Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:726-732.

Timilsena YP, Adhikari R, Casey P, Muster T, Gill H, Adhi-Kari B (2014) Enhanced efficiency fertilizers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 95:1131-1142.

Yamamoto CF, Pereira EI, Mattoso IHC, Matsunaka T, Ribeiro C (2016) Slow release fertilizer based on urea/urea-formaldehyde polymer nanocomposites. **Chemical Engineering Journal**, 287:390-397.

CAPÍTULO 3 – Fontes e doses de nitrogênio convencionais e de eficiência aumentada em cobertura na cultura do milho de primeira e segunda safras

RESUMO - Diversos fatores interferem na eficiência agronômica do uso dos fertilizantes nitrogenados e podem estar relacionados ao solo, disponibilidade hídrica, cultura, ao manejo adotado e a fonte utilizada. Objetivou-se com esse estudo, avaliar a eficiência de fontes e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agronômico da cultura do milho, cultivado na primeira e segunda safras 2015/2016. Os experimentos foram conduzidos em um latossolo vermelho eutrófico, no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 3x3+1, utilizando-se três fontes de N (ureia, nitrato de amônio e Haya® - ureia compactada com aditivos e polímeros) e quatro doses de N (70, 140 e 210 kg ha⁻¹) aplicadas em cobertura. O aumento das doses de N aplicadas em cobertura promoveu acréscimos no desempenho agronômico da cultura do milho em ambas safras. A produtividade máxima de grãos foi obtida na primeira safra, 12.297, 12.088 e 9.473 kg ha⁻¹, quando utilizada a fonte Haya®, nitrato de amônio e ureia, nas doses de 161, 168 e 195 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Na primeira e na segunda safras, em todas as doses de N, ocorreu maior eficiência agronômica para a fonte de N compactada com aditivos e polímeros e o nitrato de amônio em relação a ureia. Contudo, as maiores eficiências ocorreram na dose de 70 kg ha⁻¹, independentemente da fonte de N e das safras.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; manejo da adubação nitrogenada; produtividade de grãos; eficiência agronômica.

1. Introdução

O milho é uma das culturas de maior potencial produtivo no Brasil, responsável por gerar retorno econômico e divisas financeiras para os produtores e para a nação. No entanto, a produtividade média é muito baixas, cerca de 5.533 kg ha^{-1} (Conab, 2018), demonstrando que os sistemas de produção de milho, primeira safra (elevada disponibilidade de chuvas), segunda safra (baixa disponibilidade de chuvas) e terceira safra (irrigada) deverão ser aprimorados quanto ao uso de nutrientes, em especial de nitrogênio (N), para obter aumento na produtividade e na rentabilidade (Kappes et al., 2014).

O N é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura, limitando a produtividade de grãos, pois exerce importante função nos processos bioquímicos da planta (Farinelli et al., 2012; Portugal et al., 2017). Dessa maneira, é de extrema importância o manejo correto dos fertilizantes nitrogenados, tanto na semeadura quanto em cobertura, para que haja disponibilidade do nutriente suficiente para a nutrição das plantas no sistema de produção agrícola.

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes no mundo (IFA, 2018), em função da extensa produção agropecuária e da baixa eficiência de uso de fertilizantes pelas culturas (Frazão et al., 2014). Em 2017 o Brasil consumiu 32,7 milhões de toneladas de fertilizantes, dos quais 9,1 milhões foram de fertilizantes nitrogenados (ANDA, 2018).

O fertilizante nitrogenado mais utilizado na cultura do milho é a ureia, em razão do seu custo baixo e da elevada concentração de nitrogênio, acima de 40%. Como desvantagem, a ureia quando aplicada sobre a superfície do solo, pode apresentar grandes perdas de N por volatilização (Frazão et al., 2014), em função da hidrólise da ureia sofrida pela ação da enzima urease sintetizada por diversos microrganismos do solo (Campos et al., 2017). A lixiviação de N através do NO_3^- também é uma forma de perda de nitrogênio, que pode levar a contaminação de águas subterrâneas (Cantarella et al., 2008; Ruser et al., 2015; Guelfi, 2017).

O nitrato de amônio é uma das alternativas de substituição da ureia no manejo dos fertilizantes nitrogenados em razão da menor perda de N por volatilização, mesmo

apresentando concentração de nitrogênio de 33%. Porém, a limitação de uso do nitrato de amônio está relacionada à sua ação explosiva em algumas condições de manipulação (Cantarella et al., 2008).

Com a finalidade de reduzir os processos de volatilização de NH_3 tem-se como possibilidade de manejo, a incorporação mecânica da ureia ao solo, ou por meio de lâmina de água (chuva ou irrigação). Outra alternativa, seria a utilização de inibidores de urease, que são substâncias que reduzem a velocidade de conversão da ureia para NH_3 (Sanz-Cobena et al., 2011 e Frazão et al., 2014). Várias substâncias têm sido estudadas com o objetivo de diminuir as perdas de N por volatilização da amônia e lixiviação do nitrato, entre elas o NBPT (N – (N-butil) tiofosfórico triamida), DMPP (fosfato de 3,4-dimetilpirazol), cobre mais boro e polímeros acrílicos (Timilsena et al., 2014).

Outra possibilidade é utilizar revestimentos ou compactação dos grânulos dos fertilizantes nitrogenados, com a função de alterar o fluxo de liberação do N para solução do solo (Naz; Sulaiman, 2016). Os fertilizantes revestidos, são fertilizantes convencionais, como a ureia, que tem alta solubilidade em água, aos quais são adicionados compostos para o recobrimento do grânulo que serve de barreira física e controla a passagem do nutriente por difusão. Existem diversos compostos que podem ser utilizados para o recobrimento do grânulo, como enxofre elementar, resinas plásticas, polietileno, gesso, polímeros acrílicos, dentre outros (Timilsena et al., 2014; Guelfi, 2017).

Diversos autores têm demonstrado o maior aproveitamento do N de fertilizantes de eficiência aumentada pela cultura do milho, com significativa redução de perdas e melhor disponibilidade desse nutriente ao longo do ciclo da cultura (Frazão et al., 2014; Mota et al., 2015 e Silva et al., 2017).

O objetivo com esse trabalho foi avaliar a eficiência de fontes e doses de N convencionais e de eficiência aumentada no desempenho agrônomo da cultura do milho, cultivado na primeira e segunda safras, no ano agrícola de 2015/2016.

2. Material e Métodos

O trabalho de pesquisa foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Utilizou-se a cultura do milho cultivado na primeira e segunda safras do ano agrícola de 2015/2016. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Os dados de precipitação pluvial e a temperaturas máxima e mínima ocorridas no período de condução dos experimentos, estão apresentados na Figura 1.

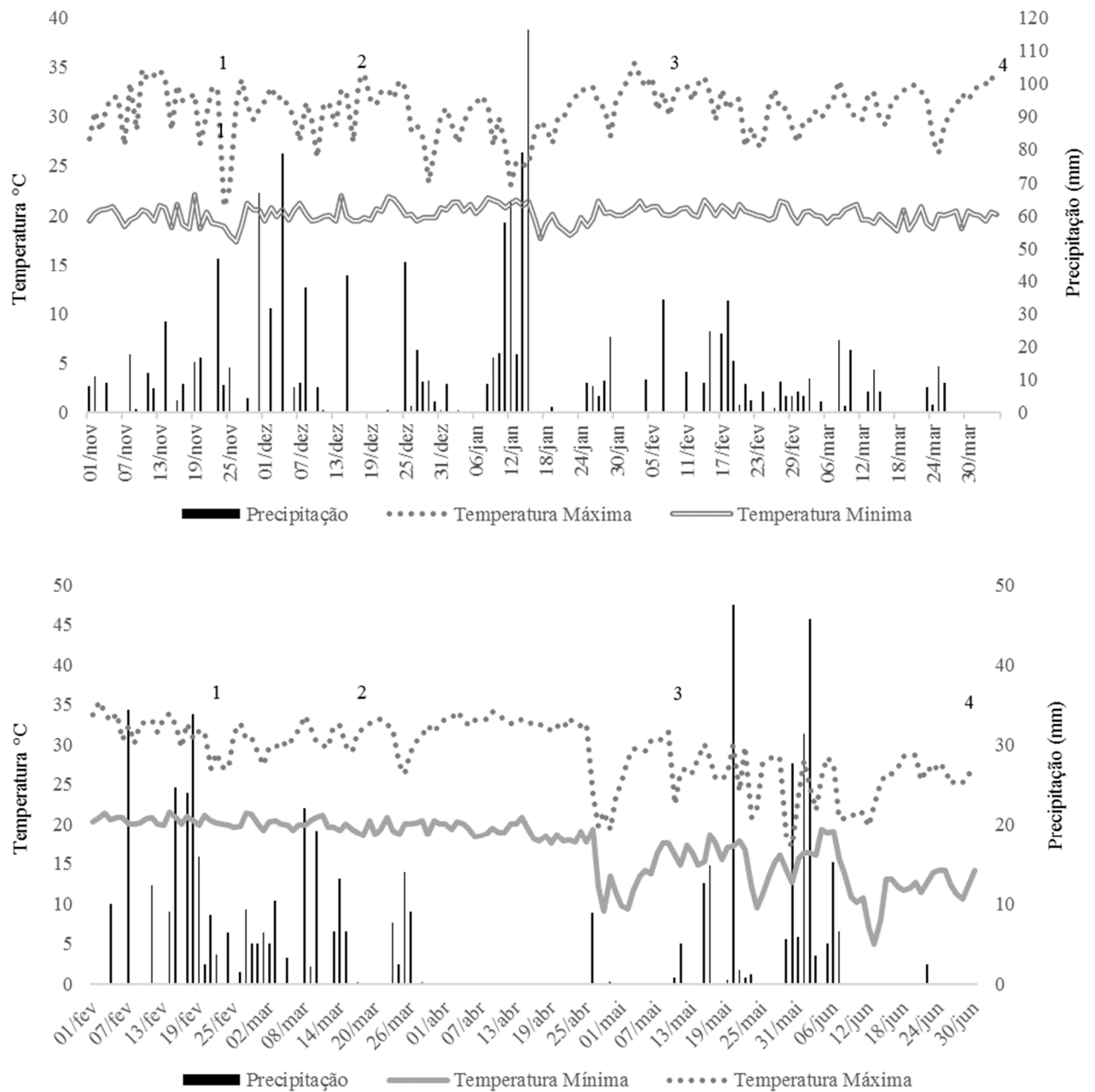


Figura 1. Dados diários de precipitação e temperatura do ar (máxima e mínima), durante o período de condução dos experimentos de primeira (A) e segunda (B) safras com fontes e doses de nitrogênio (Jaboticabal, SP, 2015/2016). 1. Semeadura do milho; 2. Aplicação do N em cobertura; 3. Avaliação do diâmetro de colmo, amostragem foliar e avaliação do índice relativo de clorofila (estádio fenológico R1); 4. Colheita e coleta de espigas para avaliações de produtividade de grãos e componentes da produção, respectivamente.

Os solos das áreas experimentais foram cultivados anteriormente com culturas anuais (milho, feijão e soja) por, no mínimo, 10 anos no sistema convencional de manejo físico do solo, com alguns períodos de pousio. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, textura argilosa, apresentando 528 g kg⁻¹ de argila, 188 g kg⁻¹ de silte e 284 g kg⁻¹ de areia, relevo com declividade de 6%, caracterizando-se como suave ondulado. Os atributos químicos do solo das áreas experimentais foram avaliados na camada de 0 a 0,20 m de profundidade, antes da instalação dos experimentos seguindo a metodologia de (Rajj et al., 2001), obtendo-se os valores da Tabela 1.

Tabela 1: Atributos químicos do solo na camada de 0 a 0,20 m, antes da instalação dos experimentos de primeira e segunda safras com fontes e doses de nitrogênio (Jaboticabal, SP, 2015/2016).

Atributos químicos ⁽¹⁾	Primeira safra ⁽²⁾	Segunda safra ⁽³⁾
pH (CaCl ₂)	5,8	5,6
P (mg dm ⁻³)	28	26
K (mmol cdm ⁻³)	2,8	2,3
Ca ²⁺ (mmolc dm ⁻³)	32	30
Mg ²⁺ (mmolc dm ⁻³)	13	10
CTC (mmolc dm ⁻³)	71	62
V%	68	68
M.O (g dm ⁻³)	19	16

⁽¹⁾ pH: potencial hidrogeniônico em CaCl₂; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; M.O: matéria orgânica. ⁽²⁾ primeira safra de milho; ⁽³⁾ segunda safra de milho (safrinha).

As datas de semeadura da primeira e da segunda safra, foram 23 de novembro de 2015 e 22 de fevereiro de 2016, em sistema de semeadura direta, com densidade populacional de 65.000 e 60.000 plantas ha⁻¹ respectivamente. Utilizaram-se os híbridos Dow 2B700 e Dow 2B660 na primeira e segunda safras, respectivamente, ambos de ciclo precoce, com arquitetura foliar semiereta, alta sanidade de colmo e destinado à produção de grãos.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 3x3+1, constituído pela combinação de três fontes de nitrogênio (ureia, nitrato de amônio e Haya®), três doses de N (70, 140 e 210 kg ha⁻¹) e um adicional sem adubação nitrogenada em cobertura. As parcelas foram compostas por

seis linhas de seis metros de comprimento espaçadas de 0,9 m entre si, com área total de 32,4 m², sendo as quatro linhas centrais consideradas como área útil e 1,0 m de bordadura.

Com base nos resultados da análise química de solo e nas recomendações de Rajj e Cantarella (1996), utilizou-se para adubação de base 350 kg ha⁻¹ do formulado 8-28-16 + 0,5% Zn. As adubações de cobertura foram efetuadas em 15/12/2015 na primeira safra e 16/03/2016 na segunda safra, no estádio V4, caracterizado pela presença da quarta folha completamente desenvolvida, com aplicação na superfície, em filete contínuo, a 10 cm de distância das plantas de milho. O fertilizante comercial Haya® (33-00-00 + cálcio 3% - carbonato de cálcio, enxofre 3% - enxofre elementar e boro 0,3% - ulexita) foi obtido por meio da compactação da ureia em pó, acrescentando nutrientes e aditivos inibidores da enzima urease e que atua no controle de liberação dos nutrientes, proveniente de um polímero acrílico e dureza de 3,5 kgf. Durante a adubação de cobertura e respectiva aplicação dos fertilizantes, foram adicionados nas fontes ureia e nitrato de amônio, os nutrientes Ca, S e B contidos no fertilizante Haya®, objetivando-se o balanceamento dos nutrientes.

Por ocasião do florescimento feminino (R1) foram realizadas medições do diâmetro do colmo no meio do segundo entrenó acima das raízes adventícias utilizando paquímetro. Nesse estádio fenológico foram realizadas leituras para avaliar o índice de clorofila na folha com o clorofilômetro digital SPAD – 502 Plus, coletando-se, em dez plantas, o terço central de dez folhas opostas e abaixo à primeira espiga, para análise foliar. Após a secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley, sendo determinado o teor de N, segundo método de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Por ocasião da maturidade fisiológica, foram coletadas em cada parcela, quatro subamostras de grãos para a determinação da massa de 1.000 grãos (umidade corrigida a 13%). A produtividade de grãos foi estimada na área útil de cada parcela por meio da colheita manual das espigas, debulha dos grãos e ajuste da umidade a 13%. A eficiência agronômica (kg kg⁻¹) foi determinada de acordo com o método descrito por Fageria e Baligar (2005), utilizando-se a fórmula $EA = (PG_{cf} - PG_{sf}) / (QNa)$, expressa em kg kg⁻¹, em que PG_{cf} = produção de grãos com fertilizante; PG_{sf} = produção de grãos sem fertilizante; e QNa = quantidade de N aplicado em kg.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico SISVAR 5.6 (Ferreira, 2011). Os dados foram submetidos a análise de variância utilizando-se o teste F ($p < 0,05$) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Na ocorrência do efeito das doses de N aplicadas em cobertura e da interação entre fontes x doses de N, serão aplicados os desdobramentos necessários e a análise de regressões polinomiais para avaliar o efeito das doses.

3. Resultados e Discussão

Os resultados referentes ao diâmetro de colmo nas duas safras, demonstraram efeito significativo para doses de N. Em contrapartida, os resultados de índice relativo de clorofila (IRC), teor de N na folha (TNF), massa de 1.000 grãos (M1000), produtividade de grãos (PG) e eficiência agrônômica (EA), apresentaram níveis de significância na interação de fontes x doses de N (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados referentes ao diâmetro de colmo (DC), índice relativo de clorofila (IRC), teor foliar de nitrogênio (TFN), massa de 1.000 grãos (M1000), produtividade de grãos (PG) e eficiência agrônômica (EA), na cultura do milho na primeira e segunda safras em função da adubação nitrogenada de cobertura, com fontes e doses de nitrogênio (Jaboticabal, SP, 2015/2016).

Tratamentos	DC		IRC		TFN		M1000		PG		EA	
	1ª Safra	2ª Safra	1ª Safra	2ª Safra	1ª Safra	2ª Safra	1ª Safra	2ª Safra	1ª Safra	2ª Safra	1ª Safra	2ª Safra
	--mm--		-		--g kg ⁻¹ --		--g--		--kg ha ⁻¹ --		--kg kg ⁻¹ --	
Fonte (F)												
Ureia	19,8	19,8	19,8 b	13,1 b	29,1 b	29,2 b	354,1 b	229,5 b	7.759 b	4.949 b	23,2 c	7,51 b
Haya®	19,9	19,6	23,0 a	15,3 a	35,0 a	31,7 a	423,2 a	263,1 a	9.746 a	5.737 a	41,6 a	13,42 a
Nitrato de Amônio	20,0	19,8	23,2 a	15,2 a	35,5 a	32,2 a	422,2 a	262,5 a	9.592 a	5.738 a	39,8 a	13,44 a
Teste F	0,14 ^{NS}	0,10 ^{NS}	13,83 ^{**}	30,18 ^{**}	107,66 ^{**}	22,96 ^{**}	82,19 ^{**}	97,04 ^{**}	63,72 ^{**}	72,41 ^{**}	57,95 ^{**}	181,13 ^{**}
Doses de N (D)												
0	17,4 b	17,9 b	17,1 d	10,95 c	24,5 d	21,75 c	332,7 d	211,5 d	4843 d	3945 d	-	-
70	19,5 a	20,4 a	20,4 c	15,98 b	34,2 c	32,95 b	405,1 c	224,4 c	9734 c	5137 c	69,5 a	17,0 a
140	20,3 a	20,5 a	23,4 b	16,62 a	36,8 b	34,13 a	468,8 b	266,4 b	10417 b	6196 b	39,3 b	16,0 a
210	20,9 a	20,4 a	27,2 a	17,66 a	38,8 a	35,42 a	492,9 a	304,0 a	11136 a	6619 a	29,6 c	12,7 b
Teste F	15,65 ^{**}	14,28 ^{**}	55,76 ^{**}	81,23 ^{**}	220,02 ^{**}	267,27 ^{**}	81,80 ^{**}	266,77 ^{**}	69,09 ^{**}	81,23 ^{**}	71,93 ^{**}	112,87 ^{**}
Regressão	L	Q	L	Q	Q	Q	Q	L	Q	Q	Q	Q
F x D	0,62 ^{NS}	0,22 ^{NS}	3,58 ^{**}	3,97 ^{**}	13,36 [*]	18,95 [*]	28,26 ^{**}	95,38 ^{**}	111,19 ^{**}	120,67 ^{**}	148,85 ^{**}	83,21 ^{**}
CV (%)	6,91	5,98	9,11	6,35	4,42	4,29	1,33	1,63	7,12	7,65	4,92	8,86

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% e 1%, respectivamente. ^{NS} Não significativo. * e ^{**} Significativo a 5% e 1%, respectivamente. Q (quadrático), L (Linear)

Para o diâmetro de colmo houve respostas lineares na primeira safra com incremento de N e ajustes quadráticos para segunda safra, com o maior diâmetro de colmo alcançado com a dose de 168,5 kg ha⁻¹ de N, independente da fonte utilizada (Figura 2 A e B). O N pode favorecer o crescimento do sistema radicular, proporcionando à planta condições para melhorar a absorção de água e nutrientes, com reflexo positivo na formação de estruturas de sustentação como os colmos (Lana et al., 2014).

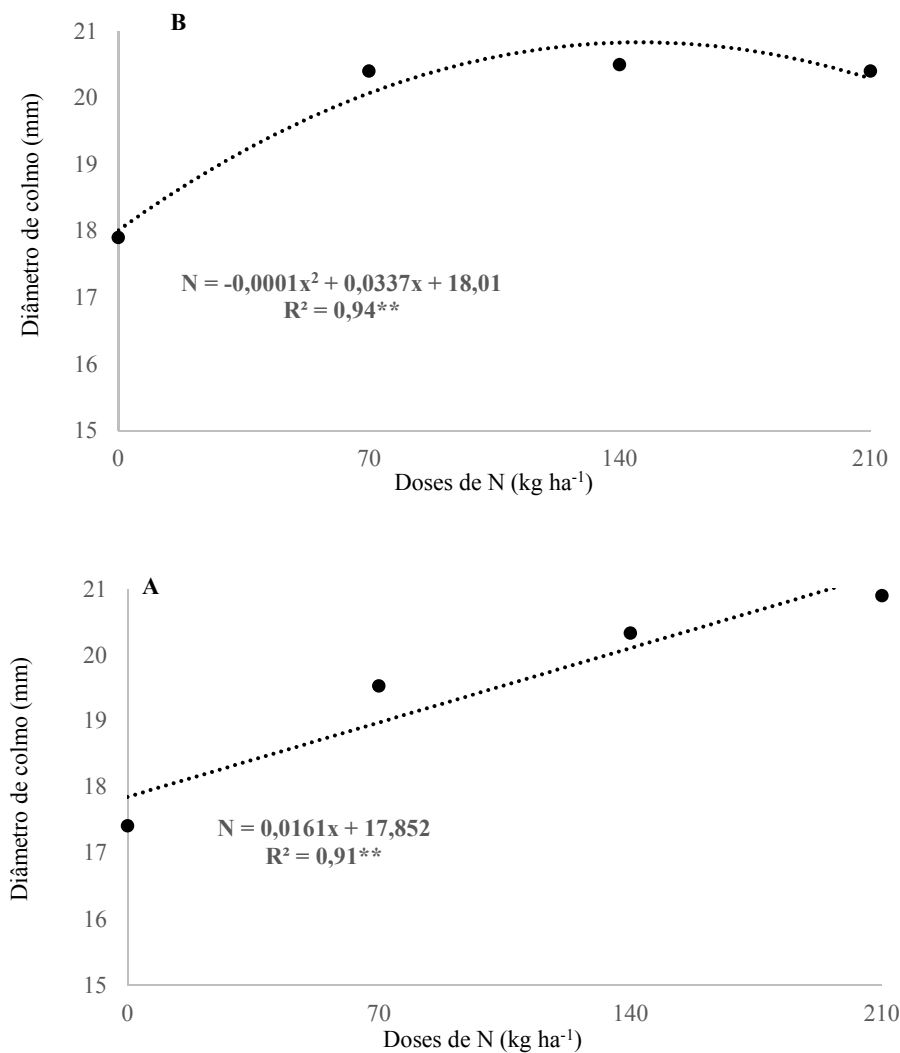


Figura 2. Diâmetro de colmo na primeira (A) e segunda (B) safras em função da adubação nitrogenada de cobertura, com fontes e doses de nitrogênio (Jaboticabal, SP, 2015/2016).

Os resultados de índice relativo de clorofila (IRC), demonstraram interação fontes x doses de N, com aumento linear na primeira safra e quadrático na segunda (Figura 3 A e B). Os maiores valores de IRC na segunda safra foram 18,7 com 126,1 kg ha⁻¹ de N, 17,3 com 122,7 kg ha⁻¹ de N e 13,8 com 168,5 kg ha⁻¹ de N, com Haya®, nitrato de amônio e ureia, respectivamente. O IRC vem sendo considerado melhor indicador do nível de N do que o teor desse nutriente na folha, sendo pouco sensível ao consumo de luxo de N (Mota et al., 2015). Em razão da sua alta relação com o rendimento de grãos, a determinação do IRC tem sido usada para prever a necessidade de adubação nitrogenada em cobertura em várias culturas. A literatura tem mostrado que o IRC, apesar de não definir a quantidade de N a ser aplicado, essa informação traça um diagnóstico de forma rápida da necessidade de N pela cultura no campo. De acordo com Mota et al. (2015) os índices de leitura no clorofilômetro durante o estágio R1 (florescimento feminino) como nível adequado de N, é de 58, independentemente do híbrido usado, quando se almeja elevado potencial de produtividade de grãos. Nesse trabalho, foram encontrados valores inferiores, independentemente das fontes de N utilizadas, podendo ser em função do estágio fenológico que foi realizada a avaliação.

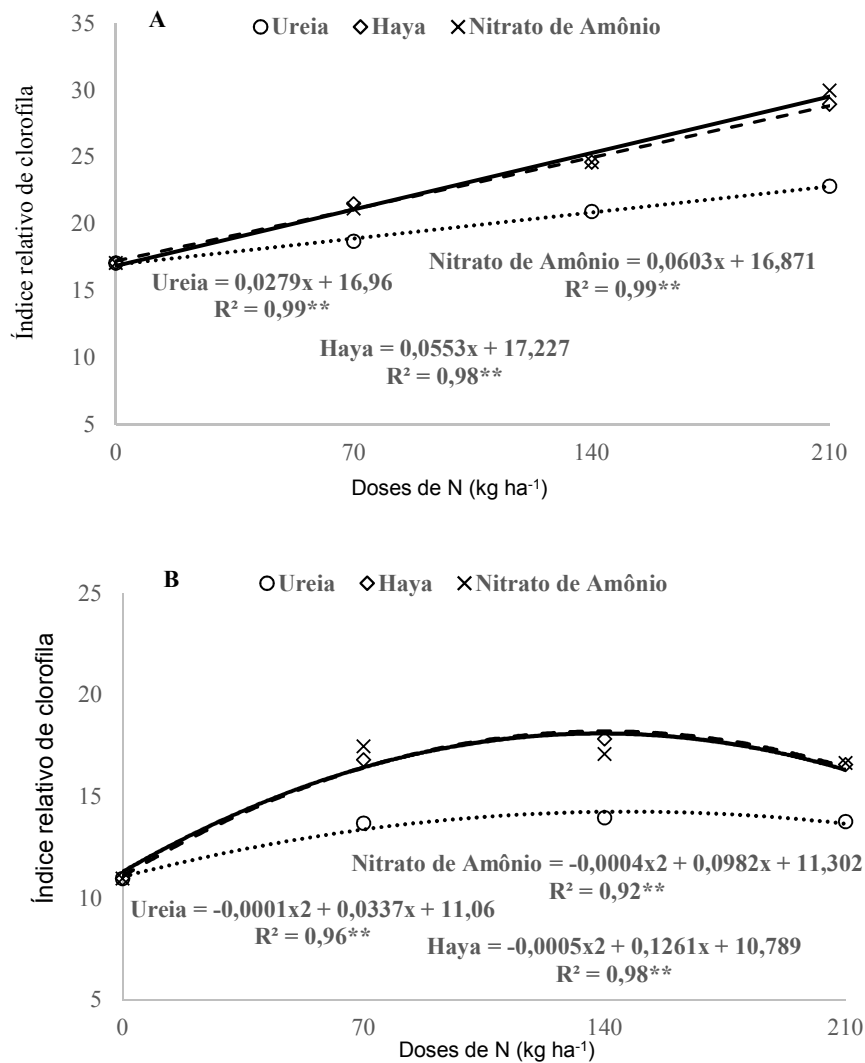


Figura 3. Índice relativo de clorofila na primeira (A) e segunda (B) safras, em função da adubação nitrogenada de cobertura, com fontes e doses de nitrogênio (Jaboticabal, SP, 2015/2016).

Os teores de N na folha nas duas safras, apresentaram influência da interação de fontes x doses de N, com vantagens para o Haya® e o nitrato de amônio em comparação à ureia (Figura 4 A e B). Na primeira safra, os teores máximos de N no tecido foliar foram de 41,6 g kg⁻¹ com 166,3 kg ha⁻¹ de N e 42,6 g kg⁻¹ com 187 kg ha⁻¹ de N via Haya® e nitrato de amônio, respectivamente. Na segunda safra, os teores máximos de N no tecido foliar foram de 37 g kg⁻¹ com 143,6 kg ha⁻¹ de N e 38,5 g kg⁻¹ com 161 kg ha⁻¹ de N via Haya® e nitrato de amônio, respectivamente. As doses de ureia afetaram linearmente os teores de N na folha do milho, não atingindo o ponto de

máxima nas duas safras. Resultados semelhantes foram encontrados por Kappes et al. (2014) e Portugal et al. (2017). No entanto, deve-se destacar que os valores encontrados para N na folha na presente pesquisa, estão dentro da faixa de suficiência preconizada por Catarella, Raij e Camargo (1996) que varia de 27 a 35 g kg⁻¹, com exceção para os tratamentos com ausência do nutriente.

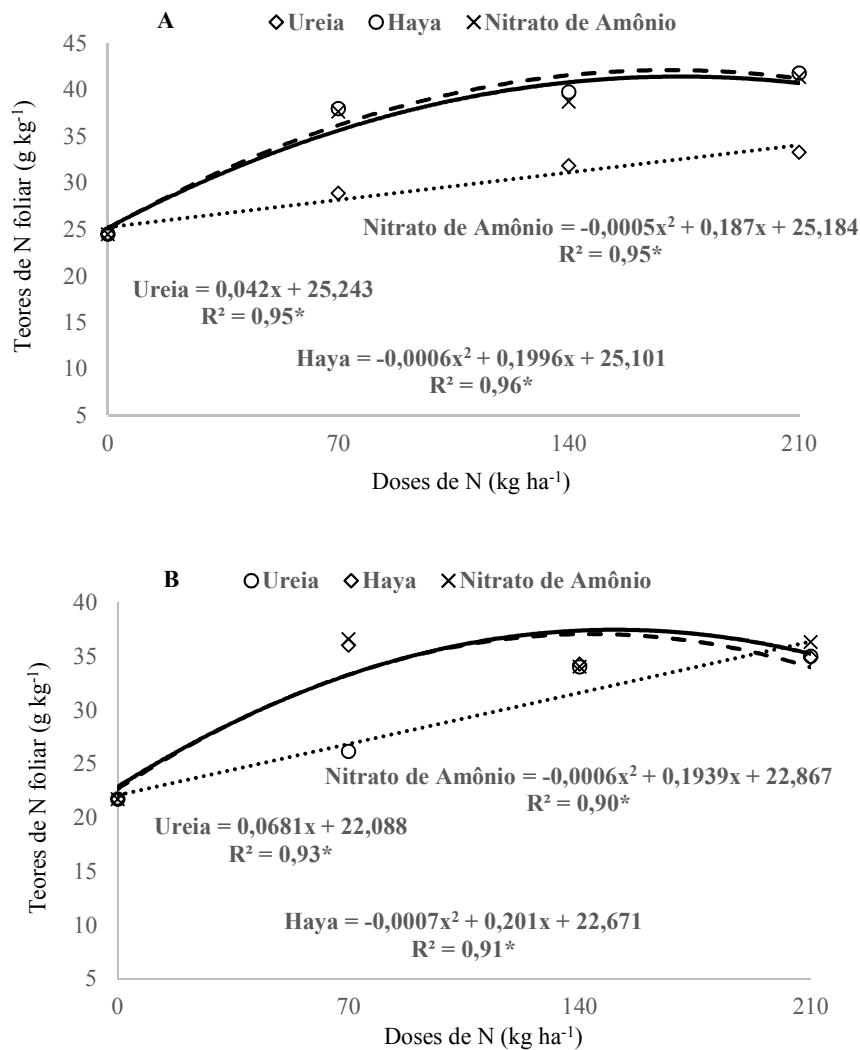


Figura 4. Teores de N foliar na primeira (A) e segunda (B) safras, em função da adubação nitrogenada de cobertura, com fontes e doses de nitrogênio (Jaboticabal, SP, 2015/2016).

A massa de 1.000 grãos (M1000) na primeira e segunda safra, foi influenciada pela interação fontes x doses de N, com vantagens para as fontes Haya® e nitrato de amônio (Figura 5 A e B). Na primeira safra, a maior massa de 1.000 grãos (532,8 g)

foi obtida com 182,3 kg ha⁻¹ de N via Haya®, diferindo estatisticamente da ureia com um incremento de 20% a mais em peso de grãos. O nitrato de amônio incrementou 17,8% no peso de grãos comparativamente com a ureia, com dose máxima de 191,7 kg ha⁻¹ de N para a massa de 1.000 grãos de 518,3 g. As fontes Haya® e nitrato de amônio não diferiram entre si. Os resultados da segunda safra, apresentaram efeitos lineares para a massa de 1.000 grãos com o aumento do N em todas as fontes. Uma possível explicação é o maior aproveitamento do N oriundo das fontes Haya® e nitrato de amônio, elevando os índices de clorofila das folhas (Figura 3 A e B), o que se relaciona com maior taxa fotossintética, permitindo-lhe influenciar no número de espiguetas e produzir grãos mais pesados por espiga (Mota et al., 2015). Além disso, doses altas de N mantêm as folhas fisiologicamente ativas por mais tempo, prolongando a duração do período de enchimento de grãos e favorecendo a produção de grãos mais pesados (Kappes et al., 2014). Os fertilizantes revestidos por polímeros garantem melhor sincronia na liberação do N para a solução do solo, contribuindo para a maior absorção e conseqüentemente elevação na taxa de utilização pelas culturas (Tmilena et al., 2014; Naz & Sulaiman, 2016).

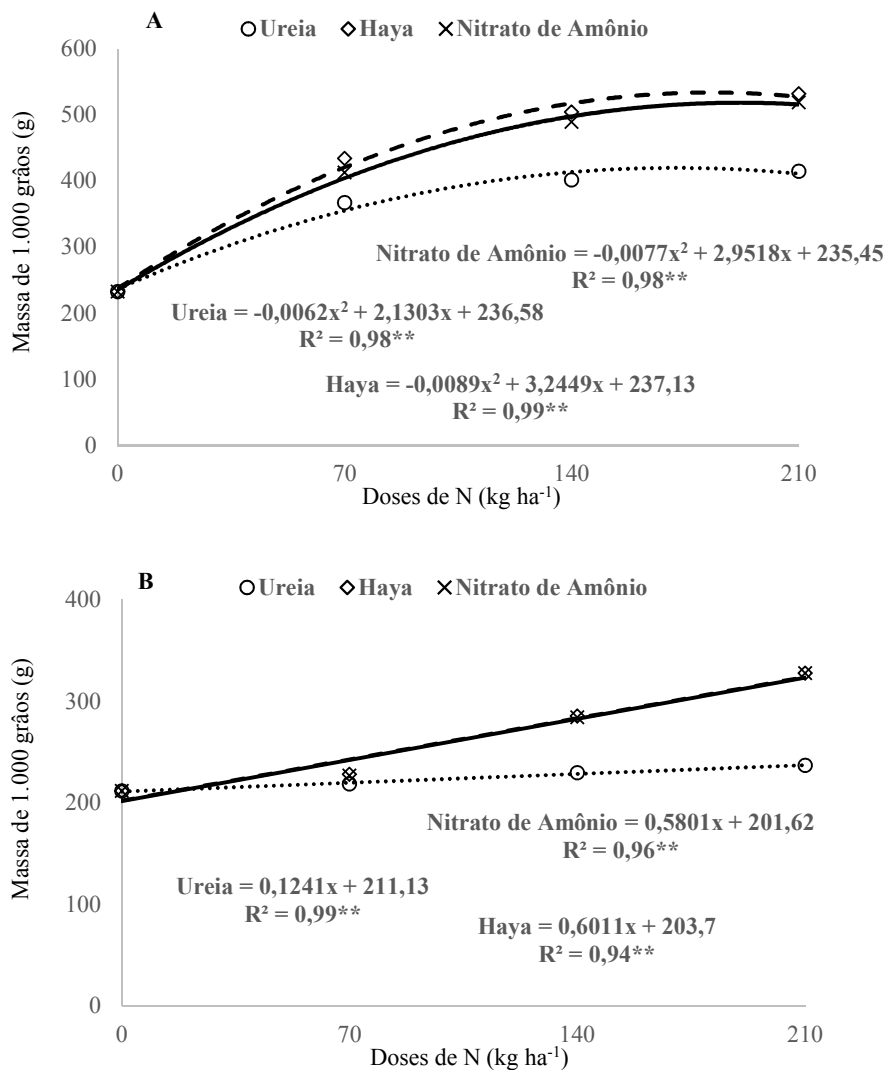


Figura 5. Massa de 1.000 grãos primeira (A) e segunda (B) safras, em função da adubação nitrogenada de cobertura, com fontes e doses de nitrogênio (Jaboticabal, SP, 2015/2016).

A produtividade de grãos de milho foi influenciada pelas doses de N em todas as fontes estudadas (Figura 6 A e B). Na primeira safra, as fontes Haya® e nitrato de amônio proporcionaram produtividades maiores em relação à ureia em todas as doses testadas, em todas as fontes os dados se ajustaram melhor ao modelo quadrático. A produtividade máxima obtida com as fontes Haya®, nitrato de amônio e ureia foram 12.297; 12.088 e 9.473 kg ha⁻¹ nas doses de 161; 168 e 195 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Na segunda safra os resultados se ajustaram ao modelo quadrático para as fontes Haya® e nitrato de amônio e linear para ureia.

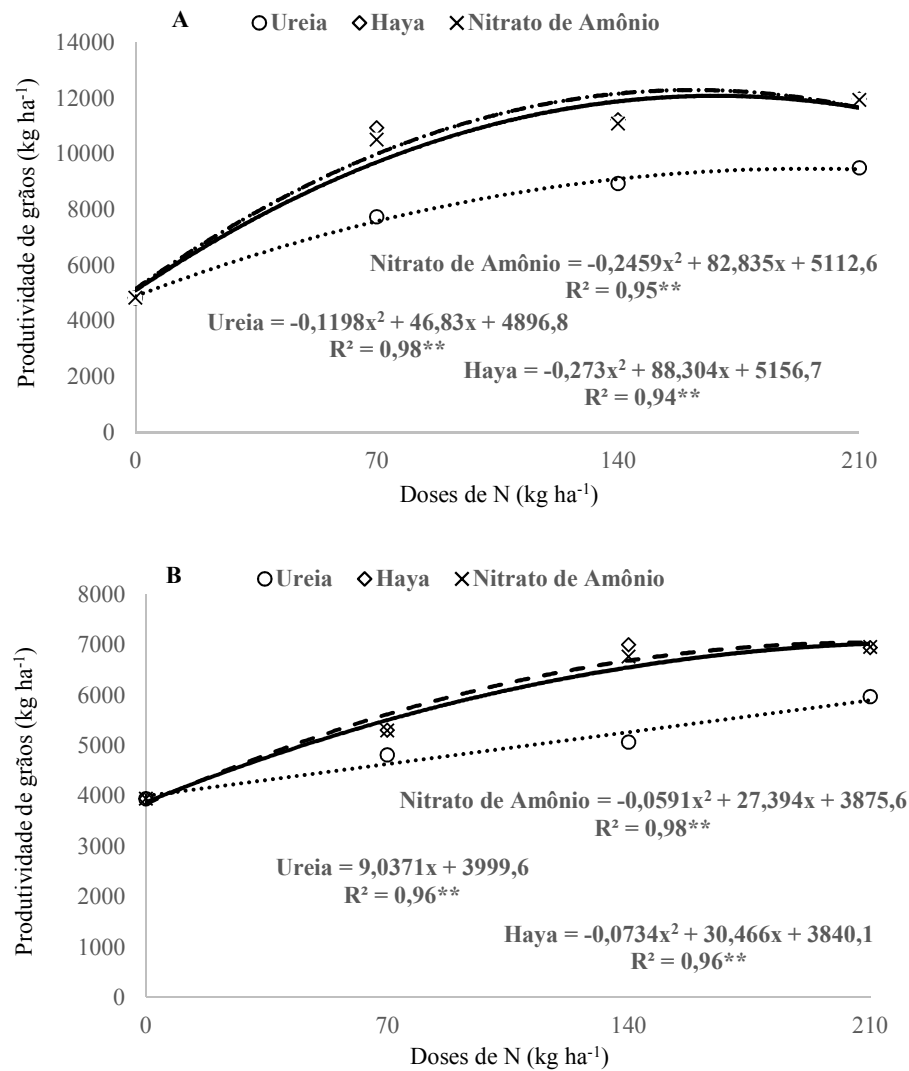


Figura 6. Produtividade de grãos primeira (A) e segunda (B) safras, em função da adubação nitrogenada de cobertura, com fontes e doses de nitrogênio (Jaboticabal, SP, 2015/2016).

Nesse sentido, a utilização de ureia compactada com aditivos inibidores de urease e polímeros Haya® e o nitrato de amônio, podem ter favorecido a obtenção de maiores produtividades comparadas à ureia convencional, em função da redução de perdas de N por volatilização e lixiviação e conseqüentemente, na maior disponibilidade desse nutriente para a cultura no decorrer do ciclo. Esses resultados também podem ser explicados pelos dados climáticos (Figura 1 A e B). Na primeira safra, após a cobertura com as fontes de N, ocorreu precipitação de 41 mm que provavelmente promoveu a dissolução total dos grânulos dos fertilizantes ureia e

nitrate de amônio, favorecendo a absorção do N pelas plantas de milho e possíveis perdas por lixiviação do N. Em contra partida, o fertilizante compactado com aditivos Haya®, promoveu melhor controle na liberação do N do grânulo de fertilizante para a solução do solo, diminuindo as possíveis perdas por lixiviação. Na segunda safra, ocorreu precipitação de 14 mm para incorporar o N, somente nove dias após a cobertura de N, justificando a melhor eficiência do Haya® e do nitrate de amônio em função das menores perdas por volatilização em comparação a ureia. Resultados semelhantes, foram encontrados por Frazão et al. (2014), avaliando fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho.

A eficiência agrônômica de uso do N (EA) na primeira e segunda safras, foram influenciadas pela interação de fontes x doses de N, apresentando redução com a elevação da quantidade de N aplicada em cobertura (Figura 7 A e B). Esses resultados corroboram com Farinelli et al. (2012), que verificaram a diminuição dos valores de (EA) com o aumento de doses de N aplicadas, em vista do suprimento de N exceder as necessidades da cultura do milho. Mota et al. (2015) testando a eficiência de fontes estabilizadas de adubação nitrogenada na redução de perdas de N na forma de nitrate, também relataram a redução na (EA) com o aumento da dose aplicada, em sintonia com a lei dos rendimentos decrescentes. Sangoi et al. (2015), utilizando doses elevadas de N (até 420 kg ha⁻¹), também observaram decréscimo na eficiência agrônômica com o incremento das doses de N. Na primeira e segunda safras, os fertilizantes Haya® e nitrate de amônio estatisticamente foram idênticos, diferindo da ureia. Uma possível explicação, seria o maior aproveitamento do N pelas plantas de milho, já que além das menores perdas de amônia proporcionadas pelo Haya® e nitrate de amônio, o fertilizante compactado disponibiliza N de forma mais lenta, melhorando a sincronia e dinâmica de liberação no solo (Naz & Sulaiman, 2016).

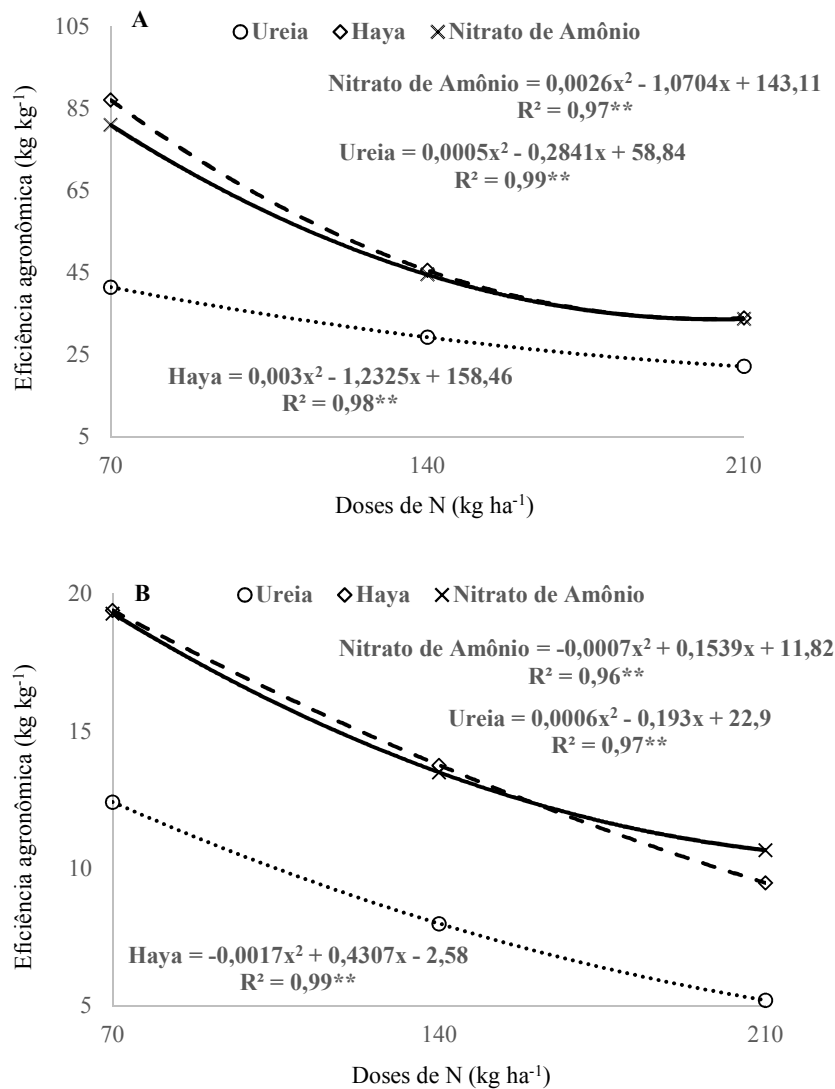


Figura 7. Eficiência agrônômica primeira (A) e segunda (B) safras, em função da adubação nitrogenada de cobertura, com fontes e doses de nitrogênio (Jaboticabal, SP, 2015/2016).

Os resultados de índice relativo de clorofila, teores de N foliar, massa de 1.000 grãos, produtividade de grãos e eficiência agrônômica corroboraram a argumentação de que as perdas e eficiência de N foram distintas entre as fontes avaliadas nesse trabalho. Portanto, a eficiência aumentada do fertilizante compactado com aditivos e polímeros em relação a ureia, permite sugerir como alternativa para substituir agronomicamente o nitrato de amônio em sistemas de produção com a cultura do milho na primeira e na segunda safras.

4. Conclusões

1. O aumento das doses de N aplicadas em cobertura, independentemente da fonte utilizada, promoveu acréscimos no desempenho agrônômico da cultura do milho na primeira e segunda safras.
2. A produtividade máxima de grãos foi obtida na primeira safra, 12.297, 12.088 e 9.473 kg ha⁻¹, quando utilizadas as fontes Haya®, nitrato de amônio e ureia, nas doses de 161, 168 e 195 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.
3. Na primeira e na segunda safras, em todas as doses de N, ocorreu maior eficiência agrônômica para a fonte de N compactada com aditivos e polímeros e o nitrato de amônio em relação a ureia. Contudo, as maiores eficiências ocorreram na dose de 70 kg ha⁻¹, independentemente da fonte de N e das safras.

5. Referências

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos (2018) **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. Disponível em: <http://www.anda.org.br/>. Acesso em: 17 de julho de 2018.

Campos OR, Mattiello EM, Cantarutti RB, Vergutz L (2017) Nitrogen release from urea with different coatings or urease inhibitor. **Journal of the Science of Food And Agriculture**, 000:000-00.

Cantarella H, Raij BV, Camargo CEO (1996) Cereais. In: Raij BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, IAC. p. 45-47.

Cantarella H, Trivelin PCO, Contin TLM, DIAS FLF, Rossetto R, Marcelino R, Coimbra RB, Quaggio JA (2008) Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, 65:397-401.

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2018) **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, sétimo levantamento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 15 de julho de 2018.

Guelfi D (2017) Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. IPNI, **Informações Agronômicas**, 157:1-14.

Farinelli R, Lemos LB (2012) Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 42:63-70.

Fageria, NK, Baligar, VC (2005) Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, 88: 97-185.

Ferreira DF (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, 35:1039-1042.

Frazão JJ, Silva AR, Silva VL, Oliveira VA, Corrêa RS (2014) Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, 18:1262–1267.

IFA - **International Fertilizer Industry Association** (2018). Disponível em: <http://www.fertilizer.org/>. Acesso em: 10 de junho de 2018.

Kappes C, Arf O, Dal Bem AE, Portugal JR, Gonzaga AR (2014) Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 13:201-217.

Lana MC, Rampim L, Ohland T, Fávero F (2014) Spacing, population density and nitrogen fertilization in corn grown in a Oxisol. **Revista Ceres**, 61:424-433.

Malavolta E, Vitti GC, Oliveira AS (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. **Potafos**, 2: 148-241.

Mota MR, Sangoi L, Schenatto DE, Giordani W, Boniatti CM, Dall'igna L (2015) Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 39:512-522.

Naz MY, Sulaiman AS (2016) Slow release coatine remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. **Journal of controlled release**, 225:109-120.

Portugal JR, Arf O, Peres AR, Gitti DDC, Garcia NFS (2017) Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *azospirillum brasilense* em milho no cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, 48:639-649.

Raij B van, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001). **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. IAC, 285.

Raij BV, Cantarella H (1996) Milho para grãos e silagem. In: Raij BV, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. IAC, 56-59.

Ruser R, Schulz R (2015) The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N₂O) release from agricultural soils – a review. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 178:171-178.

Sangoi L, Silva LMM, Mota MR, Panison F, Schmitt A, Souza NM, Giordani W, Schenatto DE (2015) Desempenho agrônômico do milho em razão do tratamento de sementes com *Azospirillum* sp. e da aplicação de doses de nitrogênio mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39:1141-1150.

Sanz-Cobena A, Misselbrook T, Camp VVallejoA (2011) Effect of water addition and the urease inhibitor NBPT on the abatement of ammonia emission from surface applied urea. **Atmospheric Environment**, 45:1517-1524.

Silva AGB, Sequeira CH, Sermarini RA, Otto R (2017) Urease inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: A meta-analysis. **Agronomy Journal**, 109:1-13.

Timilsena YP, Adhikari R, Casey P, Muster T, Gill H, Adhi-Kari B (2014) Enhanced efficiency fertilizers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 95:1131-1142.