

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
MESTRADO PROFISSIONAL EM DESENVOLVIMENTO RURAL
DA UNIVERSIDADE DE CRUZ ALTA**



Júlio Alfredo Linck

**PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO SOB DIFERENTES
FONTES DE NITROGÊNIO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso

CRUZ ALTA- RS, 2015

Júlio Alfredo Linck

**PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO SOB DIFERENTES
FONTES DE NITROGÊNIO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Curso de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural, da Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Rural.

Orientador: Jackson Ernani Fiorin

Cruz Alta – RS, Novembro2015

Universidade de Cruz Alta – UNICRUZ

Curso de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural

**PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO SOB DIFERENTES
FONTES DE NITROGÊNIO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Elaborado por

Júlio AlfredoLinck

Como requisito final para aprovação no Curso de
Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Jackson Ernani Fiorin – Orientador _____ UNICRUZ

Prof. Dr. Luciano Zucuni Pês _____ UFSM

Prof. Dr. Rafael PivottoBortolotto _____ UNICRUZ

Cruz Alta, 17 de Dezembro de 2015

Dedico este trabalho a minha mãe, pois se não fosse por ela, nenhuma palavra teria sido escrita.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me dar forças nos momentos difíceis.

À minha família por me dar apoio incondicional.

À minha esposa por sempre me incentivar.

À minha irmã Isaura pelas discussões, sugestões e correções feitas no decorrer desta tese.

Ao meu orientador Jackson Ernani Fiorin pela oportunidade dada e pelo tempo por ele disposto.

RESUMO

PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE MILHO SOB DIFERENTES FONTES DE NITROGÊNIO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

Autor: Júlio Alfredo Linck

Orientador: Prof. Dr. Jackson Ermani Fiorin

No Brasil, a ureia corresponde a 60% dos fertilizantes nitrogenados comercializados. Do ponto de vista agrícola, a ureia apresenta algumas vantagens tais como menor preço por unidade de N, alta concentração de N, entretanto, apresenta a desvantagem da possibilidade de altas perdas de N por volatilização de NH_3 , dependendo das condições de solo e do método de aplicação do fertilizante. No mercado brasileiro existem fertilizantes nitrogenados desenvolvidos com tecnologias que minimizam as perdas por volatilização e proporcionem o uso racional da adubação nitrogenada. Em vista da importância da cultura do milho dentro do contexto das cadeias produtivas, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agrônômica de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob plantio direto. Foram conduzidos a campo dois experimentos com a cultura do milho no ano agrícola de 2013/2014, em Cruz Alta, RS. Os tratamentos foram constituídos por diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados: T1. Ureia Comum (45%); T2. Super N (45%): Fertilizante comercial obtido a partir de ureia + inibidor de uréase; T3. Ureia PDQ (45%): Fertilizante comercial obtido a partir de ureia + inibidor de uréase (NBPT); T4. SULFAMMO (29%): Fertilizante comercial de liberação gradual; T5. Polyblen (50% ureia PDQ + 50% Producote 39-00-00: fertilizante de liberação gradual por revestimento físico do grânulo). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 5 repetições. Os fertilizantes foram aplicados na adubação nitrogenada em cobertura à lanço, em superfície e sem incorporação, em uma única aplicação, entre os estádios V4 e V6 da cultura do milho. Em condições de boa disponibilidade hídrica (Experimento 1), não houve diferença estatística entre as fontes de fertilizantes nitrogenados. Em condições climáticas de baixa disponibilidade hídrica (Experimento 2), os fertilizantes nitrogenados com inibidor de uréase (NBPT), de forma isolada ou associada à liberação controlada ou gradual por revestimento físico do grânulo, apresentaram as maiores produtividades. As menores produtividades foram observadas na utilização da ureia comum e do Sulfammo. O Sulfammo tem o princípio de liberação lenta e/ou gradual obtido pela composição física do grânulo, em que a liberação do N somente será possível com a ocorrência de precipitação pluviométrica. No caso deste cultivo, a quantidade de precipitação após a aplicação do Sulfammo foi muito reduzida, atrasando a liberação do N em relação à época de maior demanda para a cultura do milho, resultando em menores produtividades. O posicionamento da época de aplicação do Sulfammo, segundo a empresa que disponibiliza esta tecnologia, deve ser antecipadamente a época em que usa-se normalmente as demais fontes. Neste caso, sugere-se que nova pesquisa seja conduzida para avaliar melhor o posicionamento do Sulfammo.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilizantes, adubação nitrogenada, volatilização

ABSTRACT

CORN UNDER GRAIN PRODUCTIVITY IN DIFFERENT NITROGEN SOURCES OF PLANTING SYSTEM DIRECT

Author : Julio Alfredo Linck

Advisor: Prof. Dr. Jackson Ernani Fiorin

In Brazil, the urea corresponds to 60% of traded nitrogen fertilizer. From the agricultural point of view, urea has certain advantages such as lower price per unit N, a high concentration of N, however, presents the disadvantage of high losses by volatilization of NH_3 , depending on the soil conditions and the method application of the fertilizer. In the Brazilian market there are nitrogen fertilizers developed with technologies that minimize losses by evaporation and provide the rational use of nitrogen fertilizer. Because of the importance of maize in the context of supply chains, the aim of this study was to evaluate the agronomic efficiency of different sources of nitrogen fertilizers in corn under no-tillage crop. They conducted two experiments to field with the corn crop in the agricultural year 2013/2014, in Cruz Alta, RS. The treatments consisted of different sources of nitrogen fertilizers: T1. Common Urea (45%); T2. Super N (45%): Commercial fertilizer obtained from urea + urease inhibitor; T3. PDQ urea (45%): commercial fertilizer made from urea + urease inhibitor (NBPT); T4. SULFAMMO (29%): Commercial gradual release fertilizer; T5. Polyblen (50% urea PDQ + 50% Producote 39-00-00: gradually release fertilizer per physical coating bead). The experimental design was randomized blocks, with five repetitions. The fertilizers were applied in nitrogen fertilization to haul in surface and without incorporation, in a single application, between V4 and V6 stages of corn. In conditions of good water supply (Experiment 1), there was no statistical difference between the sources of nitrogen fertilizers. Under climatic conditions of low water availability (Experiment 2), nitrogenous fertilizers with urease inhibitor (NBPT), alone or associated with controlled release or by gradual physical coating bead, presented the highest yields. The lower yields were observed in the use of common urea and Sulfammo. The Sulfammo has the principle of slow-release and / or gradual obtained by the physical composition of the bead, in which the release of N will only be possible with the occurrence of rainfall. In the case of this crop, the amount of rainfall after application of Sulfammo was greatly reduced, delaying the release of N with respect to time of greater demand for corn, resulting in lower yields. The positioning of the Sulfammo time of application, the company that provides the technology, should be advance the time that is usually used other sources. In this case, it is suggested that new search is conducted to further evaluate the position of the Sulfammo.

KEYWORDS : fertilizers , nitrogen fertilization , volatilization

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Precipitação pluviométrica diária e acumulada ocorrida ao longo do ciclo da cultura do milho conduzidos na área experimental da CCGL (Experimento 1) e do Curso de Agronomia da UNICRUZ (Experimento 2). UNICRUZ, Cruz Alta, RS, 2014..... 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Produtividade de grãos (kg ha^{-1}), massa de 100 sementes (MCS), número de plantas e espigas por hectare, teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro no tecido vegetal, em resposta às diferentes fontes de nitrogênio em milho 2013/2014 (1º cultivo). UNICRUZ. Cruz Alta, RS. 2014..... 35

Tabela 02 – Produtividade de grãos (kg ha^{-1}), massa de 100 sementes (MCS), número de plantas e espigas por hectare, teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro no tecido vegetal, em resposta às diferentes fontes de nitrogênio em milho 2013/2014 (2º cultivo). UNICRUZ. Cruz Alta, RS. 2014..... 36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISAO DE LITERATURA	13
2.1 A Cultura do Milho	13
2.2 Importância e Exigência do Nitrogênio no Milho	14
2.3 Transformações do Nitrogênio no solo	16
2.3.1 Mineralização	17
2.3.2 Nitrificação	18
2.3.3 Desnitrificação.....	19
2.3.4 Imobilização	20
2.3.5 Volatilização.....	20
2.3.6 Lixiviação	21
2.4 Manejo da Adubação Nitrogenada no Milho	22
2.5 Fontes de Fertilizantes Nitrogenados	25
2.5.1 Fertilizantes Nitrogenados mais Eficientes	28
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5 CONCLUSÃO.....	37
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o nutriente mineral exigido em maior quantidade pelo milho, e frequentemente, o seu manejo incorreto tem sido apontado como um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade. No Brasil, a ureia corresponde a 60% dos fertilizantes nitrogenados comercializados. Há uma clara preferência pela fabricação da ureia em comparação com outras fontes de N devido ao menor custo e maior facilidade de produção. Do ponto de vista agrícola, a ureia apresenta vantagens de menor preço por unidade de N, alta concentração de N, que reduz o custo de transporte e da aplicação, entre outros. Porém apresenta como principal desvantagem a possibilidade de altas perdas de N por volatilização de NH_3 , dependendo das condições de solo e do método de aplicação do fertilizante.

Dentro desse contexto surge a possibilidade de usar tecnologias que reduzam as perdas a partir do uso de inibidores da enzima urease, importantes quando as condições são favoráveis à volatilização. Adicional a isso, têm sido empregados mecanismos de liberação gradual de N nos fertilizantes, que através de polímeros para o revestimento dos grânulos ou outros mecanismos, procuram manter o N por um maior período de tempo na forma amídica, reduzindo as perdas por volatilização da amônia ou que podem tornar a disponibilidade do nutriente à cultura menos dependente de condições ambientais favoráveis após a aplicação.

No mercado brasileiro já existem fertilizantes nitrogenados desenvolvidos por diferentes empresas que contem os chamados inibidores de urease, bem como fontes de liberação lenta de N. Em vista da importância da cultura do milho dentro do contexto das cadeias produtivas, a Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ) através do seu Curso de Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural, em parceria com Centro de Experimentação e Pesquisa do Sistema Cooperativo do Rio Grande do Sul (CCGL TEC), se empenharam em validar tecnologias que proporcionem uso racional da adubação nitrogenada.

Em âmbito nacional, devido à carência de estudos específicos, tornam-se pertinentes novas pesquisas que enfoquem a utilização de fertilizantes nitrogenados com mínimas perdas por volatilização, garantindo maior eficiência e competitividade na atividade agrícola.

Baseado nisso, a hipótese é que esses fertilizantes são mais eficientes, por minimizar as perdas por volatilização. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agrônômica de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob sistema plantio direto, além de avaliar a produtividade de milho com a utilização de diferentes fontes nitrogenadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Cultura do Milho

O milho é o cereal de maior volume de produção no mundo, com aproximadamente 960 milhões de toneladas. Os países maiores produtores de milho são os Estados Unidos, China, Brasil e Argentina, representando 70% da produção mundial (PEIXOTO, 2014). Dentro deste cenário, o Brasil, com uma área cultivada com milho de 15,12 milhões de hectares e produção de 82 milhões de toneladas, é hoje um país estratégico, pois, é o terceiro maior produtor e o segundo maior exportador mundial de milho.

Com o desafio que teremos, de alimentar o mundo de hoje, com uma população mundial de 7 bilhões de pessoas e, que em 2050 superará a 9 bilhões, o milho será ainda mais importante dentro desta estratégia. A demanda por alimentos crescerá 20% nos próximos 10 anos, e o Brasil será responsável por atender 40% desta demanda. Esta estratégia considerará, além do aumento populacional, a escassez de terras, os riscos inerentes a atividade, como as variações climáticas e, conseqüentemente, o uso de tecnologia e de práticas de manejo que permitam colher mais por área, ou seja, aumentar a produtividade (PEIXOTO, 2014).

Na safra 12/13, a média brasileira de milho foi de 5.400 kg ha⁻¹, considerada baixa em comparação com outros países como os Estados Unidos (PEIXOTO, 2014). Porém, segundo o autor, considerando a média de 10 anos atrás, cerca de 3.400 kg ha⁻¹, o Brasil vem mantendo uma taxa de crescimento de produtividade na ordem de 5% ao ano. Este crescimento é muito superior à própria soja, que neste mesmo período aumentou a produtividade numa taxa de 1,6% a 1,8% ao ano. Em dez anos ou pouco mais, o Brasil saiu de uma produção de milho de 35 milhões de toneladas, numa área de plantio aproximada de 12,3 milhões de hectares, para mais de 82 milhões de toneladas em 15,12 milhões de hectares (PEIXOTO, 2014). A área cultivada com milho aumentou em 30% e a produção em mais de 200%. Estes são números incontestáveis que demonstram o grande crescimento da qualidade tecnológica da cultura do milho no Brasil.

Segundo Cruz (s/d) as tendências tecnológicas frente à sustentabilidade são que o forte incremento da produtividade do milho é conseqüência do maior uso do sistema plantio direto, da correção e da fertilização adequada do solo (agricultura de precisão), fixação biológica de N (*Azospirillum* ssp.), utilização de recentes fertilizantes foliares (nanopartículas

de óxidos), do manejo integrado de plantas invasoras, doenças e pragas, da adoção de sementes geneticamente modificadas (GMs).

2.2 Importância e Exigência do Nitrogênio no Milho

O N está presente em compostos nitrogenados importantes, como as bases nitrogenadas (purinas e pirimidinas), os ácidos nucleicos (DNA e RNA), que perfazem cerca de 10% do total do N na planta, além de ser constituinte dos aminoácidos livres e protéicos. Outras formas amino solúveis chegam a compor 5% do N das plantas. A fração presente como NH_3^- e NH_4^+ geralmente representa baixa porcentagem (MENGEL; KIRKBY, 1987).

A exigência de N pelas plantas é consequência da sua função estrutural, pois ela faz parte da molécula de compostos orgânicos, como os aminoácidos e proteínas, sendo ainda ativador de muitas enzimas. O vegetal também depende do N para realização de um ou mais processos vitais da planta, como síntese de proteína, absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MALAVOLTA, 2006). O N é um nutriente que está relacionado aos mais importantes processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, tais como fotossíntese, respiração desenvolvimento e atividade das raízes, absorção iônica de outros nutrientes, crescimento, diferenciação celular e genética.

Por ter essas características, o N é o elemento que causa maiores efeitos no aumento de produção da cultura do milho, conforme comprovado por ARAÚJO *et al.* (2004) e DUETE *et al.* (2008). Além do seu efeito sobre a produtividade, o N interfere em diversas outras características da planta relacionadas ao crescimento e desenvolvimento, as quais, direta ou indiretamente, afetam a produtividade da cultura. O milho é uma cultura que remove grandes quantidades de N e usualmente requer o uso de adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo, quando se deseja produtividades elevadas. Resultados de experimentos conduzidos no Brasil, sob diversas condições de solo, clima e sistemas de cultivo, mostram resposta generalizada do milho à adubação nitrogenada. Em geral, 70 a 90 % dos ensaios de adubação com milho realizados a campo no Brasil, apresentaram respostas à aplicação de N.

Para se obter rendimentos elevados na cultura do milho, é necessário aplicar fertilizante nitrogenado, pois os solos, em geral, não suprem a demanda da cultura em termos de N nos diversos estádios de desenvolvimento da planta. A época de aplicação de N pode variar, sendo comum a aplicação, na semeadura, de parte do N recomendado, e o restante em

cobertura, quando as plantas apresentam de 4 a 8 folhas (PÖTTKER; WIETHÖLTER, 2004). O manejo incorreto do adubo nitrogenado é um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade (AMADO *et al.*, 2002).

O N é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pela cultura do milho, exigindo em média 23,8 kg de N para cada tonelada de grãos (DUETE *et al.*, 2008). Contudo, é sabido que a recuperação do N dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas é relativamente baixa, alcançando em muitos casos menos que 50 %, devido à lixiviação, volatilização de amônia, desnitrificação, erosão e imobilização microbiana (CHAVARRIA; MELLO, 2011), tornando-se assim, o elemento de maior custo no sistema de produção da cultura do milho (CANTARELLA; MARCELINO, 2008).

As exigências de N pelo milho variam consideravelmente com os diferentes estádios de desenvolvimento da planta, sendo mínimas nos estádios iniciais, aumentando com a elevação da taxa de crescimento e alcançando um pico durante o florescimento até o início de formação dos grãos (OKUMURA, 2011).

Nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, o sistema radicular das plantas de milho é pouco desenvolvido e, portanto pouco solo é explorado, com isso, sua exigência nutricional é menor, entretanto, pesquisas têm indicado que altas concentrações de N na zona radicular são benéficas para promover o rápido crescimento inicial da planta e o aumento na produtividade de grãos (YAMADA, 1996).

Segundo a marcha de absorção do N, a maior exigência de nitrogênio pela cultura do milho acontece de 40 a 60 dias após germinação onde é o estágio vegetativo que a cultura mais necessita de N, sendo esse o período de pendoamento e aparecimento da boneca, a adubação com N em cobertura nos períodos de quatro a seis folhas são essenciais onde ocorrem as diferenciações das várias partes da planta e a definição de sua produção potencial, como número de fileiras de grãos, grãos por fileira e tamanho de espiga (MENDES, 2012). A literatura brasileira sobre produtividade agrícola não possui trabalhos que aplicam essa técnica. Entretanto, entre os trabalhos que utilizam instrumentos de análise espacial para a identificação de *clusters* espaciais, podem-se elencar: Domingues e Ruiz (2005), que analisam as aglomerações industriais brasileiras; Gonçalves (2005), que discute a distribuição espacial de patentes; Almeida, Haddad e Hewings (2005), que empregam a técnica para analisar os efeitos espaciais do crime; e Moro, Chein e Machado (2003), que fazem uma análise detalhada do emprego por conta própria (Perobelli; *et al.*, 2007).

Segundo Fornasieri Filho (2007), é durante o estágio fenológico V4, em que as plantas apresentam-se com quatro folhas totalmente desdobradas, que a planta tem seu

potencial de produção definido pela diferenciação do meristema apical, justificando a importância de N disponível, podendo-se observar a definição dos órgãos reprodutivos e das folhas no colmo da planta. Nesta fase, a deficiência de N reduz o número de óvulos nos primórdios da espiga (FANCELLI; DOURADONETO, 2004).

No estágio fenológico V8, em que as plantas apresentam-se com oito folhas, é caracterizado por anteceder a ocorrência do aumento na taxa de crescimento das espigas, observando boa resposta à utilização de fertilizantes nitrogenados, já que nesse período ocorre acentuado desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente aumento da absorção (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004; FORNASIERI-FILHO, 2007).

Embora a absorção do N pelo milho seja mais intensa dos 40 aos 60 dias após a emergência, a planta ainda absorve cerca de 50% do N de que necessita após o início do florescimento. Sendo provável que haja vantagens em uma aplicação tardia de parte do N nos casos de aplicação de doses altas de fertilizantes, solos muito arenosos ou áreas irrigadas (CANTARELLA, 1993). Deste modo, o parcelamento e a época de aplicação do adubo nitrogenado constituem-se em alternativas para aumentar a eficiência da adubação com N pela cultura do milho e mitigar as perdas. Isso é respaldado pelo maior aproveitamento do N, resultante da sincronização entre as aplicações e o período de alta demanda do nutriente (AMADO *et al.*, 2002; SILVA *et al.*, 2005). Caso a dose de N aplicada seja subestimada, ocorrerá a redução da produtividade e, quando superestimada, diminuem a rentabilidade do produtor pelo gasto desnecessário com fertilizantes, além de afetar o meio ambiente, em consequência das perdas de N em decorrência do excesso disponível (ARGENTA *et al.* 2003).

Segundo Ferreira *et al* (2001) a produção de milho é positivamente influenciada pela adubação nitrogenada e, entre seus componentes, o número de espigas por planta, o peso das espigas com e sem palha e o peso de mil grãos aumentam de forma quadrática com o incremento das doses do adubo nitrogenado. Entretanto, a resposta da cultura do milho ao N depende de fatores como o manejo adequado da dose de N a ser aplicada, da fonte nitrogenada, época de aplicação do adubo, além da interferência exercida pelas condições edafoclimáticas e pelos microrganismos do solo (UKUMURA, 2011).

2.3 Transformações do Nitrogênio no solo

Aproximadamente 98% do N no solo encontram-se na forma orgânica, sendo que 2% apresentam-se sob formas inorgânicas de amônio (NH_4^+) e/ou nitrato (NO_3^-), prontamente disponíveis (MALAVOLTA, 2006), originados pela mineralização durante os cultivos por meio de hidrólise enzimática produzida pela atividade da microbiota do solo (CORDEIRO e HOEK, 2007) e/ou então por aplicação de fertilizantes nitrogenados (OKUMURA, 2011).

As formas de N no solo disponíveis são o amônio (NH_4^+), e o nitrato (NO_3^-). Em condições de boa aeração e pH não muito baixo, o amônio é rapidamente convertido em nitrato, processo chamado de nitrificação, assim, o NO_3^- representa a principal fonte inorgânica de nitrogênio para as plantas (RAIJ, 1981). O íon amônio, sendo um cátion permanece no solo em forma trocável, adsorvido pelas cargas negativas do solo. Já o nitrato, por ter carga negativa, é repellido pelas superfícies das partículas do solo, permanecendo na solução, sendo assim muito móvel e susceptível à lixiviação nos solos (RAIJ, 1991).

O nitrito é um ânion, em geral de existência efêmera no solo, sendo rapidamente oxidado a nitrato. Isso é importante, pois o nitrito é tóxico para as plantas e para os animais que delas se alimentam. Há casos em que a transformação de nitrito a nitrato é impedida, resultando em efeitos tóxicos a seres vivos (RAIJ, 1991).

Devido a sua dinâmica no solo, o N apresenta um complexo manejo, sendo, geralmente, o elemento mais caro no sistema de produção da cultura do milho (BASTOS et al., 2008). E devido a essa dinâmica ainda não existe um método capaz de detectar o N disponível no solo, para ser utilizado na análise de rotina (PORTUGAL, 2011).

2.3.1 Mineralização

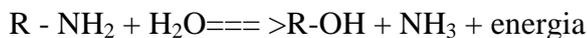
A mineralização consiste no processo de conversão biológica do N ligado organicamente em proteínas, aminoaçucars e ácidos nucléicos, em N inorgânico (WALWORTH, 2007). Essa reação é efetuada pelos microorganismos, principalmente por fungos e bactérias, e ocorre em duas (aminização e amonificação), ambas influenciadas por fatores de clima e de solo. A mineralização é importante, pois o N orgânico (95% do N do solo) só fica disponível para as plantas após ser mineralizado (ERNANI, 2003).

A amonização é a degradação dos substratos orgânicos complexos em compostos orgânicos simples, como aminoácidos e proteínas (SANTOS, 1996).

Na amonificação, o N contido na forma orgânica é transformado pelos organismos amonificadores na forma de amônio (NH_4^+) produzindo ao mesmo tempo uma grande quantidade de ânions orgânicos (R-COO^-) (PORTUGAL, 2011).

Nos solos tropicais, naturalmente ácidos, esta condição propicia a reação de formação de NH_4^+ , bem como a disponibilidade de umidade permite a continuidade do ciclo do nitrogênio, não ocorrendo acúmulo da forma NH_3 , que por sua vez é um gás volátil. Devido à reação que ocorre entre a amônia e a água, o NH_3 passa para a forma amoniacal (NH_4^+), liberando no ambiente íons hidroxila (OH^-), que reagem com os hidrogênios (H^+) da solução do solo promovendo elevação do pH. O aumento do pH diminui a velocidade de reação de amonificação, o que não é interessante do ponto de vista de perdas de N por volatilização de amônia (TASCA, 2009).

A amonificação é um processo inevitável, que ocorre em quaisquer condições ecológicas, pois resulta da intervenção de uma grande diversidade de microorganismos, entre os quais se destacam várias espécies de bactérias, actinomicetos e fungos. A amonificação propriamente dita correspondente a uma desaminaçãohidrolítica. Abaixo seguem as reações básicas da amonificação:



Segundo HILGER (1963), as condições ideais para que o processo de amonificação ocorra envolve umidade entre 50-75% da capacidade de campo, temperatura de 40 a 60°C e pH de 4 a 7. No entanto, a microfauna amonificante se manifesta mesmo sob baixas temperaturas.

2.3.2 Nitrificação

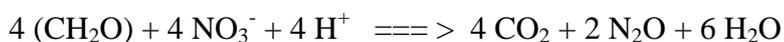
A nitrificação é a continuação do processo de mineralização, e consiste na conversão do amônio, agindo tanto no N oriundo da mineralização da matéria orgânica do solo, quanto o N proveniente de fertilizantes amídicos ou amoniacais. Juntamente com a ação dos microorganismos, a nitrificação depende da presença de oxigênio (O_2).

No início, as bactérias do gênero *Nitrossomas* transformam o cátion NH_4^+ em NO_2^- . Depois as do gênero *Nitrobacter* transformam o NO_2^- em NO_3^- . O N na forma de NO_3^- pode ser facilmente perdido no solo, já que a maioria dos solos possuem carga negativa, tornando suscetíveis à lixiviação. A nitrificação é um processo importante na compreensão da dinâmica do N no solo. Ela é favorecida com temperaturas próximas a 30°C , pH acima de 5,5 (calagem beneficia bactérias nitrificantes) e solos bem drenados o oxigênio beneficia a nitrificação (ERNANI, 2003). Por ter carga negativa, o íon nitrato é fortemente repellido pelas cargas negativas do solo, fato que faz permanecer na solução do solo e que torna mais fácil sua lixiviação, o que resulta em perda de N-NO_3^- e em possível contaminação do lençol freático. Já o NH_4^+ pode ser adsorvido eletrostaticamente as cargas negativas dos sólidos do solo (PORTUGAL, 2011).

Segundo Cantarella;Montezano (2010) a nitrificação é um processo relativamente rápido. Em condições de umidade, pH e temperatura adequadas para a prática da agricultura, a maior parte do nitrogênio amoniacal proveniente de fertilizantes amídicos ou amoniacais se converte em nitrato em um intervalo de 15 a 30 dias. Desse modo, independentemente da fonte de N, a forma nítrica tende a predominar no solo após um curto período. A menor mobilidade do amônio no solo, comparado com o nitrato, pode conferir uma vantagem apenas transitório para evitar perdas por lixiviação ou desnitrificação de fertilizantes contendo nitrogênio amoniacal em relação as formas nítricas. Cantarella; Montezano (2010), também afirmam que tanto o amônio como o nitrato são formas disponíveis de N para a planta e a eficiência de ambas é semelhante na maioria das situações.

2.3.3 Desnitrificação

É a redução do nitrato por ação dos microorganismos para formas gasosas (N_2 e N_2O), que se perdem para a atmosfera por volatilização (METCALF; EDDY, 2004). É realizada por microorganismos heterotróficos que usam o nitrato e o nitrito como aceptadores de elétrons. Esta reação ocorre principalmente em solos com baixa disponibilidade de O_2 , como em solos alagados, pois os microorganismos anaeróbios, na ausência de O_2 , usam outros compostos, como o NO_3^- , como receptor de elétrons na cadeia respiratória (ERNANI, 2008), conforme reação abaixo:



Além de ocorrer em solos inundados, a desnitrificação também ocorre em sítios anaeróbios dos solos não saturados, em áreas muito irrigadas, em solos compactados e em solos aos quais se incorporam grandes quantidades de esterco de animais (CANTARELLA, 2007). Sistemas conservacionistas, que preservam palha ou restos vegetais na superfície dos solos, geralmente têm maiores perdas de N por desnitrificação, por manter o solo úmido por mais tempo, e fornecer carbono. A disponibilidade de C oxidável pode contribuir para o aumento do consumo de O₂ por microorganismos de zonas anaeróbias no solo, o que contribui para a desnitrificação (CANTARELLA, 2007).

2.3.4 Imobilização

A imobilização consiste na assimilação do N mineral do solo pela biomassa microbiana com objetivo de satisfazer suas necessidades metabólicas (ERNANI, 2003). A imobilização ocorre com a adição de matéria orgânica com alta relação C/N (maiores que 25 a 30:1), também com adição de plantas de cobertura que contenham relação C/N alta. Na média, os microorganismos possuem relação C/N de 10 a 12:1 (PORTUGAL, 2011). Quando um material orgânico (palhada) com relação C/N alta é adicionado ao solo, a população de microorganismos tende a aumentar e acaba utilizando o nitrogênio mineral do solo, competindo com as plantas. Ou seja, imobiliza o nutriente. Quando a relação C/N do material orgânico adicionado for baixo ocorre a reação contrária, havendo liberação de N mineral para o solo pela decomposição do material, ocorrendo o processo de mineralização. Segundo Tasca (2009), a imobilização não é motivo de maiores preocupações, pois não há maiores dificuldades para contornar a carência provisória do nutriente se fornecido a quantidade adequada de N na implantação da cultura.

2.3.5 Volatilização

A volatilização é a perda de N na forma de compostos gasosos, que ocorre em diversas situações, o que pode levar a uma baixa eficiência dos fertilizantes nitrogenados, principalmente em meio alcalino e quando aplicados em superfície (SOUSA; LOBATO, 2004).

Para que haja volatilização da amônia, é necessário que haja a presença de amônio e pH elevado no solo. Essas condições ocorrem quando se aplica ureia no solo, já que a hidrólise da ureia eleva o pH ao redor dos grânulos (ERNANI *et al.*, 2001), podendo ocasionar perdas significativas por volatilização, principalmente se for aplicada sobre a superfície, sem incorporação e as condições térmicas e hídricas forem favoráveis (SANGOI *et al.*, 2003). A presença de resíduos culturais sobre a superfície do solo influencia a quantidade de N que se perde através da volatilização de amônia, especialmente quando a ureia é aplicada superficialmente (VARSA *et al.*, 1995). A atividade da uréase, enzima que catalisa a reação da ureia, é maior no sistema plantio direto devido ao maior percentual de matéria orgânica proveniente da manutenção da palhada e não revolvimento do solo e também pela aplicação superficial do nitrogenado (PORTUGAL, 2011). Segundo Mendel (1996), a presença de resíduos vegetais sobre a superfície reduz o contato da ureia com o solo e acaba diminuindo a adsorção de NH_4^+ aos colóides orgânicos e inorgânicos, facilitando a volatilização da amônia.

A forma mais eficiente de reduzir as perdas por volatilização na ureia é a incorporação dela no solo a 5 ou 10 cm de profundidade (CANTARELLA, 2007). Por outro lado, além do custo elevado, a incorporação da ureia no solo pode estimular a germinação de sementes de plantas daninhas devido a exposição causada pela abertura do sulco de aplicação. Em áreas de solo descoberto, 10 a 20 mm de chuva ou irrigação são considerados suficientes para incorporar ureia ao solo (CANTARELLA, 2007).

2.3.6 Lixiviação

A lixiviação consiste na descida do N no perfil do solo até profundidades abaixo daquelas exploradas pelas raízes. É a reação mais importante que ocorre com o nitrogênio em áreas com alta precipitação pluviométrica.

A significância da lixiviação depende da quantidade do nutriente na solução do solo e da percolação da água. Para o N, a lixiviação tem grande relevância, pois ele é um nutriente exigido em altas quantidades pelas plantas, e principalmente porque os solos brasileiros possuem essencialmente cargas elétricas negativas na camada arável e a quase totalidade do N mineral do solo encontra-se na solução e na forma de nitrato (NO_3^-) (ERNANI, 2003). Como o nitrato possui o mesmo tipo de carga das partículas do solo ele não é adsorvido à fase sólida, lixiviando sempre que houver percolação de água no solo. A lixiviação também é responsável pela inexistência do efeito residual de N no solo.

Em anos de precipitação pluviométrica bem distribuída, a lixiviação pode não ser um problema, porém em anos que ocorrem precipitações intensas e concentradas em um curto período de tempo, torna-se preocupante, indicando-se a aplicação parcelada do fertilizante nitrogenado (TASCA, 2009).

Ernani *et al.* (2002), mostraram que quando há percolação de água no solo, as perdas de N por lixiviação são altas, independentemente do manejo da adubação nitrogenada. Quando o pH do solo é baixo e quando o fertilizante é aplicado sobre a superfície do solo, a lixiviação é retardada, e isso facilita a absorção do N pelas plantas. Mostraram ainda que a lixiviação não seja um fenômeno imediato, pois a máxima intensidade foi atingida após seis a oito chuvas simuladas, dependendo do pH do solo e do método de aplicação da ureia.

2.4 Manejo da Adubação Nitrogenada no Milho

O manejo do N tem sido uma das práticas agrícolas mais estudadas no sentido de melhorar a sua eficiência de uso. Essa necessidade existe porque a maior parte do N do solo se encontra em combinações orgânicas, sendo essa forma indisponível para os vegetais (MALAVOLTA, 2006). Entretanto, o manejo e a recomendação da adubação nitrogenada são tidos como um dos mais complexos, devido a multiplicidade de reações químicas e biológicas, dependência das condições edafoclimáticas, vulnerabilidade a perdas por lixiviação, volatilização, desnitrificação e erosão, quando manejados inadequadamente e o processo de imobilização biológica (MEIRA, 2006).

Do ponto de vista econômico e ambiental, a dose de N a ser aplicada, é a decisão mais importante no manejo de fertilizantes. Nessa recomendação deve se levar em consideração às condições edafoclimáticas, sistema de cultivo (sistema plantio direto ou convencional), época de semeadura, responsividade do material genético, rotação de culturas, época e modo de aplicação, fontes de N, aspectos econômicos e operacionais (BOBATO, 2006). Esses fatores afetam a resposta do milho ao N de modo que as curvas de rendimento podem variar bastante entre diferentes locais, assim como em solos férteis com elevado teor de N orgânico no solo, conseqüentemente, adubações nitrogenadas podem não ter efeito ou mesmo diminuir a produção (BELOW, 2002).

Segundo Malhi *et al.* (2001), é necessário ter cautela na recomendação da dose, pois a recuperação do N dos fertilizantes, pelas plantas, é relativamente baixa, alcançando em muitos casos menos que 50%. Coelho *et al.* (1991) utilizando 60 kg ha⁻¹ de N obtiveram

recuperação de 60% do N aplicado como ureia na cultura do milho. No entanto, quando as doses de N são maiores, a recuperação do N tende a diminuir relativamente.

O N aplicado ao solo na forma de fertilizantes minerais segue diferentes caminhos: uma parte é absorvida pelas plantas; outra, perdida do sistema solo-planta por processos de lixiviação, volatilização, erosão e desnitrificação (LARA CABEZAS *et al.*, 2000); o restante permanece no solo, predominantemente na forma orgânica (COELHO *et al.*, 1991;). A forma de manejo do N exerce grande influência no aproveitamento deste nutriente pelo milho (MENGEL; BARBER, 1974; VARVEL *et al.*, 1997; SILVA *et al.*, 2005). Alguns estudos mostram respostas diferenciadas quanto à dose, ao número de parcelamentos e sua época de aplicação (VILLAS BÔAS *et al.*, 1999), devido a uma série de variáveis que condicionam as transformações do N no solo, as quais são mediadas por microrganismos e dependentes das condições edafoclimáticas, sobretudo do tipo de solo, da precipitação pluvial e da temperatura (CANTARELLA; DUARTE, 2004). Estudos com o milho em Latossolo Vermelho, utilizando métodos isotópicos com ^{15}N , encontraram diferentes eficiências de recuperação do N do fertilizante, em média de: 50% (GROVE *et al.*, 1980); 57% (COELHO *et al.*, 1991); 43% (VILLAS BÔAS *et al.*, 1999); 30% (LARA CABEZAS *et al.*, 2000); 49 e 26 a 34% (FIGUEIREDO *et al.*, 2005); e 40 a 50% (SILVA *et al.*, 2006).

O N pode se aplicado no solo basicamente por dois métodos: aplicação a lanço na superfície do solo e a incorporação em linhas (PORTUGAL, 2011). A incorporação pode ser importante na aplicação da ureia como fonte de N caso não haja chuvas nos primeiros dias, pois na ureia aplicada em superfície pode ocorrer formação de amônia e a liberação para a atmosfera (POTTKER; WIETHOILTER, 2004).

A definição da produção na cultura do milho se dá no estágio de 4 a 6 folhas, quando ocorrem as diferenciação das várias partes da planta (PORTUGAL, 2011). Neste período faz se necessário um suprimento adequado de nitrogênio, pois é nesta época que são definidos número de fileiras de grãos por espiga e tamanho de espiga.

Crítérios adicionais são cada vez mais necessários para o ajuste da adubação nitrogenada, principalmente para agricultores que usam altas doses de N para incrementar a produtividade. O N promove o crescimento das plantas, trazendo implicações diretas e indiretas além da produtividade, também na qualidade dos produtos. O uso em excesso de N em outras gramíneas como trigo, aveia e arroz pode causar o acamamento de algumas variedades, prejudicando a produção (CANTARELLA, 2007).

Para Bernardi (2003), o principal manejo de solo para a implantação da cultura do milho é o sistema plantio direto, que tem o princípio da semeadura direta sob a palhada da cultura anterior em um solo na revolvido. Estudos envolvendo o sistema plantio direto têm sido realizados por vários autores e neles constam que comparado com o sistema convencional, as culturas no geral apresentam maior uniformidade de stand, supressão de plantas invasoras, menor perda da camada superficial do solo por erosão, maior infiltração de água no solo devido a menor compactação.

Segundo Lopes *et al.* (2004), durante os primeiros quatro a cinco anos após a implantação do sistema plantio direto, a dose de N deve ser entre 20 e 30% maior do que o padrão. Isto porque resíduos culturais com elevada relação C/N reduzem a quantidade de N disponível no solo para a cultura em sucessão, processo conhecido como imobilização.

Sá (1995) afirma que após o quarto ano de plantio direto, começa a haver um equilíbrio das transformações que ocorrem com o N do solo, e a partir do nono ano, há maior disponibilização de N, com menor resposta a adubação nitrogenada e, assim, com possibilidade de redução das doses de N mineral.

A aplicação de N em uma única vez (semeadura) pode resultar em acúmulo de N-NO_3^- no solo nos estádios iniciais de desenvolvimento do milho (BASSO; CERETTA, 2000), já que a demanda de N no estágio inicial da planta é pequena. Sendo mais intensa no estágio de 4 a 8 folhas do milho, período recomendado para aplicação de nitrogênio N em cobertura. Ceretta (2002) discute que a aplicação em pré-semeadura, após o manejo da aveia preta, semeadura e em cobertura em sucessão à aveia preta, indicaram que a aplicação em pré-semeadura do milho de parte ou todo o N que seria aplicado em cobertura não conferiu produtividade de grãos diferente da aplicação na semeadura e em cobertura. Mas as precipitações pluviométricas acima da normal podem causar diminuição na produtividade de grãos. Por essa razão, os autores recomendam a aplicação de N para o milho na semeadura e em cobertura.

Santos (2010) testou três épocas de aplicação de N em milho em plantio direto: aplicação total do N 15 dias antes da semeadura; aplicação total de N no plantio; aplicação total de N quando o milho se encontrava com 4 folhas; e a testemunha sem N. O tratamento com aplicação do N quando o milho apresentava 4 folhas foi superior aos demais. Com relação a testemunha elevou a produtividade em 400%. Este resultado se deu, provavelmente devido ao melhor aproveitamento do N, já que neste estágio a planta já apresenta sistema radicular mais desenvolvido e capaz de absorver maior quantidade de N.

A adubação nitrogenada deve ser dividida em pelo menos 2 aplicações, um percentual menor na semeadura e o restante em cobertura. O parcelamento do N em cobertura não se faz necessário quando a quantidade aplicada for inferior a 150 kg ha^{-1} e o percentual de argila do solo for superior a 35% (YAMADA *et al.*, 2007). Em caso de duas aplicações deve se realizar a primeira quando o milho estiver com 3 a 4 folhas totalmente expandidas (estágio V3-V4) e a segunda quando estiver com 6 a 8 folhas totalmente expandidas (estágio V6-V8). Duete *et al.* (2008) afirmam que o parcelamento da ureia em quatro ou cinco aplicações e em estádios mais avançados de desenvolvimento do milho, após o estágio de oito folhas expandidas, não aumenta o aproveitamento do N e a produtividade de grãos.

Sintomas de deficiência de N podem ser identificados quando as plantas apresentam as folhas amareladas e crescimento reduzido. A clorose se desenvolve primeiro nas folhas mais velhas, com as mais novas permanecendo verdes. Em caso de alto grau de deficiência, as folhas adquirem tom marrom e morrem. As folhas mais novas só permanecem verdes mesmo em situações de deficiência de N devido a alta mobilidade do nutriente na planta. Ou seja, as proteínas translocam das folhas deficientes e são reutilizadas nas folhas mais novas (RAIJ, 1991).

2.5 Fontes de Fertilizantes Nitrogenados

Os principais adubos nitrogenados produzidos no mundo são sintetizados a partir do N_2 atmosférico e do H, o qual é obtido de combustíveis fósseis, principalmente gás natural. O principal fertilizante sólido utilizado no mundo é a ureia [$(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)$], que é produzida a partir da reação da amônia (NH_3) com o principal subproduto de sua síntese, o gás carbônico (CO_2), proporcionando assim menor custo de produção (CANTARELLA, 2007).

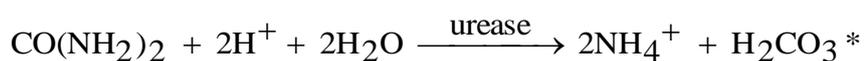
No Brasil, a ureia (45% de N) corresponde a 60% dos fertilizantes nitrogenados comercializados (CANTARELLA, 2006). Essa preferência do agricultor está diretamente ligada ao preço quando comparado com fontes de menor concentração de nitrogênio, quanto a sua disponibilidade no mercado. Além da ureia também são utilizadas outras fontes, como nitrato de amônio (NH_4NO_3) – 33% de N; sulfato de amônio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$] – 21% de N, 23% de S; MAP ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) – 11% de N, 52% de P_2O_5 ; DAP [$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$] (CANTARELLA, 2007; RAIJ, 2011).

A ureia é a fonte de nitrogênio mais comum utilizada (N) na agricultura brasileira, seguido pelo nitrato de amônio e o sulfato de amônio, com consumo aproximado de 46,65%,

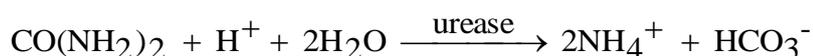
33,00% e 20,00% respectivamente (MEIRA, 2006). Infelizmente, devido às suas características e reatividade no solo, é altamente propenso a perda de amônio por volatilização (KELLER; MENGEL, 1986).

A principal desvantagem, da ureia é a possibilidade de altas perdas de N por volatilização de NH_3 . As perdas de 50-94% foram relatadas por Oliveira *et al.* (1997), quando a ureia foi aplicada à superfície do solo coberta por palha. A eficiência da ureia depende da sua mistura no solo (CABEZAS *et al.*, 2008), mas o custo desta prática é alto e envolve uma série de outras questões relacionadas com a taxa de aplicação. Por isso, os agricultores são um pouco resistentes a adotar essa prática.

Quando aplicada ao solo, a ureia sofre hidrólise enzimática liberando N amoniacal. Em solos com pH menor do que 6,3 – maioria dos casos dos solos brasileiros - a reação predominante é (KOELLIKER; KISSEL, 1988):



Em solos com pH mais elevado ($\geq 6,3$) a reação é:



A volatilização da ureia é estudada a tempo, tanto que Volk (1959) mostrou que a perda pode chegar a 80%. E para achar uma alternativa para esse problema, tem se estudado a utilização de outras fontes nitrogenadas, como sulfato e nitrato de amônio e nitrato de cálcio, além da utilização de inibidores de uréase na própria ureia.

Dentre as vantagens no uso da ureia em relação às demais fontes nitrogenadas, destaca-se principalmente sua alta concentração de N (44 a 46 %), resultando consequentemente em menor custo, tanto no transporte quanto na aplicação (KIEHL, 1989). Entretanto, Reynolds & Wolf (1987), afirmam que esse nutriente apresenta como desvantagem grandes perdas de N- NH_3 por volatilização, que podem comprometer sua eficiência. Essas perdas ocorrem uma vez que esse fertilizante pode ser rapidamente hidrolisado (dois a três dias) pela ação da enzima urease, enzima essa produzida por microrganismos do solo e por restos vegetais e animais. Em consequência da urease, fatores que influenciam as atividades dos microrganismos do solo também influenciam a hidrólise da ureia, promovendo grandes variações na sua taxa para diferentes tipos de solos.

O sistema no manejo de plantio direto e mínimo têm sido utilizados com sucesso na agricultura brasileira. Por exemplo, a área sob sistema plantio direto no Brasil foi de 0,1 milhões de hectares em 1972/1973 e aumentou para 25,5 milhões de hectares em 2005/2006,

tornando-se a segunda maior área nesse sistema em todo o mundo (FEBRAPDP, 2009). Os zeólitos têm sido avaliados como redutores de ureia volatilização (BERNARDI *et al.*, 2007a,b; BARTZ; JONES, 1983) devido à sua elevada capacidade de retenção de água de permuta de cátions e capacidade para adsorver $N-NH_4^+$, e pode ser adicionada aos adubos para diminuir a perda de N por volatilização de NH_3 (FANSURI *et al.*, 2008).

Os adubos nitrogenados mais comercializados e utilizados em pastagens no Brasil também são a ureia (44 a 46% de N) e o sulfato de amônio (20 a 21% de N). O uso dessas fontes apresenta vantagens e desvantagens. A ureia tem como vantagem além do menor custo por quilograma de N, apresenta alta concentração de N, é de fácil manipulação e causa menor acidificação no solo, o que a torna potencialmente superior a outras fontes do ponto de vista econômico, mas comumente apresenta maior perda de N por volatilização (PRIMAVESI *et al.*, 2004; MARTHA JÚNIOR *et al.*, 2004). Por sua vez, o sulfato de amônia apresenta as vantagens de ter menor perda de N por volatilização e ser fonte de S (24% S), embora apresente maior custo por quilograma de N (PRIMAVESI *et al.*, 2004). O fornecimento de S é extremamente vantajoso para as pastagens estabelecidas na região do Cerrado, cujos solos apresentam baixa disponibilidade desse elemento (SOUSA *et al.*, 2001). Tisdale *et al.* (1993) afirmam que o suprimento adequado de S no solo aumenta a resposta da planta forrageira ao N aplicado e pode melhorar a sua eficiência de uso. Contudo, o sulfato de amônia apresenta a desvantagem de promover maior acidificação do solo, em relação àquela gerada pela ureia e pelo nitrato de amônio (PRIMAVESI *et al.*, 2004).

Sangoi (2010) em experimento realizado em Lages (SC) comparou ureia e nitrato de amônio, aplicados na linha, na forma líquida, a lanço e a lanço com orvalho. Segundo o autor, independentemente da fonte, o N aplicado na forma líquida (fluída) obteve melhor produtividade quando comparado a aplicação a lanço. A aplicação a lanço com orvalho, foi inferior a aplicação a lanço sem orvalho, o que prova que a umidade do orvalho potencializa a volatilização do N principalmente na forma de ureia.

Em estudo de Souza; Soratto (2006) não houve diferença estatística na produção de grãos de milho utilizando sulfonitrato de amônio comparado com ureia ambos na dose de 120 kg de N. Apesar de igual produtividade, se verificou maior altura de plantas nas parcelas com sulfonitrato. Já em estudo realizado por MEIRA *et al.*, 2009, na região de Selvíria (MS) em safra normal, foi percebido maior produtividade com ENTEC (sulfonitrato de amônio com inibidor de nitrificação) e sulfato de amônio em relação a ureia. Comparando a produtividade de grãos, em Alta Floresta (MT), Schoninger *et al.* (2012), observaram que o sulfato de

amônio produziu menos comparado a ureia e nitrabor (15,5 de N, 19% de cálcio e 0,3% de boro).

Vitti *et al.* (2002) observaram que a fonte de N a ser utilizada é de suma importância, uma vez que as respostas das culturas às fontes de N podem ser atribuídas a outros fatores à adição do enxofre e às alterações no pH do solo. Entretanto, uma das maneiras para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada é o uso de fontes alternativas de N, como as fontes com inibidor de uréase e as fontes de liberação lenta ou controlada. Contudo, em função do custo mais elevado, são necessários estudos para avaliar a viabilidade econômica desses fertilizantes, e a definição de doses adequadas (PORTUGAL, 2013).

2.5.1 Fertilizantes Nitrogenados mais Eficientes

Uma alternativa de minimizar as perdas de ureia por volatilização e aumentar assim a sua eficiência, é o tratamento prévio desse fertilizante com inibidores da urease (CANTARELLA *et al.*, 2008; SCIVITTARO *et al.*, 2010; CIVARDI *et al.*, 2011), que atua sobre a molécula da ureia por um período pré-determinado.

Nos últimos anos, novas tecnologias têm sido desenvolvidas com o intuito de minimizar as perdas de N-ureia por volatilização, como o uso de inibidores da uréase (principalmente o NBPT) e o revestimento da ureia com micronutrientes, especialmente cobre (Cu) e boro (B), e de polímeros que interferem na hidrólise e/ou na solubilização da ureia no solo (VITTI *et al.*, 2002; CANTARELLA, 2007).

A utilização desses produtos pode ocasionar diminuição da volatilização em até 80%, sendo essas tecnologias as principais comercializadas para as culturas de grãos, cana-de-açúcar e fibras (VITTI *et al.*, 2002; CANTARELLA; MARCELINO, 2007).

Mais de 14.000 compostos orgânicos, inorgânicos e combinações têm sido testados como inibidores de urease (KISS; SIMIHĂIAN, 2002). Os produtos que têm apresentado os melhores resultados são os análogos de ureia como o PPD (fenil-fosforodiamidato) e especialmente o Tiofosfatode N-(n-butil) triamida – NBPT, comercializado desde 1996 nos Estados Unidos e mais recentemente no Brasil.

O NBPT é um composto que apresenta características de solubilidade e difusividade similares à da ureia (RADEL *et al.*, 1988; WATSON, 2000) e vem mostrando os melhores resultados. O NBPT bloqueia fortemente três pontos ativos da molécula uréase (MANUNZA *et al.*, 1999), e tem características de solubilidade e difusão, semelhantes à ureia (CARMONA

et al, 1990). O NBPT não é inibidor direto da uréase; para tal necessita ser convertido em NBPTO (fosfato de N-n-butiltriamida). Os fatores que afetam esta conversão não estão bem esclarecidos, mas devem depender de várias propriedades dos solos (WATSON, 2000). Esta conversão é rápida em solos bemarejados (minutos ou horas), mas pode levar vários dias em condições de solos inundados (WATSON, 2000).

A ureia é hidrolisada rapidamente logo na primeira semana após sua aplicação no solo, tornando-se suscetível às altas perdas por volatilização de NH_3 . Dessa forma, é exatamente nesse período que a atuação de NBPT é mais evidente, retardando a hidrólise e, conseqüentemente mantendo baixa a taxa de volatilização (RAWLUK *et al*, 2001). Ao retardar a hidrólise o inibidor permite a difusão da ureia no solo; assim, o inibidor evita alta concentração de NH_4^+ e pH elevado na zona de aplicação do fertilizante e diminui a volatilização de NH_3 (CHRISTIANSON *et al*, 1993).

A adição de NBPT pode reduzir em grande parte a perda de N por volatilização. Em experimento feito em condições controladas de laboratório com 16 solos, Watson *et al* (1994) chegaram a uma média de 68% de redução. Em experimentos de campo com a cultura do milho, Cantarella *et al* (2009) concluíram que o inibidor reduz, em média, em 56% a volatilização de NH_3 .

O NBPT é eficiente em baixas doses. No estudo de Watson *et al* (1994), com 16 solos, o inibidor foi adicionado à ureia nas doses de 100 a 2800 mg kg^{-1} . Na dose de 580 mg kg^{-1} , o NBPT reduziu em 68% a volatilização de NH_3 ; acima desta dose, houve pouca diferença, atingindo o máximo de inibição na dose de 1000 mg kg^{-1} , que correspondeu a 80% de redução.

Há dúvidas quanto à estabilidade do NBPT após sua aplicação à ureia, pois o inibidor tende a perder eficiência com o tempo de armazenamento. Porém, em regiões tropicais, onde a temperatura é mais elevada, pode ocorrer degradação do NBPT, conforme mostrado no estudo de Watson *et al* (2008), em que a meia vida do NBPT foi de 10 semanas quando armazenado a 25°C, o que poderia afetar a eficiência do inibidor em reduzir a volatilização de NH_3 . Depois de aplicado ao solo, o NBPT tende a ser menos eficiente em altas temperaturas, onde há maior atividade de uréase, maior dissolução dos grânulos e maior evaporação da solução do solo, que provoca a movimentação da ureia e da NH_3 em direção à superfície (RAWLUK *et al*, 2001).

O NBPT demonstra ser mais eficiente em solos com alto valor de pH e baixo teor de matéria orgânica. Watson *et al* (1994) observou a ureia tratada com inibidor de uréase em 16

solos diferentes e observou que a redução da NH_3 volatilizada em função do tratamento da ureia com NBPT foi menor em solos mais ácidos, sendo comparados solos com pH- H_2O que variaram de 5,7 a 7,6.

Comparando diferentes fontes nitrogenadas na produtividade de grãos de milho, Portugal (2012) não observou diferença entre nitrato de amônio, sulfato de amônio, ureia comum na superfície e incorporada, ureia recoberta (N liberação lenta) e ureia com NBPT. Com estes resultados, o autor concluiu que não uso de ureia com inibidor de uréase não é viável economicamente no sistema plantio direto.

Em estudo realizado por Scherer (2011) durante 4 anos e com 4 fontes diferentes de N na cultura do milho, concluiu que em ano com precipitações pouco intensas e bem distribuídas, a adubação nitrogenada aplicada na semeadura do milho é tão eficiente quanto à aplicação parcelada. Por outro lado, em anos com bastante chuva e alta intensidade de precipitação, o parcelamento da adubação nitrogenada é recomendável. Entretanto, em anos com déficit hídrico e distribuição irregular de chuva, a adubação nitrogenada em cobertura poderá ter sua eficiência reduzida. Nessas condições de estudo, Scherer (2011) observou que não houve diferença entre fontes de N para o milho cultivado no sistema de plantio direto, sendo possível utilizar a fonte com menor custo por unidade de área.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos a campo dois experimentos com a cultura do milho no ano agrícola de 2013/2014, localizados nas áreas experimentais da CCGL TECNOLOGIA (Experimento 01) e do Curso de Agronomia da UNICRUZ (Experimento 02), ambos em Cruz Alta, RS.

Os solos dos locais são classificados como Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2013), pertence à Unidade de Mapeamento de Passo Fundo (BRASIL, 1973). As características químicas do solo analisadas na camada de 0 a 20 cm, visando à caracterização da condição do estudo são (Experimento 01): Argila 55%, pH H₂O 5,3, Índice SMP 5,8, Matéria Orgânica 3,3%, Fósforo (Mehlich-I) 12,4mg dm⁻³, Potássio (Mehlich-I) 198 mg dm⁻³, Alumínio 0,2 cmol_cdm⁻³, Cálcio 4,8 cmol_cdm⁻³, Magnésio 2,1 cmol_cdm⁻³; (Experimento 02): Argila 52%, pH H₂O 5,4, Índice SMP 5,9, Matéria Orgânica 3,0%, Fósforo (Mehlich-I) 9,8 mg dm⁻³, Potássio (Mehlich-I) 175 mg dm⁻³, Alumínio 0,1 cmol_cdm⁻³, Cálcio 4,5 cmol_cdm⁻³, Magnésio 1,9 cmol_cdm⁻³;

A área foi utilizada com a cultura da aveia como cobertura do solo no período de inverno de 2013. Imediatamente antes da semeadura do milho, a área foi dessecada utilizando-se o herbicida Glyphosate na dose de 3,0 L ha⁻¹ do produto comercial.

A semeadura do milho foi realizada em 17 de outubro de 2013 e 31 de janeiro de 2014, nos experimentos 01 e 02, respectivamente. Foi utilizado o híbrido STATUS e uma população prevista de 65.000 plantas por hectare. Na adubação de base foram utilizados 300 kg ha⁻¹ da fórmula 05-20-20 na linha de semeadura. A precipitação pluviométrica, diária e acumulada, ocorrida durante o ciclo da cultura do milho é apresentada na Figura 1.

Os tratamentos foram constituídos por diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados:

T1. Ureia Comum (45%)

T2. Super N (45%): Fertilizante comercial obtido a partir de ureia + inibidor de uréase (NBPT)

T3. Ureia PDQ (45%): Fertilizante comercial obtido a partir de ureia + inibidor de uréase (NBPT)

T4. SULFAMMO (29%): Fertilizante comercial de liberação lenta e/ou gradual obtido pela composição física do grânulo.

T5. Polyblen (50% ureia PDQ + 50% Producote 39-00-00): Fertilizante comercial obtido a partir da mistura de ureia PDQ com Producote 39-00-00 (liberação controlada ou gradual por revestimento físico do grânulo).

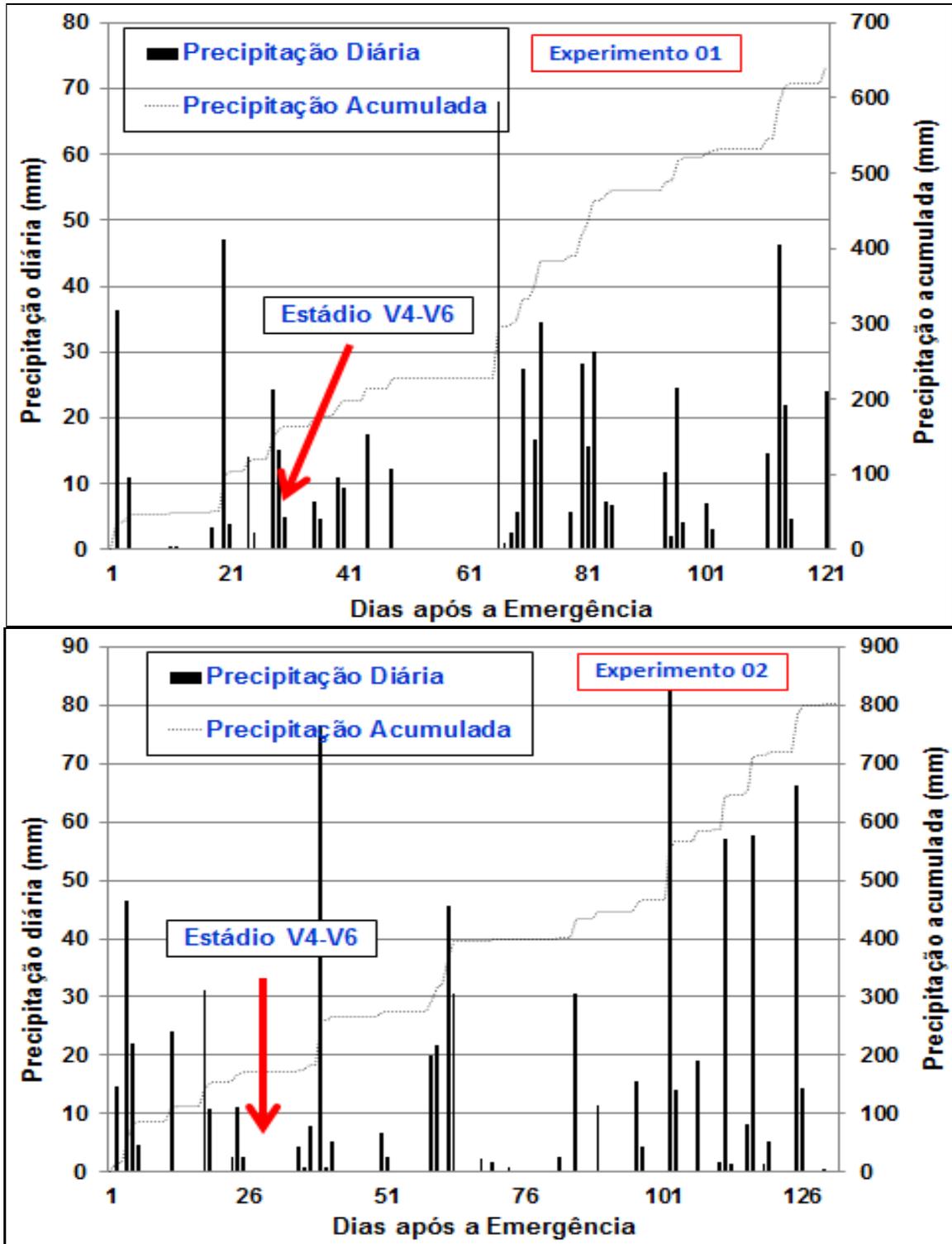


Figura 1. Precipitação pluviométrica diária e acumulada ocorrida ao longo do ciclo da cultura do milho conduzidos na área experimental da CCGL (Experimento 1) e do Curso de Agronomia da UNICRUZ (Experimento 2). UNICRUZ, Cruz Alta, RS, 2014.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 5 repetições. As parcelas foram constituídas de sete fileiras espaçadas de 0,45 m e 6,0 m de comprimento (18,9 m²). Os fertilizantes foram aplicados na adubação nitrogenada em cobertura. A dose de cada fonte foi definida com base no teor de N no fertilizante objetivando obter a quantidade de 120 e 90 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, nos experimentos 01 e 02. A dose de N escolhida por experimento se deu devido ao potencial produtivo na época da semeadura. A forma de aplicação foi à lanço, em superfície e sem incorporação, de forma manual, aplicando em cada fonte a quantidade correspondente à área da parcela, em uma única aplicação, entre os estádios V4 e V6 da cultura do milho. Os demais tratamentos culturais do milho foram realizados segundo as Indicações Técnicas para o Cultivo de milho e sorgo no Rio Grande do Sul Safras 2011/2012 e 2012/2013 (REUNIÃO..., 2011), respeitando as condições descritas nos tratamentos.

Foi realizada no estádio de início do florescimento a análise de tecido foliar, coletando a folha oposta e abaixo da espiga, em 30 plantas por parcela, visando a determinação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro no tecido vegetal conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995).

A produtividade de grãos foi avaliada numa área útil correspondente a três linhas de 3,0 m (área=4,05 m²), expressando em kg ha⁻¹ a 13% de umidade. Amostras de sementes de milho colhidas de cada parcela foram submetidas à análise do peso de 100 sementes, seguindo metodologia específica (MINISTÉRIO..., 1992). Foi realizada a contagem do número de plantas e espigas na área útil de cada parcela, extrapolando os resultados para população de plantas e espigas por hectare.

Os resultados foram submetidos à análise da variância e quando os valores de F Tratamento foram significativos ao nível de 5 % de probabilidade, foram submetidos ao Teste de DUNCAN ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A eficiência das fontes de fertilizantes nitrogenados sobre a produtividade da cultura do milho teve influência das condições climáticas, em especial, a precipitação pluviométrica ocorrida, imediatamente antes e após a aplicação dos fertilizantes em superfície. No Experimento 1, nota-se que não houve diferença estatística em produtividade (Tabela 1), o que pode ser explicado pela boa disponibilidade de precipitações pluviométricas. Assim

sendo, estas condições favorecem um bom aproveitamento do N aplicado, resultando em alta produtividade de grãos, e conseqüentemente, sem diferença estatística entre as fontes de N. Trabalhos de pesquisas semelhantes mostraram que a produtividade de milho não foi influenciada pelo uso de fontes nitrogenadas que contemplam tecnologias de inibidor de urease e fertilizantes com revestimento por polímeros quando comparada a ureia comum (MACHADO, 2013; PORTUGAL, 2012; DA ROS et al., 2015), sendo, neste caso, recomendável utilizar a fonte com menor custo por unidade de área (SCHERER, 2011).

No Experimento 2, com menor disponibilidade de precipitação pluviométrica, principalmente no momento e imediatamente após a aplicação dos fertilizantes, apesar das menores produtividades de grãos obtidas, houve diferença estatística significativa entre os fertilizantes nitrogenadas utilizadas em cobertura. Os fertilizantes que possuem inibidores de urease (NBPT) foram superiores estatisticamente aos demais. Numa situação intermediária encontram-se os fertilizantes obtidos pela mistura de inibidores de urease (NBPT) com os de liberação lenta e/ou gradual através do revestimento de polímeros. As menores produtividades foram observadas na utilização da ureia comum e do Sulfammo. O Sulfammo tem o princípio de liberação lenta e/ou gradual obtido pela composição física do grânulo, em que a liberação do N somente será possível com a ocorrência de precipitação pluviométrica. No caso deste cultivo, a quantidade de precipitação após a aplicação do Sulfammo foi muito reduzida, atrasando a liberação do N em relação à época de maior demanda para a cultura do milho, resultando em menores produtividades. O posicionamento da época de aplicação do Sulfammo, segundo a empresa que disponibiliza esta tecnologia, deve ser antecipadamente a época em que usa-se normalmente as demais fontes. Neste caso, sugere-se que nova pesquisa seja conduzida para avaliar melhor o posicionamento do Sulfammo. Em estudo realizado por Da Ros et al. (2015), não encontraram diferença estatística na utilização de duas fontes de N de liberação rápida (ureia e sulfato de amônia) e duas de liberação lenta (Super N (ureia com NBPT) e Sulfammo) na produtividade do milho sob plantio direto. Entretanto, Tasca (2009), em trabalho realizado em laboratório em grande quantidade de ensaios, apontou que a ureia com NBPT volatilizou menor quantidade de amônia que a ureia sem inibidor.

As fontes de fertilizantes nitrogenados, não interferiram de maneira significativa na massa de 100 sementes, número de plantas e espigas por hectare e teores de nutrientes no tecido vegetal, em resposta às diferentes fontes de N em milho.

Tabela 1. Produtividade de grãos (kg ha⁻¹), massa de 100 sementes (MCS), número de plantas e espigas por hectare, teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro no tecido vegetal, em resposta às diferentes fontes de nitrogênio em milho 2013/2014 (1º cultivo). UNICRUZ. Cruz Alta, RS. 2014.

Tratamento	Produção	MCS	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B
	Vidade	G	%						mg kg ⁻¹				
1.Ureia Comum (45%)	9614	26,9	2,1	0,28	2,5	0,47	0,27	0,15	10	26	116	89	10
2.Super N (45%)	9685	25,7	2,2	0,29	2,6	0,50	0,25	0,16	12	26	127	107	11
3.Ureia PDQ (45%)	9695	25,3	2,1	0,26	2,5	0,48	0,27	0,14	10	24	115	99	10
4. SULFAMMO (29%)	9874	27,8	2,2	0,30	2,7	0,47	0,28	0,15	11	25	119	95	10
5. POLYBLEN ¹	9790	25,5	2,2	0,28	2,6	0,50	0,29	0,15	10	24	112	91	12
Média	9732	26,3	2,2	0,28	2,6	0,48	0,27	0,15	11	25	118	96	10
F Tratamento	0,34	1,53	0,19	1,53	1,01	0,35	1,03	1,02	0,97	0,50	0,74	0,60	0,76
Probabilidade	Ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C. V. (%)	4,00	7,36	8,81	7,83	6,15	11,23	11,05	8,66	16,13	11,09	10,56	19,37	15,21

1. POLYBLEN: (50% Ureia PDQ + 50% Producode 39-00-00)

ns – não significativo ao nível de 5 % de probabilidade

* – significativo ao nível de 5 % de probabilidade

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo Teste de Duncan (P<0,05)

Tabela 2. Produtividade de grãos (kg ha⁻¹), massa de 100 sementes (MCS), número de plantas e espigas por hectare, teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro no tecido vegetal, em resposta às diferentes fontes de nitrogênio em milho 2013/2014 (2º cultivo). UNICRUZ. Cruz Alta, RS. 2014.

Tratamento	Produti- vidade	MCS g	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	mg kg ⁻¹		
											Fe	Mn	B
1.Ureia Comum (45%)	4765 bc	24,2	2,6	0,24	1,8	0,30	0,14	0,14	10	17	118	59	10
2.Super N (45%)	5626 a	23,8	2,6	0,22	1,7	0,28	0,14	0,14	9	15	111	56	10
3.Ureia PDQ (45%)	5788 a	23,4	2,5	0,22	1,7	0,27	0,16	0,13	9	17	108	58	10
4. SULFAMMO (29%)	4466c	24,4	2,5	0,23	1,7	0,29	0,14	0,13	9	16	111	53	11
5. POLYBLEN ¹	5051b	23,6	2,5	0,24	1,7	0,28	0,15	0,13	10	17	116	56	11
Média	5138,9	23,9	2,5	0,23	1,7	0,29	0,15	0,13	9	16	113	56	10
F Tratamento	13,76	0,70	0,57	1,2	0,33	0,50	0,82	1,08	1,72	1,14	1,06	0,73	2,16
Probabilidade	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C. V. (%)	5,89	4,18	8,16	7,58	8,47	11,69	12,01	7,01	11,24	11,15	6,71	9,58	9,17

1. POLYBLEN:(50%Ureia PDQ + 50%Producode 39-00-00)

ns – não significativo ao nível de 5 % de probabilidade

* – significativo ao nível de 5 % de probabilidade

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo Teste de Duncan (P<0,05)

5 CONCLUSÃO

- Em condições de boa disponibilidade hídrica, não houve diferença estatística entre as fontes de fertilizantes nitrogenados;
- Em condições climáticas de baixa disponibilidade hídrica, os fertilizantes nitrogenados com inibidor de uréase (NBPT), de forma isolada ou associada à liberação controlada ou gradual por revestimento físico do grânulo, apresentaram as maiores produtividades.
- Faz se necessário estudos que avaliem a eficiência econômica destes produtos em relação a ureia, já que no geral o custo por ponto de N de fontes alternativas é maior do que o N da ureia.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T.J.C.; MIELNIZUK, J.; FERNÁNDEZ, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 179-189, 2000.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 241-428, 2002.

ARAÚJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 39, 2004.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; FOSTHOFER, E.L.; SUHRE, E.; TEICHAMANN, L.L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2003.

BARTZ, J.K.; JONES, R.L. Availability of nitrogen to sudangrass from ammonium-saturated 215 clinoptilolite. **Soil Science Society of America Journal**, 47:259–262.1983.

BASSO, C.J.; CERETTA, C.A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2000.

BASTOS, E.A.; CARDOSO, M.J.; MELO, F.B.; RIBEIRO, V.Q.; JÚNIOR, A.S.A. Doses e formas de parcelamento de nitrogênio para a produção de milho sob plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 39, n. 02, p. 275-280, 2008.

BELOW, F.E. Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho. **Informações Agronômicas**, 2002.

BERNARDI, A.C.C., et al. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003.

BOBATO, A. **Índice nutricional do nitrogênio: uma ferramenta para o diagnóstico do estado nutricional da cultura do milho**. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Rio Grande do Sul**. Recife. 431p. (Boletim Técnico, 30)

CANTARELLA, H. Nitrogênio. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafós, 1993.

CANTARELLA, H. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. **O uso de inibidor de urase para aumentar a eficiência da ureia**. INPI, Piracicaba, 2006.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. O uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da ureia. *In: Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola*, 2007, Piracicaba. 19p. (CD-ROM).

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, 2008.

CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z.F. Nitrogênio e enxofre. *In: PROCHNOW L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds.). Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrients*. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.4, p.397-401, 2008.

CANTARELLA, H.; BOLONHEZI, D.; GALLO, P.B.; MARTINS, A.L.M.; MARCELINO, R. Ammonia volatilization and yield of maize with urea treated with urease inhibitor. *In: 16th Nitrogen Workshop*, Turin (Italy), June, 28th - July, 1st . 2009. p.129-130, 2009.

CARMONA, G.; CHRISTIANSON, C.B.; BYRNES, B.H. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphorictriamide (nBTPT) on ammonia volatilization from urea. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 22, p.1519-1526, 1990.

CERETTA, C.A. et al. Nitrogen fertilizer split-application for corn in no-till succession to black oats. **ScientiaAgricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 549-554, 2002.

CHAVARRIA, G.; MELLO, N. Bactérias do gênero *Azospiriliume* sua relação com gramíneas. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, 2011.

CHRISTIANSON, C.B.; BAETHGEN, W.E.; CARMONA, G.; HOWARD, R.G. Micrositereactionsofurea-nbtpfertilizeronthesoilsurface. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 25, p. 1107-1117, 1993.

CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Slow-release urea applied to surface and regular urea incorporated to soil on maize yield. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v.41, n.1, p.52-59, 2011.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.C.; BAHIA, A.F.C. & GUEDES, G.A. Balanço de nitrogênio 15N em Latossolo Vermelho-Escuro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1991.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Levantamento de safra 2011/12**. Disponível em <http://www.conab.gov.br/olalacms/uploads/arquivos/12_07_05_08_41_20_boletim_gaos_-_10julho_2012.pdf>

DA ROS, C.O.; SILVA, R.F.; BASSO, C.J.; SILVA, V.R.; Nitrogênio disponível no solo e acumulado na cultura do milho associado a fontes nitrogenadas de eficiência aumentada. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11 n.21; p. 2015 1374.

DUETE, R.R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C.; TRIVELIN, P.C.O.; AMBROSANO, E.J.; Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) pelo milho em latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2008.

ERNANI, P.R.; BAYER, C.; STECKLING, C. Características químicas de solo em rendimento de matéria seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2001.

ERNANI, P.R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para macieiras**. Lages: Grafel, 2003.

ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: O autor, 2008

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETTO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FEBRAPD – Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Área de plantio direto no Brasil.** Ponta Grossa, 2009. Disponível em <[HTTP://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html](http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html)>. Acesso em: 13 abr. 2013.

FERREIRA, A.C.B; ARAUJO, G.A.A.; PEREIRA, P.R.G.; CARDOSO, A.A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **ScientiaAgricola**, 2001.

FIGUEIREDO, C.C. Sistemas de manejo na absorção de nitrogênio pelo milho em um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2005.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho.** Jaboticabal: Funep, 2007.

GROVE, L.T.; RICHET, K.D. & MADERMAN, G.C. Nitrogen fertilization of maize on ixial of the cerrado of Brazil. **Agronomy Journal**, 1980.

KELLER, G.D. & MENGEL, D.B. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surfaee applied to no--till com. **Soil Science Society of America Journal**, 50:1060-3, 1986.

KIEHL, J. C. Distribuição e retenção da amônia no solo após aplicação de ureia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, 1989.

KISS, S.; SIMIHĂIAN, M. Improving efficiency of urea fertilizers by inhibition of soil urease activity. **Klumer Academic Publishers**, Doordrech, 417p., 2002.

KOELLIKER, J.K. & KISSEL, D.E. Chemical equilibria affecting ammonia volatilization. In: BOCK, B.R. KISSEL, D.E., (ed.) Ammonia volatilization from urea fertilizers. Muscle Shoals, **Natl. Fert. Dev. Center**, 1988.p.37-52.(Bull. Y-206).

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

LARA CABEZAS, W.A.R. & SOUZA, M.A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de ureia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2331-2342, 2008.

WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R.G.; LOPES, A.S.; SILVA, C.A.W. **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres: 2006.

MALHI, S.S.; GRANT, C. A.; JHONSTON, A. M., GILL, K .S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil and Tillage Research**, 2001.

MANUNZA, B., DEYANA, S., PINTORE, M., GESSA, C. The binding mechanism urea, hydroxamic acid and N-(n-butyl)-phosphoric triamide to the urease active site. A comparative molecular dynamics study. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 31, p. 789-796, 1999.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L.; BARIONI, L.G. et al. Manejo da adubação nitrogenada em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 24. Piracicaba, 2007. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 39-74.

MENDES, E.D.R.; CARVALHO, M.A.C.; YAMASHITA, O.M.; PELEGRINE, P.J.; JUSTEN, P.R. Diferentes fontes e doses de nitrogênio na cultura do milho no município de alta floresta-mt: características produtivas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2012.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

MEIRA, F. A.; BUZETTI, S. **Fontes e modos de aplicação do nitrogênio na cultura do milho**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira. Ilha Solteira – SP, 2006.

MEIRA, F. A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. ARF, O.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C.; Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 275-284, abr./jun. 2009.

MENGEL, D.; BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. **Agronomy Journal**, v. 66, 1974.

METCAL & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse**. Nova Iorque: McGraw Hill, 2004.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, 2011.

PEIXOTO, Claudio de Miranda. O milho no Brasil, sua importância e evolução. **Seed News: A revista internacional de sementes**. Fev/2014.

PEROBELLI, Fernando Salgueiro; ALMEIDA, Eduardo Simões de; ALVIM, Maria Isabel da Silva A.; FERREIRA, Pedro Guilherme Costa. Produtividade do setor agrícola brasileiro (1991-2003): uma análise espacial. **Rev. Nova econ.** vol.17 n°1 Belo Horizonte Jan./Apr. 2007.

PORTUGAL, André Vilela. **Fontes de Nitrogênio no Cultivo de Milho em Sistema Plantio Direto: avaliação econômica e produtividade**. 2012. 66f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção na Agropecuária) – UNIFENAS, Alfenas, 2012.

PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, jul-ago. 2004.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A.G.; FREITAS, A.R.; VIVALDI, L.J. Adubação nitrogenada em capim-coastcross: efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 68–78, 2004.

QUEIROZ, André Martins de; SOUZA, Carlos Henrique Eiterer de; MACHADO, Vanessa Júnia; LANA, Regina Maria Quintão; KORNDORFER, Gaspar Henrique; SILVA, Adriane de Andrade. Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 2011.

RADEL, R.J.; GAUTNEY, J.; PETERS, G.E. Urease inhibitor developments.p.111 136.In: BOCK, B.R. & KISSEL, D.E. (ed.) Ammonia volatilization from urea fertilizers. Muscle Shoals, **National Fertilizer Development Center**.1988. 189p. (Bul. Y-206).

RAIJ, B. Van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: POTAFOS, 1981.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, SP: Ceres, 1991.

RAWLUK, C.D.L.; GRANT, C.A.; RACZ, G.J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 81, p. 239-246, 2001.

REYNOLDS, C.M. & WOLF, D.C. Effects of soil moisture and air relative humidity on ammonia volatilization from surfaces-applied urea. **SoilScience**, 143:144-152, 1987.

SÁ, J. C. M. Nitrogênio: transformações no solo, mobilização e imobilização. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO; 1, 1995, Castro. **Anais**. Fundação ABC, 1995.

SANGOI, L.; ERNANI, Paulo Roberto; LECH, Vanderlei Adilson; RAMPAZZO, Clair. 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, 2003.

SANGOI, L.; PICOLI, G. J.; VARGAS, V. P.; ZOLDAN, S. R.; PLESTSCH, A. J. VIEIRA, J.; CARNIEL, G.; SIEGA, E. A Resposta do Rendimento de Grãos do Milho a Cobertura Nitrogenada Depende da Fonte de N e do Método de Aplicação do Fertilizante. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28. 2010. **Anais...** Goiânia, 2010.

SANTOS, J.Q. **Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos**. Portugal. Publicações, Europa-América, Mem Martins, 1996.

SANTOS, Manoel Mota; GALVÃO, João Carlos Cardoso; SILVA, Ivo Ribeiro; MIRANDA, Glauco Vieira; FINGER, Fernando Luis. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (15n) na planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**, 2010.

SCHERER, E.E. Avaliação de fontes e épocas de aplicação de adubo nitrogenado na cultura do milho no sistema de plantio direto. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 14, n. 1, p. 48-53, 2001.

SCHONINGER, E.L.; SILVA, A.F. CAIONE, G.; LANGE, A. Fontes e métodos de aplicação de nitrogênio na cultura do milho. **Revista Agrarian**, 2012.

SCIVITTARO, W.B.; GONÇALVES, D.R.N.; VALE, M.L.C.; RICORDI, V.G. Nitrogen losses by ammonia volatilization and lowland rice response to NBPT urease inhibitor-treated urea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.6, p.1283-1289, 2010.

SILVA, E.C. **Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) da ureia, do milheto e da crotalária pelo milho sob semeadura direta em solo de cerrado**. Teses e dissertações USP. Piracicaba, 2005.

SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S. & TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho em Latossolo Vermelho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2006.

SOUSA, D.M.G.; VILELA, L. & LOBATO, E. Uso do gesso, calcário e adubos para pastagens no Cerrado. Planaltina, **Embrapa Cerrados**, 2001. 22p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 12)

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. Ed. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2004.

SOUZA, E.F.C.; SORATTO, R.P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 2006.

TASCA, F.A. **A volatilização de amônia a partir da aplicação de duas fontes de nitrogênio, em laboratório**. Lages, 2009.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan Publishing Company, 1993. 634 p.

VARSA, E. C. et al. Nitrogen placement in no-till corn. In: PROCEEDINGS OF NORTH CENTRAL EXTENSION-INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, **Proceedings...** St. Louis: Potash e Phosphate Institute, 1995.

VARVEL, G.E.; SCBERS, J.S. & FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science Society of America**, 1997.

VILLAS BOAS, R.L.; BOARETTO, A.E.; BÜLL, L.T. & GUERRINI, I.A. Parcelamento e largura da faixa de aplicação da ureia na recuperação do nitrogênio pela planta do milho. **Science Agriculture**, 1999.

VITTI, G.C.; TAVARES, J.E.; LUZ, P.H.C.; FAVARIN, J.L.; COSTA, M.C.G. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 2002.

VOLK, G.M. Efficiency of urea as affected by method of application, soil moisture and lime. **Agronomic Journal**, 58:249-252, 1966.

WALLWORTH, J.L., WOOLARD, C.R., BRADDOCK, J.F., REYNOLDS, C.M., 1997. Enhancement and inhibition of soil petroleum biodegradation through the use of fertilizer

nitrogen: an approach to determining optimum levels. **Journal of Soil Contamination**, 6 (5), 465–480.

WATSON, C.J.; AKHONZADA, N. A.; HAMILTON, J.T.G.; MATTHEWS, D.I. Rate and mode of application of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphorictriamide on ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Use and Management**, v. 24, p. 246-253, 2008.

WATSON, C.J.; MILLER, H.; POLAND, P.; KILPATRICK, D.J. .; ALLEN, M.B.D.; GARRET, M.K.; CHRISTIANSON, C.B. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphorictriamide (nBTPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 26, p. 1165-1171, 1994.

WATSON, C.J. Urease activity and inhibition –principles and practice. The International Fertilizer Society Meeting, 28/11/2000. London, **The International Fertilizer Society Proceedings**, n. 454, 39p. 2000.

YAMADA, T. Adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar. Piracicaba, **Potafos**, 1996.

YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.E.; VITTI, G.C. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba, **IPNI – International Plant Nutrit. Institue**, 2007.