

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS CURITIBANOS  
MARCOS RENAN BESEN

**INFLUÊNCIA DE FONTES DE NITROGÊNIO NO FLUXO DE GASES E NA  
PRODUTIVIDADE DO MILHO E DO TRIGO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Curitibanos  
2015

**MARCOS RENAN BESEN**

**INFLUÊNCIA DE FONTES DE NITROGÊNIO NO FLUXO DE GASES E NA  
PRODUTIVIDADE DO MILHO E DO TRIGO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Curso de Agronomia, do Campus Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Jonatas Thiago Piva

Curitibanos

2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Besen, Marcos Renan

Influência de Fontes de Nitrogênio no Fluxo de Gases e  
na Produtividade do Milho e do Trigo em Sistema de Plantio  
Direto / Marcos Renan Besen ; orientador, Jonatas Thiago  
Piva - Curitibanos, SC, 2015.

64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos. Graduação em Agronomia.

Inclui referências

1. Agronomia. 2. Óxido nitroso. 3. Metano. 4.  
Volatilização de amônia. 5. Ureia protegida. I. Piva,  
Jonatas Thiago. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Agronomia. III. Título.

MARCOS RENAN BESEN

**INFLUÊNCIA DE FONTES DE NITROGÊNIO NO FLUXO DE GASES E NA  
PRODUTIVIDADE DO MILHO E DO TRIGO EM SISTEMA DE PLANTIO  
DIRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao Colegiado do Curso de  
Agronomia, do Campus Curitibanos da  
Universidade Federal de Santa Catarina, como  
requisito para obtenção do título de Bacharel  
em Agronomia.

**Orientador(a): Prof. Dr. Jonatas Thiago Piva**

Data da defesa: 25/06/2015

**MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:**

---

**Presidente e Orientador:** Jonatas Thiago Piva



**Titulação** Doutor

**Área de concentração em** Agronomia

**Universidade Federal de Santa Catarina**

---

**Membro Titular:** Samuel Luiz Fioreze



**Titulação** Doutor

**Área de concentração em** Produção vegetal

**Universidade do Estado de Santa Catarina**

---

**Membro Titular:** Ivan Sestari



**Titulação** Doutor

**Área de concentração em** Agronomia

**Universidade Federal de Santa Catarina**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e pelas oportunidades concedidas.

A toda minha família, em especial meus pais Mateus Besen e Lيامar Bernadete Varela Besen pelo constante apoio, confiança e ensinamentos.

A todos os mestres e demais servidores da UFSC-Curitibanos pela competência e por terem participado efetivamente nessa conquista. Em especial ao meu orientador prof. Dr. Jonatas Thiago Piva pela oportunidade, pela amizade e ensinamentos. Foi uma imensa satisfação a realização desse trabalho.

Agradeço a minha namorada Bruna Ortiz, pelo apoio e bons momentos compartilhados.

Aos colegas pela amizade e por todos os momentos compartilhados. Momentos esses que se tornaram ótimas lembranças.

Agradeço imensamente ao Grupo de Pesquisa em Manejo e Fertilidade do Solo pela ajuda na condução desse trabalho. Em especial a Ricardo Ribeiro, pelo auxílio e constante troca de idéias.

A todos vocês, muito obrigado!

## RESUMO

O Nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade, com maior custo e o que mais influencia a produtividade das culturas do milho e trigo, porém está sujeito a consideráveis perdas, principalmente por lixiviação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ), além de emissão de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), um dos principais gases causadores do efeito estufa. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes fertilizantes nitrogenados disponíveis na região de Curitiba, aplicados em cobertura nas culturas de milho e trigo sob a volatilização de amônia, emissão de óxido nitroso, e resposta a produtividade das culturas do trigo e milho, além da influência na emissão de metano. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se na aplicação das seguintes fontes de N: Ureia (45% N); Fertilizante mineral misto (30% N (nitrato) + 1% Ca); Ureia encapsulada com polímero de ação física (45% N); Ureia com tecnologia Uremax+NBPT (45%N) e testemunha (sem N). Não houve diferença entre as fontes de N sobre a produtividade de milho e trigo. As formas de ureia tratadas apresentaram tendência em reduzir as perdas por volatilização de amônia. A aplicação de fertilizantes nitrogenados aumentou a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ , sendo que fontes nítricas apresentaram maior potencial de emissão nas condições de realização desse estudo. A aplicação de fertilizantes nitrogenados interfere na oxidação de  $\text{CH}_4$ , sendo esse efeito, mais expressivo quando fontes amídicas, são utilizadas.

**Palavras chaves:** Óxido nitroso. Metano. Volatilização de amônia. Ureia protegida.

## ABSTRACT

The nitrogen it's a nutrient required in more quantity, with more cost and is the one that has more influence on the yields of corn and wheat, but it's exposed to considerable losses, mainly through the nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) lixiviation, ammonia ( $\text{NH}_3$ ) volatilization, besides the nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ) emission, one of the mainly gases causing the greenhouse effect. The objective of the current research was evaluate the effect of different nitrogen fertilizers available in the Curitiba region, applied in the cover way on corn and wheat, monitoring the indices of ammonia volatilization, nitrous oxide emission, the yield responses of the corn and wheat, and in addition the influence on methane emission. The experiment had randomized design utilizing random blocks, with four repetitions. The different treatments were constituted of nitrogen application on the following sources: urea (45%N), mix of mineral fertilizer (30% N(nitric) + 1% Ca); Urea encapsulated with physical action polymer (45% N); Urea with technology Uremax+NBPT (45% N) and witness (without N). There was no difference between the nitrogen sources on the corn and wheat productivity yields. The urea treated forms showed tendency to reduce the ammonia volatilization loss. The application of nitrogen fertilizers increased the  $\text{N}_2\text{O}$  emissions, where the nitric sources presented more emission potential on the conditions of this study. The application of nitrogen fertilizers interfere on the CH oxidation, and this effect, it's more expressive when amidic sources are utilized.

**Key words:** Nitrous oxide. Methane. Ammonia volatilization. Protected urea.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Pluviosidade e temperatura média diária durante o período do experimento Curitibaanos, SC. 2013/14. ....	20
<b>Figura 2</b> Volatilização de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados na cultura do milho.....	31
<b>Figura 3</b> Perda acumulada de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura na cultura do milho. ....	34
<b>Figura 4</b> Volatilização de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados na cultura do trigo. ....	36
<b>Figura 5</b> Perda acumulada de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura na cultura do trigo.....	37
<b>Figura 6</b> Fluxo de óxido nitroso em solo cultivado com milho submetido a fontes de Nitrogênio.....	40
<b>Figura 7</b> Emissão acumulada de N <sub>2</sub> O em solo cultivado com milho submetido a fontes de Nitrogênio ....	42
<b>Figura 8</b> Fluxo de oxido nitroso em solo cultivado com trigo submetido a fontes de nitrogênio.....	43
<b>Figura 9</b> Emissão acumulada de óxido nitroso em solo cultivado com trigo, submetido a fontes de Nitrogênio.....	45
<b>Figura 10</b> Fluxo de metano em solo cultivado com milho submetido a diferentes fertilizantes nitrogenados ....	47
<b>Figura 11</b> Emissão acumulada de CH <sub>4</sub> em solo cultivado com a cultura do milho, submetido a fontes de nitrogênio ....	49
<b>Figura 12</b> Fluxo de metano em solo cultivado com trigo submetido a diferentes fertilizantes nitrogenados.....	50
<b>Figura 13</b> Emissão acumulada de CH <sub>4</sub> em solo cultivado com a cultura do trigo, submetido a fontes de nitrogênio ....	51



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> Caracterização química da área em estudo na camada de 0-20 cm, antes da implantação do experimento.....	19
<b>Tabela 2</b> Aspectos biométricos e componentes de rendimento de milho, submetido a fontes de Nitrogênio.....	26
<b>Tabela 3</b> Aspectos biométricos e componentes de rendimento de trigo submetido a fontes de Nitrogênio.....	29
<b>Tabela 4</b> Fator de emissão de óxido nitroso de fertilizantes nitrogenados aplicados na cultura do milho e do trigo.....	46

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
1.1 JUSTIFICATIVA .....	11
1.2 OBJETIVOS .....	12
<b>1.2.1 Objetivo geral</b> .....	12
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	12
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
2.1 MILHO .....	13
2.2 TRIGO .....	13
2.3 IMPORTÂNCIA DO N PARA AS CULTURAS DO MILHO E TRIGO .....	14
2.4 FONTES DE NITROGÊNIO .....	15
2.5 PERDAS DE NITROGÊNIO .....	16
2.6 GASES DO EFEITO ESTUFA.....	17
2.7 IMPACTOS AMBIENTAIS .....	18
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	19
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS .....	20
3.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	20
<b>3.4.1 Avaliação de perdas por volatilização de NH<sub>3</sub></b> .....	21
<b>3.4.2 Avaliações dos Gases de Efeito Estufa</b> .....	21
<b>3.4.3 Aspectos biométricos, componentes de rendimento e produtividade de grãos de milho</b> .....	23
<b>3.4.4 Aspectos biométricos, componentes do rendimento e produtividade de trigo</b> .....	24
3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	24
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	25
4.1 ASPECTOS BIOMÉTRICOS, COMPONENTES DE RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO SUBMETIDO A FONTES DE NITROGÊNIO ...	25
4.2 ASPECTOS BIOMÉTRICOS, COMPONENTES DE RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DE TRIGO SUBMETIDO A FONTES DE NITROGÊNIO ...	28
4.3 PERDAS DE NITROGÊNIO POR VOLATILIZAÇÃO DE N-NH <sub>3</sub> DE FONTES DE N APLICADAS NAS CULTURAS DO MILHO .....	31
4.4 PERDAS DE NITROGÊNIO POR VOLATILIZAÇÃO DE N-NH <sub>3</sub> DE FONTES DE N APLICADAS NA CULTURA DO TRIGO .....	35

4.5 EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO INFLUENCIADA POR FONTES DE N APLICADAS NA CULTURA DO MILHO E DO TRIGO.....	39
4.5.1 FATOR DE EMISSÃO DE N <sub>2</sub> O .....	45
4.6 EMISSÕES DE METANO AFETADO POR FONTES DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO E DO TRIGO.....	46
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O milho está entre os mais importantes cereais cultivados no mundo e no Brasil, recebendo nos últimos anos aumento significativo de investimentos pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário. O milho está entre as culturas que mais evoluiu no país nos últimos anos em termos tecnológicos, beneficiando desta forma também os agricultores, possibilitando maiores produtividades em menores áreas de cultivo (NEAD, 2012).

O trigo por sua vez, trata-se de uma cultura de inverno de relevada importância para o Sul do Brasil, pois é uma das poucas opções para se obter renda na estação fria do ano. Por tanto além de proporcionar retorno econômico, o cultivo do trigo protege o solo fornecendo palhada para as culturas de verão em sucessão, principalmente soja, milho e feijão (FAVARATO et al., 2012), sendo dessa forma uma ótima opção de cultivo para os sistemas agrícolas do planalto catarinense.

Segundo a consultoria Safras & Mercado (2014) a área semeada de trigo no Brasil em 2014 atingiu aproximadamente 2,468 milhões de hectares, o que corresponde a uma alta de 12,9 % comparada a área plantada em 2013, tal fato deve-se principalmente ao estímulo de preços mais atrativos e ao manejo da adubação, através da maior eficiência do uso dos nutrientes, em especial do nitrogênio (N), o que é essencial para que cada vez mais agricultores incorporem o trigo sob plantio direto em seus sistemas de produção agrícola.

Para obtenção de maiores produtividades nas culturas de grãos, principalmente de milho e trigo, uma das variáveis determinantes é o fornecimento de nutrientes no momento certo e na dose adequada, entre os quais tem ênfase o nitrogênio (MALAVOLTA, 2006). O N é um dos nutrientes absorvidos e requerido em maior quantidade por ambas as culturas, podendo assim ser também o nutriente mais limitante para as mesmas (AMADO et al., 2002).

Para que ocorra o suprimento adequado de N para as culturas, existe a opção de inúmeros fertilizantes nitrogenados, sendo que a ureia é a principal fonte de nitrogênio utilizada no Brasil, devido ao fato de possuir alta concentração de N (45% de N na forma de amina) e menor preço por unidade de produto. Porém possui algumas desvantagens, como maiores índices de perdas por volatilização na forma de amônia ( $\text{NH}_3$ ), perdas por lixiviação na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (CIVARDI et al.,

2011; SILVA et al., 2012) e emissão na forma de óxido nitroso ( $N_2O$ ), (DOBBIE; SMITH, 2003; ZANATA, 2009).

A perda de nitrogênio por volatilização de amônia para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da ureia fertilizante aplicado sobre a superfície do solo (ZAVASCHI, 2010). Em sistemas de plantio direto consolidado, as perdas podem chegar a 70% do N aplicado, influenciada por condições climáticas, cobertura do solo entre outros fatores que possam favorecer a ação enzimática da uréase (ROCHA, 2014).

O  $N_2O$  emitido por fertilizantes nitrogenados é um dos três gases que compõem os gases de efeito estufa (GEE), sua molécula possui um elevado potencial de aquecimento global (PAG), sendo que apenas uma molécula de  $N_2O$  com meia vida na atmosfera (114 anos), apresenta um PAG equivalente a 298 moléculas de dióxido de carbono. Acredita-se que possa ocorrer um aumento das concentrações de  $N_2O$  nas próximas décadas, devido à tendência de expansão agrícola nos países em desenvolvimento e o crescente aumento no consumo de fertilizantes nitrogenados (ALVES et al., 2012).

É essencial que o manejo da adubação nitrogenada, incluindo a fonte de N utilizada atenda a demanda das plantas, maximizando a eficiência agrônômica do nitrogênio e minimizando os impactos ambientais com a redução de perdas e custo (MIOZZO et al., 2012).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A agricultura familiar produz cerca de 46 % do milho e 21% do trigo do país (MÜLLER et al.,2014), sendo o cultivo desses cereais de extrema importância e fonte de renda para as propriedades rurais. Segundo apontado pela CONAB (2015) a média nacional de milho estimada para a safra 2014/2015 é 5161 kg por ha<sup>-1</sup>, muito aquém do que pode ser obtido com níveis de manejo e adubação mais adequados. Para que possamos incrementar essa produtividade se faz necessário a adoção de uma série de fatores, entre os quais, o correto manejo e escolha da fonte mais adequada de N, elemento mais requerido por ambas as culturas.

O N é um elemento móvel, muito dinâmico no solo, sendo essencial às plantas. Para obter níveis adequados de N no solo se faz necessário o fornecimento de N mineral as culturas, pois os solos dificilmente fornecem as plantas todo o nutriente requerido durante seu ciclo. Contudo, os fertilizantes nitrogenados contribuem significativamente no custo de produção e estão sujeitos a perdas, principalmente por volatilização de NH<sub>3</sub>, lixiviação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e também pela emissão de N<sub>2</sub>O, principalmente em condições de solo e clima favoráveis ao processo de desnitrificação (PIVA, 2012).

O N<sub>2</sub>O é altamente impactante no meio ambiente, sendo um dos principais GEE. Em termos globais, 60% do N<sub>2</sub>O que é emitido constantemente é proveniente da agricultura, devido entre outras atividades a prática de fertilização nitrogenada (ALVES et al., 2012).

Desta maneira, vários produtos vêm sendo lançados no mercado com o intuito de amenizar essas perdas, sendo que alguns produtos asseguram reduzir as perdas de N, melhorando a eficiência e gerando ganhos na produtividade, porem se faz necessário estudos a campo que busquem otimizar as informações desses diferentes produtos, haja visto que além do custo, se manejados inadequadamente poderão causar impactos severos ao ambiente.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o comportamento de diferentes fontes de N aplicados em cobertura no milho e trigo sob SPD e identificar quais minimizam as perdas e favorecem a produtividade.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar a fonte nitrogenada que apresente o melhor desempenho agrônômico em condições de campo sob plantio direto no planalto Catarinense.
- Quantificar a emissão de  $N_2O$  e  $CH_4$ , em função do tipo de fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura sob plantio direto no planalto Catarinense.
- Quantificar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia ( $NH_3$ ) e verificar o comportamento das formas tratadas de ureia em reduzir as perdas por volatilização.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MILHO

Entre os vários produtos gerados pela agropecuária Brasileira, o milho está entre os mais importantes, recebendo nos últimos anos aumento significativo de investimentos. Outro fato que exemplifica sua importância se dá por ser justamente a cultura que mais recebe custeio do Pronaf (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar). O milho também está entre as culturas que mais evoluíram no país nos últimos anos em termos tecnológicos, beneficiando desta forma todos os agricultores (NEAD, 2012).

Em Santa Catarina os sistemas produtivos de milho diferem, devido principalmente as condições climáticas e de solo das diferentes regiões produtoras, além é claro da adoção da tecnologia empregada no cultivo deste cereal (EPAGRI, 2014). Segundo a Conab (2015) a estimativa de produção nacional de milho da primeira safra no exercício 2014/15, apontou para uma produção de 30.831 mil toneladas, representando um decréscimo de 2,6 % em relação ao ano anterior. A consolidação da produção brasileira do milho reunindo as duas safras deverá atingir nesta temporada patamares de 80.204,4 mil toneladas, o que representa um acréscimo de 0,2% em relação à produção passada (CONAB, 2015).

### 2.2 TRIGO

O trigo é uma cultura de inverno de relevada importância para o Sul do Brasil, pois é uma das poucas opções para se obter renda na estação fria do ano. Por tanto além de proporcionar retorno econômico, o cultivo do trigo protege o solo, fornecendo palhada para as culturas em sucessão, principalmente, soja, milho e feijão (FAVARATO et al., 2012), sendo uma ótima opção de cultivo para os sistemas agrícolas do planalto Catarinense.

Segundo a Conab (2014) a área nacional plantada de trigo na safra 2014 apresentou um incremento de 16,6% em relação à safra anterior, com isso a área plantada foi de 2.209,8 mil hectares, sendo que em Santa Catarina foram cultivados cerca de 72,6 mil hectares, registrando incremento em relação à safra passada de 54,5% na produtividade e de 67,2% na produção, havendo também um aumento na



qualidade deste cereal. Para este ano a previsão é de que haja uma redução na área cultivada com trigo de 9,2% em relação a 2014.

### 2.3 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO PARA AS CULTURAS DO MILHO E TRIGO

Para obtenção de produtividades cada vez mais satisfatórias uma das variáveis determinantes é o fornecimento de nutrientes, entre os quais tem ênfase o nitrogênio, pois este é essencial por atuar na participação da composição de aminoácidos, proteína, clorofila e inúmeras enzimas essenciais e vitais ao crescimento e desenvolvimento da planta (MALAVOLTA, 2006). De acordo com Farinelli e Lemos (2010) o nitrogênio é um nutriente que atua e influencia intensamente o desenvolvimento vegetativo, interferindo diretamente na divisão e expansão celular e no processo fotossintético da planta.

O milho é uma cultura altamente responsiva ao N, apresentando incrementos significativos em várias características que influenciam a produtividade final (OHLAND et al., 2005). A disponibilidade do N no solo está vinculada, dentre outros fatores com a relação carbono/nitrogênio (C/N) dos resíduos culturais das plantas anteriormente cultivadas como cobertura de solo (AMADO et al., 2000).

Da mesma forma, para obtenção de altas produtividades de trigo é indispensável o uso de cultivares com alto potencial produtivo e adubação nitrogenada, sendo que o manejo do N, ao que se refere à época, doses e fontes requer cuidados, haja visto que doses baixas limitarão a produtividade, em contra partida altas doses podem levar ao acamamento, o que dificulta a colheita, prejudicando a produtividade (TEIXEIRA et al., 2010).

A adubação nitrogenada de cobertura no trigo é prática de fundamental importância, principalmente nos períodos em que o potencial de rendimento está sendo estabelecido, pois auxilia o desenvolvimento das plantas apresentando alta relação com a produtividade obtida. Os componentes do rendimento como o número de espigas por área, assim como o número de espiguetas por espigas, são altamente influenciados pela variação do momento em que o N é fornecido. Importante relatar que a falta de N na cultura do trigo no período compreendido entre a fase inicial até o início da diferenciação do primórdio floral, reduz a formação de espiguetas (FRANK; BAUER, 1996).

O Nitrogênio é abundante na atmosfera, porém as gramíneas tais como o milho e trigo não possuem a capacidade de fixar este elemento através de associação com bactérias, por esse motivo sua necessidade às culturas deve ser suprida através de fertilizantes minerais (SARTOR, 2009). Segundo Amado et al. (2002) a quantidade de N necessária para otimizar o rendimento de grãos de milho em condições climáticas favoráveis pode alcançar valores superiores a  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, o que novamente comprova a necessidade de suprir esse elemento a partir da aplicação de fertilizantes nitrogenados a cultura.

A resposta da cultura do milho ao nitrogênio para obtenção de um adequado desempenho depende de fatores como o manejo da dose de nitrogênio a ser aplicada, época de aplicação do adubo e além da interferência exercida pelas condições edafoclimáticas e pelos microrganismos do solo, sendo fundamental a escolha da fonte nitrogenada adequada (OKUMURA et al., 2011), mesmas implicações servem para o cultivo do trigo.

## 2.4 FONTES DE NITROGÊNIO

Para que ocorra o suprimento de N em níveis adequados para as culturas do milho e do trigo, existe a opção de inúmeros fertilizantes nitrogenados. Sabe-se porém que a ureia é a principal fonte de nitrogênio utilizada no Brasil, devido principalmente ao fato de possuir alta concentração de nitrogênio (45% de N na forma de amina) e menor preço por unidade de N, porém possui desvantagens como altos índices de perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$ , além de perdas por lixiviação (CIVARDI et al., 2011; SILVA et al., 2012). A ureia é obtida por reação da amônia e gás carbônico sob alta pressão na presença de um catalisador (CHAGAS, 2007), possuindo um alto custo energético para a obtenção do produto.

Para minimizar as perdas com a utilização de fertilizantes mais solúveis como a ureia, algumas estratégias surgem eventualmente no mercado, a exemplo da utilização de fertilizantes nitrogenados com liberação controlada. De acordo com Cantarella (2007), com utilização desses fertilizantes a disponibilidade para as plantas é gradativa, pois esses apresentam uma camada de proteção que diminui as perdas por volatilização e lixiviação, fornecendo dessa maneira o N gradativamente ao longo do ciclo da cultura.

Outra opção encontrada no mercado é a ureia tratada com inibidores da urease, os quais tendem a reduzir as perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização, pois atuam de tal forma a ocupar o local ativo da enzima uréase que é responsável pela hidrólise da ureia (CANTARELLA, 2007). Muitos produtos já foram testados e dentre eles o NBPT (N (n-butil) tiofosfórico triamida), tem demonstrado boa eficiência na redução das perdas (SCIVITTARO et al., 2010). O NBPT não é um inibidor direto da urease, pois após ser aplicado ao solo o NBPT tem que ser convertido ao seu análogo de oxigênio (N (n-butil) fosfórico triamida), o NBPTO – que é o verdadeiro inibidor da atividade da enzima (CHRISTIANSON et al., 1990).

Os fertilizantes de liberação lenta possuem inúmeras vantagens, tais como, fornecimento regular e contínuo do nutriente à planta, redução de perdas de nutriente devido à redução da volatilização e lixiviação, menor frequência de aplicação em solos, eliminação de danos causados a raízes pela elevada concentração de sais, contribuição para redução da poluição ambiental, menor contaminação de águas devido ao menor risco de lixiviação de nitrato, dentre outros (GIRARDI; FILHO, 2003).

## 2.5 PERDAS DE NITROGÊNIO

O nitrogênio no solo é muito dinâmico, sendo que além das formas lábeis para as plantas, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), o nitrogênio também é encontrado na forma orgânica, porém esta não é absorvida pelas plantas. Quando se encontra na forma de  $\text{NO}_3^-$  está sujeito a processos de lixiviação, principalmente em condições de alta precipitação e percolação de água no perfil do solo, que ao atingir a água dos lençóis freáticos pode eutrofizá-la, devido ao aumento do teor deste íon (ROCHA, 2014).

Uma das principais formas de perdas de N nos sistemas de produção agrícola ocorre devido a volatilização de amônia, sendo que esse processo é influenciado por condições ambientais favoráveis e pode levar as perdas de até 75% do fertilizante nitrogenado aplicado. A uréia (45% de N) é amplamente utilizada como fertilizante, porém se aplicada sob condições climáticas desfavoráveis, ou seja, solo com umidade insuficiente para a solubilização do fertilizante eleva-se as perdas, diminuindo a eficiência de uso do N aplicado em cobertura (ROCHA, 2014).

## 2.6 GASES DO EFEITO ESTUFA

As mudanças climáticas que vêm ocorrendo de forma mais intensa no planeta nas últimas décadas são decorrentes principalmente do aumento na emissão de gases do efeito estufa (GEE), tais como, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (IPCC, 2007).

As atividades antrópicas as quais foram intensificadas a partir da revolução industrial geram várias fontes de emissões de GEE, principalmente decorrente de certas atividades, à exemplo de queima de combustíveis fósseis, desmatamento, queimadas, preparo do solo de forma intensiva, drenagem de pântanos, e uso inadequado de fertilizante nitrogenados, entre outros (MAPA, 2012). A agricultura é a atividade econômica mais dependente do clima, sendo que é altamente sensível e vulnerável as mudanças climáticas.

O  $\text{N}_2\text{O}$  é um dos três principais GEE. Apesar de sua baixa concentração na atmosfera comparada aos demais gases, o  $\text{N}_2\text{O}$  possui alta capacidade de absorver energia ultravioleta, além de possuir alta estabilidade na atmosfera, sendo considerado muito ativo no processo de aquecimento global (JANTALIA et al., 2006).

Em termos globais 60% do  $\text{N}_2\text{O}$  que é emitido constantemente é proveniente da agricultura, devido a atividades como, utilização de fertilizantes nitrogenados, deposição de esterco de animais e mineralização da matéria orgânica do solo, decomposição de resíduos orgânicos e uso de adubos orgânicos (ALVES et al., 2012).

O  $\text{N}_2\text{O}$  trata-se de um gás traço com grande contribuição para o efeito estufa do planeta, sendo que sua molécula possui um elevado potencial de aquecimento global (PAG). Uma molécula de  $\text{N}_2\text{O}$  com meia vida na atmosfera (114 anos) apresenta um PAG equivalente a 298 moléculas de dióxido de carbono. Devido ao conhecimento destas informações, o  $\text{N}_2\text{O}$  é considerado um dos gases mais importantes do efeito estufa. Grande parte desse aumento na emissão ocorreu a uma taxa anual de 0,7 ppb nos últimos 50 anos. Também existe uma tendência que possa ocorrer um aumento das concentrações de  $\text{N}_2\text{O}$  nas próximas décadas, devido à expansão agrícola nos países em desenvolvimento e o crescente aumento no consumo de fertilizantes nitrogenados (ALVES et al., 2012).

A nitrificação e a desnitrificação são os dois principais processos responsáveis pela emissão de o  $\text{N}_2\text{O}$  do solo, sendo que ambos os processos são

altamente dependentes da disponibilidade de oxigênio, temperatura do solo e do ar, condições de umidade e também da disponibilidade de nitrogênio, sendo que a nitrificação ocorre em condições aeróbicas, e a desnitrificação ocorre em condições anaeróbicas (LIMA, 2013).

Em relação ao  $\text{CH}_4$ , alterações na comunidade bacteriana do solo são o que determina se o solo é fonte ou dreno desse gás. A produção de  $\text{CH}_4$  ocorre através de bactérias anaeróbicas, pelo processo denominado de metanogênese, em condições de restrição de  $\text{O}_2$  no solo (HÜSTCH, 1998).

A adubação nitrogenada também influencia a oxidação do  $\text{CH}_4$  através da competição do íon  $\text{NH}_4^+$  com o  $\text{CH}_4$  pela enzima mono-oxigenase. Também segundo Hustch (1998), a acidificação do solo decorrente da adubação nitrogenada pode interferir no estabelecimento da população de bactérias metanotróficas, interferindo assim na oxidação do  $\text{CH}_4$  ao longo do tempo.

## 2.7 IMPACTOS AMBIENTAIS

O nitrogênio aplicado ao solo pode ser perdido por formas que podem causar poluição, tais como perda de nitrato por lixiviação, volatilização de amônia e perda de óxido nitroso durante os processos de desnitrificação (IFA; UNEP, 2000). O uso desses fertilizantes nitrogenados resulta em emissões diretas de GEE a exemplo das emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  que ocorrem no processo de fabricação e na aplicação ao solo do N (SAMBUICHI et al., 2012).

Perdas de amônia para a atmosfera e sua deposição subsequente contribuem para a eutrofização de habitats naturais, águas marinhas e também para a acidificação de solos e lagos, quando o  $\text{NH}_4^+$  é convertido a  $\text{NO}_3^-$  (IFA; UNEP, 2000). O nitrato é considerado a principal forma de nitrogênio associada à contaminação da água pelas atividades agrícolas tais como aplicação excessiva de fertilizantes nitrogenados. Os íons de nitratos devido ao fato de não serem retidos na fase sólida do solo, normalmente são dissolvidos em sua solução, podendo ser lixiviados em função da percolação da água no perfil do solo, reduzindo assim, sua disponibilidade para as plantas, com graves riscos de contaminação das águas de superfície e subsuperfície (JADOSKI et al., 2010).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

Os experimentos foram conduzidos à campo, na área experimental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Curitibanos, SC, situada a uma latitude 27°16'26.55" sul e a uma longitude de 50°30'14.41" oeste, estando a uma altitude média de 1000 metros. O clima é classificado como Cfb temperado com temperatura média entre 15°C e 25°C, tendo uma precipitação media anual de 1500 mm. O solo na área experimental é classificado como Cambissolo Háplico de textura argilosa (550 g kg<sup>-1</sup> de argila).

Antes do início do experimento foi realizada análise do solo (Tabela 1), a fim de se obter uma caracterização química da área do presente estudo. Posteriormente, baseados no Manual de Calagem e Adubação para Santa Catarina e pro Rio Grande do Sul (2004) realizou-se a interpretação e recomendação de adubação objetivando uma produção esperada de 8000 kg ha<sup>-1</sup> de milho e 4.000 kg ha<sup>-1</sup> de trigo, sendo o N fornecido em cobertura conforme os tratamentos estabelecidos.

Tabela 1. Caracterização química da área de estudo na camada de 0-20 cm, antes da implantação do experimento. Curitibanos, SC. 2013.

Profundidade	MO	pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	V	m
cm	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	-----	-----	-----	-----%	-----
0,0 – 20,0	53,61	6,6	10,7	0,13	7,98	3,61	0,00	85,31	0,00

☐

Dados de precipitação pluviométrica e temperaturas médias diárias do ar foram obtidos através de uma estação meteorológica situada próxima ao local do experimento (Figura 1).

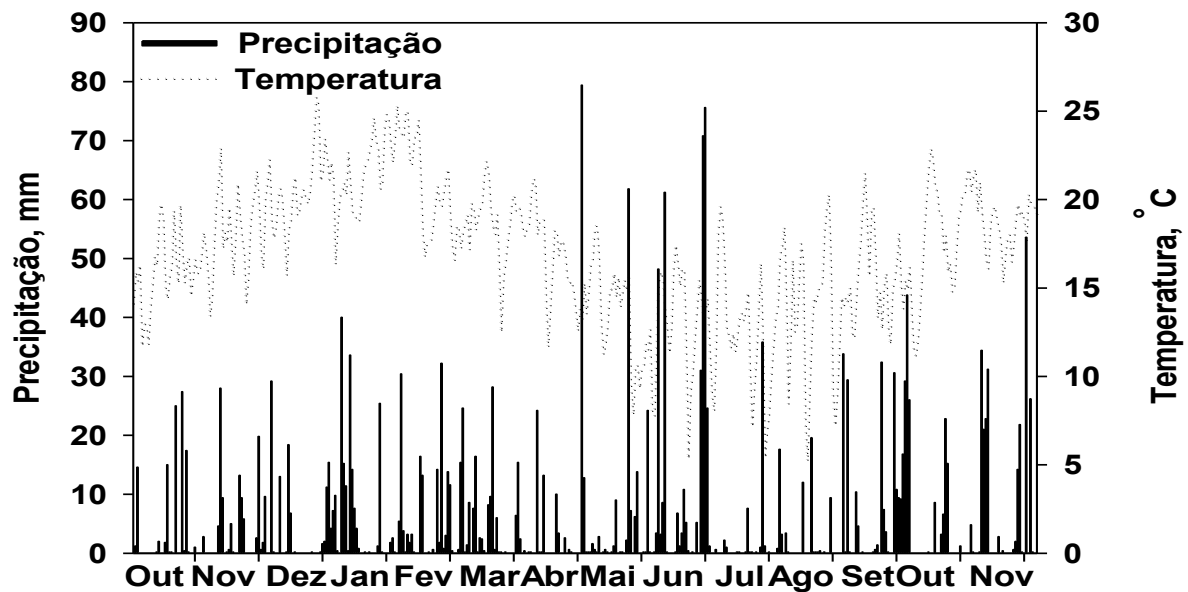


Figura 1. Pluviosidade e temperatura média diária durante o período do experimento. Fonte: INMET, Curitiba, SC, 2013/14.

### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Foram conduzidos dois experimentos, um com a cultura do milho e um com o trigo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com cinco tratamentos e 4 repetições. As parcelas possuíam dimensões de 16 m<sup>2</sup> (4m x 4m). Os tratamentos utilizados foram diferentes fontes de N, com diferentes formas de liberação de N: i: Ureia (45% N); ii: Fertilizante mineral misto (30% N (nitrato) + 1% Ca); iii: Ureia com polímero de ação física (45% N); iv: Ureia com tecnologia Uremax + NBPT (45% N) e v: Testemunha (sem N).

### 3.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A semeadura do milho foi realizada de acordo com o zoneamento de risco climático, no dia 11 de outubro de 2013, sobre palhada de aveia, utilizando o híbrido DKB 245, com densidade de 65 mil plantas por ha<sup>-1</sup>. Na adubação de base foram aplicados 650 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 04-14-08. Os tratamentos culturais, tais como manejo de plantas daninhas e controle de pragas, seguiram recomendações técnicas para a

região. No milho a aplicação das fontes de N em cobertura foi realizada no estágio V4, pela escala de Hanway (CRUZ et al., 2008), aplicando 100 kg de N ha<sup>-1</sup>.

A semeadura do trigo foi realizada de acordo com o zoneamento agrícola de risco climático no dia 20 de junho de 2014, utilizando a cultivar CD 108 (adaptada para a Região) sob a palhada de milho cultivada anteriormente. Na adubação de base foram aplicados 450 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 00-12-12. A aplicação das fontes de N foi realizada no início do perfilhamento da cultura, sendo aplicados 120 kg de N ha<sup>-1</sup>.

#### **3.4.1 Avaliação de perdas por volatilização de NH<sub>3</sub>**

A avaliação de volatilização de NH<sub>3</sub> foi realizada pelo método de coletores semi abertos estáticos (CABEZAS; TREVELIN, 1990). Na cultura do milho as avaliações foram realizadas no 1°, 3°, 5°, 7°, 10°, 14°, 18° dias após a aplicação de N. Na cultura do trigo as avaliações foram realizadas no 1°, 3°, 5°, 7°, 9°, 12°, 15°, 20° dias após adubação nitrogenada.

O método consistiu em alocar uma base de metal de 15 cm de diâmetro fixa ao solo e sobre a base uma câmara cilíndrica de 35 cm de altura contendo dois anéis de espuma embebidos com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e glicerina (2%). Um dos anéis situava-se no topo da câmara, visando eliminar interferências da NH<sub>3</sub> da atmosfera, e o outro a 20 cm do solo que coletava a NH<sub>3</sub> do solo, proveniente dos tratamentos. Após coletadas as espumas foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e armazenadas em geladeira até o momento da análise, sendo que no momento da análise as mesmas foram lavadas e o N foi quantificado por espectrofotometria, medindo-se a absorvância de cada amostra.

#### **3.4.2 Avaliações dos Gases de Efeito Estufa**

Foram quantificados os gases, óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e o metano (CH<sub>4</sub>). A quantificação dos gases foi realizada em todos os tratamentos, em três repetições.

O método de coleta utilizado foi o da câmara estática (MOSIER, 1989; PARKIN et al., 2003), onde utilizou-se uma base estática com diâmetro de 25 cm, a qual foi fixada a 5,0 cm de profundidade no solo. Sobre as bases estáticas foram montadas as câmaras com o mesmo diâmetro e 20 cm de altura, acompanhadas de



sistema de monitoramento de temperatura e um *cooler*, que acoplado a uma bateria, homogeneizava a amostra para a coleta.

As coletas de ar foram realizadas nos dias 1, 3, 5, 7, 10, 14, 18, após aplicação nitrogenada na cultura do milho. Na cultura do trigo optou-se por estender as coletas, avaliando dessa forma o efeito das fontes de N ao longo do ciclo da cultura do trigo, sendo assim as amostras de ar foram coletadas da seguinte forma: momentos antes da aplicação, visando uma caracterização local e nos dias 1, 3, 5, 7, 9, 12, 20, 44, 58, 72, 81 dias após aplicação do N. Os momentos de coletas de cada amostra seguiram intervalos de 15 minutos previamente definidos, imediatamente após a montagem da câmara sobre a base, tempo 0, 15 e 30 minutos. Para tal, se fez uso de seringa de polipropileno de 20 mL equipada com uma válvula de fechamento no orifício de saída.

No momento das coletas as seringas contendo os gases foram acondicionadas em caixa de isopor contendo bolsa gel congelada a fim de manter a temperatura interna abaixo de 5°C para manutenção de suas características. Em seguida, as amostras foram armazenadas e enviadas para o laboratório de análises do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), onde foram determinadas por cromatografia através do equipamento GC, Shimadzu 14-A.

Esse cromatógrafo é equipado com dois detectores: detector de ionização de chama (FID), para avaliação de CH<sub>4</sub>; e detector de captura de elétrons (ECD), para avaliações de N<sub>2</sub>O. A partir do conhecimento da concentração do gás e do volume total interno da câmara, foi possível calcular o volume do gás contido na câmara. Sendo que com essa informação, aliada a de temperatura interna da câmara (medida durante a sessão de coleta), de pressão atmosférica, considerada 1atm, e da constante universal do gás ideal (R), calculou-se, através da lei do gás ideal, o número de mols (n) e, a partir disso, a quantidade (massa) do gás contido na câmara. Considerando a área de solo contido na base da câmara, foi possível calcular a quantidade (massa) do gás que foi emitido por unidade de área por unidade de tempo. Durante os 30 minutos da sessão de coleta de ar (tempos 0, 15 e 30), ocorreu um incremento linear na concentração dos gases dentro da câmara estática. O coeficiente angular da equação da reta que descreve esse incremento linear na concentração correspondeu à taxa de emissão do gás (ppm min<sup>-1</sup> ou ppb min<sup>-1</sup>). Integrando-se os resultados de taxa de emissão obtidos ao longo dos

períodos de avaliação, foi possível obter a emissão acumulada de  $N_2O$  e  $CH_4$  por hectare.

Para a avaliação dos fatores de emissão (FE) de  $N_2O$ , a fração do N fertilizante emitida como  $N-N_2O$ , foi calculada com o quociente entre o total do gás acumulado no período de avaliação, pela quantidade de N aplicada como fertilizante.

### **3.4.3 Aspectos biométricos, componentes de rendimento e produtividade de grãos de milho**

Na cultura de milho foram avaliados os seguintes aspectos biométricos e componentes do rendimento: diâmetro do colmo, altura da planta, altura de inserção da primeira espiga, comprimento da espiga, número de fileiras por espiga, número de grãos por fileira, número de grãos por espiga, peso de mil grãos, rendimento total em  $kg$  por  $ha^{-1}$ .

A altura da planta foi mensurada desde a superfície do solo até a bainha da folha bandeira com a utilização de uma trena (m). O diâmetro do colmo foi determinado a 20 cm de altura do solo, com o uso de um paquímetro digital (mm) e a altura de inserção da espiga principal foi determinada desde a superfície do solo até a inserção da espiga, com utilização de uma trena (m).

Para as avaliações dos componentes do rendimento e produtividade se procedeu da seguinte forma: foram selecionadas ao acaso dez plantas por parcela, em seguida realizou-se a contagem do número de fileiras e de grãos por fileira da espiga principal de cada uma das plantas. Após, determinou-se o comprimento de espiga das mesmas. Para determinar a produtividade foi coletada uma área útil de  $20 m^2$  de forma manual, sendo feito em seguida a debulha com o auxílio de uma bateadeira de cereais, e posteriormente feita a realização da pesagem para o rendimento total, corrigindo a umidade para 14%. O peso de mil grãos foi determinado com auxílio de uma balança semi-analítica, corrigindo a umidade para 13 %.

#### **3.4.4 Aspectos biométricos, componentes do rendimento e produtividade de trigo**

Foram avaliados os seguintes aspectos biométricos e componentes do rendimento: comprimento da espiga (CE) em centímetros; estatura de planta (EP) em centímetros; número de espigas por metro quadrado (Espigas m<sup>2</sup>); número de grãos por espiga (NGE); massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos.

Discriminou-se a estatura de plantas no início da fase de enchimento de grãos, como sendo a distância do nível do solo até a extremidade das espigas, excluindo-se as aristas, de dez plantas por unidade experimental. O número de espigas por m<sup>2</sup> foi obtido através da contagem de espigas de dois metros das duas fileiras centrais de cada parcela, convertendo para espigas por m<sup>2</sup>.

O NGE foi obtido através da contagem de grãos de dez espigas, coletadas aleatoriamente na parcela. Contou-se 200 grãos e após mensurada sua massa pôde-se calcular a MMG.

A colheita do trigo foi realizada manualmente por unidade experimental após a maturação dos grãos, através da coleta de área útil de 4m<sup>2</sup> por unidade experimental, no dia 12 de novembro de 2014. O material colhido foi imediatamente trilhado mecanicamente e pesado. A produtividade foi obtida através da determinação da massa de grãos, corrigindo a umidade para 13% e extrapolando os dados para kg ha<sup>-1</sup>.

#### **3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS**

Os dados foram submetidos à análise da variância, a fim de verificar as possíveis diferenças entre os tratamentos. Para comparação entre as médias dos tratamentos, foi utilizado o teste de Tukey a 5% de significância.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ASPECTOS BIOMÉTRICOS, COMPONENTES DE RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO SUBMETIDO A FONTES DE NITROGÊNIO

O diâmetro do colmo foi influenciado pelos tratamentos aplicados (Tabela 2). O uso da ureia e do fertilizante mineral misto proporcionou os maiores valores, os quais foram significativamente superiores à testemunha. Os demais tratamentos não diferiram entre si (Tabela 2). Em estudo realizado por Cardoso et al. (2011) a fonte de N utilizada influenciou significativamente o diâmetro do colmo além do nitrogênio foliar. Segundo Fancelli e Dourado Netto (2000) o colmo é uma estrutura capaz de armazenar sólidos solúveis, os quais posteriormente contribuem na formação dos grãos, além de suportar folhas e inflorescências.

Para altura de inserção da espiga, não houve diferença entre os tratamentos que receberam N em cobertura, possivelmente por esta característica estar relacionada com o genótipo do híbrido, além da época de semeadura (Tabela 2). Porém, o tratamento testemunha apresentou-se significativamente inferior aos demais, possivelmente pela falta de N, visto que esse nutriente é essencial ao crescimento e desenvolvimento da planta. Os resultados obtidos corroboram com Leão (2008), que avaliando ureia revestida e convencional, observou apenas diferença significativa em relação ao tratamento testemunha. Meira (2006), avaliando doses de nitrogênio em distintas épocas de aplicação, com diferentes fontes de N, também não observou diferença significativa para esta variável.

A altura de plantas não foi influenciada pelas diferentes fontes de N, porém o tratamento testemunha, apresentou-se significativamente inferior a todos os tratamentos que receberam adubação nitrogenada em cobertura (Tabela 2). A altura de plantas é uma variável relacionada com a disponibilidade de nitrogênio no solo, visto que esse nutriente é essencial para a divisão e expansão celular além do processo fotossintético (CASTRO et al., 2008). Com base nesse pressuposto, sugere-se que a não aplicação de N em cobertura foi responsável pelos baixos valores obtidos mediante análise dessa variável. Os resultados obtidos vão ao encontro de estudo realizado por Silva et al. (2012), que avaliando a altura total da planta e diâmetro do caule na altura da inserção da primeira folha do baixeiro, a partir do uso de ureia convencional, de ureia encapsulada com polímero e ureia

revestida com uma camada de polímero e outra de carbonato, não encontraram diferença entre os tratamentos. Da mesma forma, Valderrama et al. (2014) não encontraram diferença entre a ureia convencional e ureias revestidas, sob a altura de plantas, diâmetro do segundo internódio e altura de inserção da primeira espiga. Assim como Valderrama et al. (2011), que avaliando a ureia convencional e ureia revestida em condições de cerrado, não encontraram diferença para altura de plantas, diâmetro do segundo internódio e inserção da primeira espiga, tanto para fontes quanto para as doses de N testadas.

Tabela 2. Aspectos biométricos e componentes do rendimento de milho, submetidos a fontes de nitrogênio: diâmetro do colmo (DC), altura da inserção da espiga (AIE), altura de plantas (AP), comprimento da espiga (CE), número de grãos por fileira (GF), número de fileiras de grãos por espiga (FE), número de grãos por espiga (GE), massa de mil grãos (MMG) de milho. Curitiba, SC. 2014.

Tratamentos	DC (mm)	AIE (cm)	AP (cm)	CE (cm)	GF	FE	GE	MMG (g)	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )
Testemunha	21,29 b	99,2 b	187,4 b	13,72 b	29,9 b	15,1 ns	450,39 b	326 b	6668 b
Ureia	25 a	132,45 a	222,95 a	15,73 ab	34,1 ab	15,3 ns	522,10 ab	356 ab	10370 a
Mineral misto	25,62 a	135,25 a	223,2 a	16,85 a	36,67 a	15,2 ns	557,56 a	376 a	10821 a
Ureia + polímero	23,82 ab	137,5 a	225,6 a	16,07 ab	34,9 a	15 ns	523,46 ab	359 ab	10419 a
Uréia + NBPT	23,45 ab	130,75 a	224,05 a	16,01 ab	34,7 a	15,1 ns	524,42 ab	372 a	10210 a
CV (%)	5,47	5,51	3,27	6,91	6,23	3,68	6,53	5,17	10,44

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O comprimento da espiga é um dos caracteres que pode interferir diretamente no número de grãos por fileira e conseqüentemente na produtividade da cultura do milho (KAPPES et al., 2009). Verifica-se que no presente estudo, esta variável não foi influenciada pelas fontes de nitrogênio, contudo o uso de fertilizante mineral misto obteve valores significativamente superiores ao tratamento sem N em cobertura (Tabela 2). Por sua vez o uso de ureia, seja ela convencional, com polímero ou com inibidor de uréase não resultou em diferenças para essa variável entre os demais tratamentos. Em estudo realizado por Kappes et al. (2009) as fontes de nitrogênio influenciaram o comprimento de espiga, além do diâmetro de sabugo e produtividade de grãos, em comparação aos tratamentos em que o nutriente não foi fornecido, sendo que entre as fontes não houve diferença significativa.

Para a variável grãos por fileira, as duas fontes de N tratadas a fim de reduzir as perdas de N por volatilização, assim como o fertilizante mineral misto apresentaram resultados superiores ao tratamento controle, diferindo significativamente do mesmo (Tabela 2). Porém, analisando o número de grãos por

espiga, apenas a fonte nítrica testada, ou seja, o fertilizante mineral misto diferiu da testemunha, sendo que as fontes amídicas avaliadas não diferiram dos demais tratamentos. Os resultados vão ao encontro do que verificado por Civardi et al. (2011) os quais não encontraram variações no número de grãos por espiga, entre fontes de N, quando realizada aplicação da mesma dose.

Em relação à variável analisada fileiras por espiga, não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 2), corroborando com Cavallet et al. (2000), que avaliando os efeitos da ureia e do sulfato de amônio no milho, com e sem aplicação, verificaram que o número de fileiras de grãos por espiga não foi influenciado, apresentando valor médio de 14 fileiras.

A massa de mil grãos, a qual trata-se de um importante componente da produtividade de grãos de milho, foi influenciada pelas fontes de nitrogênio (Tabela 2). O uso do fertilizante mineral misto e da ureia tratada com inibidor de uréase apresentaram 373 e 376 g, respectivamente, sendo significativamente superiores ao tratamento que não recebeu N em cobertura. Os demais tratamentos foram semelhantes entre si, onde a ureia convencional e ureia com polímero obtiveram massa de mil grãos de 356 g e 359 g, respectivamente. Os resultados encontrados divergem em parte do observado por Borrás e Otegui (2001), os quais citam que tal característica é pouco afetada por variações nas práticas de manejo e adubação. Haja visto que no presente estudo, as fontes ocasionaram influência sobre essa variável. Ainda segundo Fancelli (1986) a massa de grãos é fortemente influenciada no estágio de grãos leitoso, em especial pela disponibilidade de água.

O peso de mil grãos apresenta alta dependência da absorção de nitrogênio pelas plantas de milho, o qual alcança um pico durante os estádios de desenvolvimento compreendidos como o florescimento e o início da formação de grãos (ULGER et al., 1995). Com base nesse pressuposto é provável que tanto o fertilizante mineral misto, como a UR-NBTP, apresentaram maior conteúdo de N no solo no momento de maior exigência da cultura do milho, conseqüentemente foram assimilados de forma mais eficiente. Conforme Nehmi et al. (2004) a falta de nitrogênio diminui a densidade de grãos.

A produtividade de grãos decorrente das diferentes fontes de N, não diferiu entre os tratamentos contendo nitrogênio em cobertura (Tabela 2), corroborando com resultados obtidos por Silva et al. (2012) que não encontraram diferença para produtividade de grãos de milho, a partir do uso de diferentes fontes de N. Assim

como Kappes et al. (2009), os quais relataram que as fontes de nitrogênio testadas influenciaram a produtividade de grãos, em comparação aos tratamentos em que o nutriente não foi fornecido, sendo que, entre as fontes não houve diferença significativa. Pereira et al. (2009) no cultivo de milho safrinha no cerrado após a cultura da soja, também não observaram diferença significativa na produtividade de milho na dose de N de 80 kg ha<sup>-1</sup> da ureia comum, ureia com inibidor de uréase e ureia de liberação lenta. Em trabalho realizado por Souza e Sorato (2006), a produtividade do milho safrinha em sistema de plantio direto, também não foi afetada pela fonte de nitrogênio utilizada.

Nas condições do presente estudo obteve-se satisfatória produtividade de grãos, inclusive no tratamento controle (6668 kg ha<sup>-1</sup> de grãos), visto que esses valores são maiores que a média nacional estimada de milho primeira safra (4892 kg ha<sup>-1</sup>) para este ano e próximos aos 7385 kg ha<sup>-1</sup>, o qual representa a média de SC na safra 13/14 (CONAB, 2015). O alto nível de produtividade da testemunha pode ser atribuído ao nitrogênio oriundo do fertilizante utilizado na semeadura, da decomposição do resíduo do cultivo anterior e do alto teor de matéria orgânica da área em estudo (5,4 %). Kappes et al. (2009) também obtiveram altos valores de produtividade mesmo sem aplicação de N em cobertura.

#### 4.2 ASPECTOS BIOMÉTRICOS, COMPONENTES DE RENDIMENTO E PRODUTIVIDADE DE TRIGO SUBMETIDO A FONTES DE NITROGÊNIO

Os tratamentos avaliados na cultura do trigo não diferiram entre si para as variáveis: número de grãos por espiga, comprimento da espiga, e massa de mil grãos (Tabela 3). A altura de plantas foi influenciada pela aplicação de N, porém não houve diferença entre as fontes avaliadas (Tabela 3). Resultado semelhante foi observado por Teixeira Filho et al. (2010), cuja as fontes de nitrogênio: Entec, sulfato de amônio e ureia proporcionaram efeito similar sobre esse atributo, além da produtividade de grãos em cultivo irrigado. Yano et al. (2005) também não encontraram diferença significativa entre fontes de N (ureia, sulfato de amônio e nitrato de amônio), quanto à altura de plantas de trigo. Por sua vez em estudo realizado por Silva et al. (2008) a altura de plantas foi influenciada pelas fontes, sendo que a partir do uso da ureia obteve-se os maiores valores (0,80m), comparados ao tratamento com Entec (Sulfonitrato de amônio - 26 % de N), o qual

contem em sua composição moléculas de DMPP (dimetilpirazolfosfato) que atuam na inibição de nitrificação.

Tabela 3. Aspectos biométricos e componentes do rendimento de trigo, submetidos a fontes de Nitrogênio: estatura da planta (EP), espigas por m<sup>2</sup> (Esp m<sup>2</sup>), número de grãos por espiga (NGE), comprimento da espiga (CE), massa de mil grãos (MMG) e produtividade em kg ha<sup>-1</sup>. Curitiba, SC. 2014.

	EP (cm)	Espigas m <sup>2</sup>	NGE	CE (cm)	MMG (g)	Produtividade
Testemunha	78,5 b	324,32 b	26 ns	6,62 ns	40,25 ns	1331 b
Ureia	97,5 a	494,08 a	33 ns	8 ns	42,75 ns	3275 a
Mineral misto	98,5 a	504,96 a	35,25 ns	8,5 ns	41,45 ns	3106 a
Ureia com polímero	98,5 a	487,92 a	38,25 ns	8,5 ns	40,60 ns	3339 a
Ureia com NBPT	96,25 a	523,45 a	34 ns	8,37 ns	40,3 ns	3435 a
CV (%)	4,22	10,71	16,92	13,87	6,04	19,4

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A aplicação de N, independente da fonte, aumentou o número de espigas por m<sup>2</sup>, por estimular o perfilhamento, sendo este o principal componente relacionado ao aumento na produtividade, visto que a MMG e o NGE não foram influenciados pela aplicação de N (Tabela 3). De acordo com Valério et al. (2009) a prática de adubação nitrogenada na cultura do trigo é de fundamental importância para a emissão, desenvolvimento e sobrevivência dos perfilhos, sendo que estes apresentam relevante participação no rendimento.

Não houve diferença entre os tratamentos para número de grãos por espiga (NGE). Silva et al. (2008) testando fontes e épocas de aplicação de N, também não observaram diferença para esta variável. Porém Teixeira Filho et al. (2010), relataram influência da fonte de N para o NGE, sendo que a fonte sulfato de amônio proporcionou os maiores valores.

Já a variável CE (comprimento da espiga) não sofreu influência dos tratamentos (Tabela 3). Por tanto, mesmo sem aplicação de N os resultados não diferiram entre si. Dados esses que diferem dos encontrados por Freitas et al. (1994), os quais encontraram correlações significativas para essa variável sob determinados genótipos com o aumento de doses de N, sugerindo que tal característica é altamente influenciada pela adubação nitrogenada nas condições onde o estudo foi realizado.

Para a massa de mil grãos (MMG), também não houve diferenças entre os tratamentos, sendo que a média obtida foi de 35,2 g. Conforme citado no Guia de



Produtos Coodetec (2012) o peso médio de mil grãos é de 34 g, muito próximo ao obtido nesse trabalho. Os resultados corroboram com Silva et al. (2008) que não observaram resposta de fontes de N para esta variável, avaliando o efeito de Entec (inibidor de nitrificação), sulfato de amônio e ureia, aliado a épocas de aplicação e diferentes cultivares de trigo. Resultado esse, reforçado por Megda et al. (2006), que também não observaram resposta às fontes testadas e atribuíram que a MMG foi influenciada apenas pelo fator época de aplicação.

O rendimento da cultura do trigo nos tratamentos avaliados diferiu significativamente entre si, sendo que o tratamento controle obteve um rendimento de 1331 kg ha<sup>-1</sup>, inferior aos demais tratamentos, os quais não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 2). Corroborando com Megda et al. (2009) que avaliando as fontes de nitrogênio: nitrato de amônio, sulfato de amônio e ureia não verificaram diferenças em relação à produtividade de grãos, porém tais fontes foram superiores à testemunha. Em estudo realizado por Prando et al. (2013) o sulfato de amônio, a ureia + inibidor de uréase (NBPT) e a ureia revestida com polímeros não diferiram da ureia convencional, no desempenho produtivo do trigo em SPD. Em outro estudo realizado numa condição de clima temperado por Prando et al. (2012), onde avaliou-se as fontes de nitrogênio: ureia, ureia + NBPT e ureia revestida por polímero, não foi encontrada diferença em produtividade, massa de grãos, número de espigas por m<sup>2</sup>, altura de planta, N foliar e no grão.

Um dos principais fatores que pode ter contribuído para a ausência de diferença em termos de produtividade entre os tratamentos com aplicação de N, refere-se também como observado para a cultura do milho, ao alto teor da matéria orgânica (MO) na área em estudo, correspondente a 5,4 %. Isso, provavelmente influenciou no rendimento final da cultura pela maior disponibilidade de N, devido ao processo de mineralização do N da MO. Fato que reforça essa justificativa, consiste em estudos realizado por Wendling et al. (2007) onde solos com teor de MO de 4%, o suprimento de N pelo solo possibilitou obter produtividade de 2500 kg ha<sup>-1</sup> de trigo.

Os dados de rendimento obtidos no tratamento controle (1331 kg ha<sup>-1</sup>) foram razoáveis, visto que não houve adubação nitrogenada, porém muito aquém da média estadual, onde segundo consta em levantamento realizado pela CONAB (2015) a produtividade de grãos de trigo em 2014 no estado foi na ordem de 2939 kg ha<sup>-1</sup>. Demonstrando a essencialidade do fornecimento de nitrogênio a cultura tritícola. Vale ressaltar os moderados valores de produtividade obtidos do tratamento

controle nesse estudo, como indicador da importância do solo no suprimento de N à cultura, quando manejo sob sistema de plantio direto.

#### 4.3 PERDAS DE NITROGÊNIO POR VOLATILIZAÇÃO DE N-NH<sub>3</sub> DE FONTES DE N APLICADAS NAS CULTURAS DO MILHO

Os picos de volatilização ocorreram entre o terceiro e quinto dia após a aplicação de N para todos os tratamentos, e as taxas de volatilização decresceram a valores próximos ao do tratamento sem aplicação de N no sétimo dia posterior a adubação nitrogenada (Figura 2). Pode-se observar que a taxa de volatilização de N-NH<sub>3</sub> foi maior no terceiro dia após aplicação de N para o uso de ureia convencional (UR), havendo um pico de emissão de 84 g ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (Figura 2).

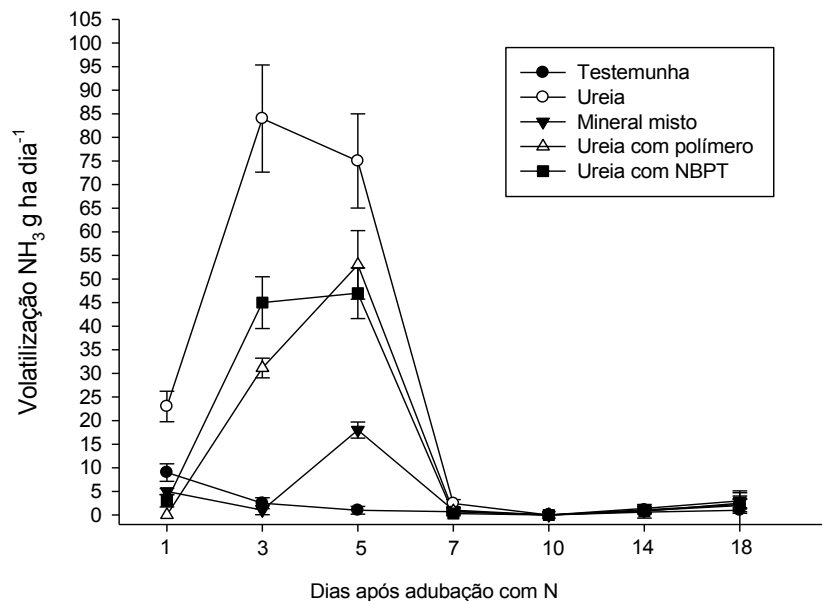


Figura 2. Volatilização de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados na cultura do milho. Curitiba, SC. 2013. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Os resultados vão ao encontro aos observados por Duarte et al. (2007) que sugere ser rápida a hidrólise da ureia pós aplicada, ocorrendo os picos de volatilização entre dois a três dias após aplicação. Já para a ureia revestida por polímero (UR + polímero) o pico de volatilização ocorreu no dia 5 após aplicação de N (53 g ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>), verificando que essa forma de tratamento de ureia retardou o pico de volatilização, comparada a ureia convencional. A UR-NBPT apresentou perdas

de N de mesma magnitude do terceiro ao quinto dia após aplicação de N, atingindo valores máximos de 47 g ha dia<sup>-1</sup>. Entre as fontes amídicas utilizadas, verificou-se que as formas tratadas de ureia, ou seja, UR + polímero e UR-NBPT reduziram as taxas de volatilização de NH<sub>3</sub> quando comparadas a ureia convencional.

Sugere-se que UR-NBPT apresentou esse comportamento devido ao efeito do inibidor, pois este ocupa o local de atuação da uréase e inativa a enzima (MOBLEY; HAUSINGER, 1989), retardando o início e reduzindo o grau de velocidade de volatilização de N-NH<sub>3</sub>. Como consequência do atraso na hidrólise a concentração de N-NH<sub>3</sub> presente na superfície do solo é reduzida, diminuindo dessa forma o potencial de volatilização de N-NH<sub>3</sub> e possibilitando o deslocamento da ureia para horizontes mais profundos do solo (CHRISTIANSON et al., 1990).

O comportamento da UR + polímero pode ser justificado por essa forma de N apresentar propriedade de dissolução mais lenta no solo (VITTI; REIRINCHS, 2007), sendo que o que se preconiza com a adoção dessas tecnologias de encapsulamento, é que estes formem uma camada protetora contra os agentes causadores da perda de N, e que esta proteção não interfira na disponibilização do nutriente a planta (SILVA et al., 2012).

Em relação ao fertilizante mineral misto (FMM), este apresentou pico de emissão de 18 g ha dia<sup>-1</sup>, no quinto dia após aplicação de N. Isso se deve por essa fonte conter N na forma nítrica, a qual sofre menos perda por volatilização e acidificam menos o solo, comparado as fontes amídicas. As perdas de fertilizantes nítricos normalmente ficam próximas a 1% (FONTOURA; BAYER 2010; LARA CABEZAS; SOUZA, 2008).

Nos dois primeiros dias após aplicação de N, não houve eventos de precipitação, somente no terceiro dia, o qual corresponde à segunda coleta, ocorrendo uma precipitação de 2,6 mm, com capacidade para alterar a umidade do solo e conseqüentemente a atividade da enzima uréase. No quarto dia após aplicação de N, ocorreu uma precipitação de 19,2 mm, sendo que no dia posterior novamente houve coleta e troca das espumas, ocorrendo nesse momento o pico de volatilização para FMM, UR + polímero e UR-NBPT. Sugere-se que os respectivos picos de volatilização tenham sido favorecidos pelo moderado aumento na umidade ocasionada pela chuva ocorrida ao entorno do coletor, visto que é sabido que ocorrem diferenças de umidade e temperatura na parte interna e externa do coletor. Em solos secos a uréia pode permanecer estável (VOLK, 1966), porem a taxa de

hidrólise aumenta conforme o teor de umidade do solo se eleva, até que este atinja 20%, sendo que a partir desse momento, a taxa de hidrólise é pouco afetada pelo teor de água (BREMNER; MULVANEY, 1978).

Tasca et al. (2011), avaliando ureia convencional e ureia com NBPT em solos, com 5, 10 e 20 % de umidade, observaram as maiores perdas de  $\text{NH}_3$  no solo com 10% de umidade, sendo que foram perdidos por volatilização, 28% de N proveniente da ureia convencional e 15% de N da ureia com inibidor de urease. Esses autores concluíram que o teor de água interferiu na volatilização de  $\text{NH}_3$ , sendo observadas as menores volatilizações em solo seco, possivelmente devido à baixa atividade da urease nessas condições (CANTARELLA et al., 2003).

No sétimo dia após aplicação de N, houve precipitação de 9,6 mm, a partir desse momento os tratamentos que receberam N, apresentaram comportamento semelhante ao tratamento controle (Figura 2). Na quinta coleta, que corresponde a dez dias após aplicação do N, ocorreu a maior precipitação registrada durante as avaliações de  $\text{N-NH}_3$  (29,2 mm), pressupondo que o excesso de umidade tenha ocasionado baixas taxas de volatilização a partir desse momento. Precipitações dessa magnitude podem interferir diretamente na volatilização de amônia. Segundo Cantarella e Marcelino (2006) a ocorrência de chuvas em um intervalo de três a sete dias após aplicação de N, são suficientes para incorporar a ureia ao solo, sendo essa a condição que mais favorece a eficiência do NBPT em reduzir as perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$ , visto que com o atraso da hidrólise da ureia, os grânulos do fertilizante permanecem mais tempo na superfície do solo à espera de uma chuva, que dependendo da intensidade incorpora o fertilizante ao solo.

As perdas acumuladas de ureia por volatilização de amônia foram consideravelmente pequenas, não ultrapassando em nenhum dos tratamentos avaliados, valores superiores a 1% do N aplicado. De acordo com Fontoura e Bayer (2010), as perdas de ureia por volatilização de amônia são altamente dependentes das condições do clima local. O  $\text{N-NH}_3$  acumulado proveniente da ureia convencional foi significativamente superior ao tratamento controle e ao fertilizante mineral misto (Figura 3). Evidencia-se que houve considerável tendência em redução das perdas de  $\text{N-NH}_3$ , mediante o uso da tecnologia UREMAX-NBPT e do polímero, sendo que ambos apresentaram comportamento semelhante, porém não diferindo significativamente dos demais tratamentos (Figura 3).

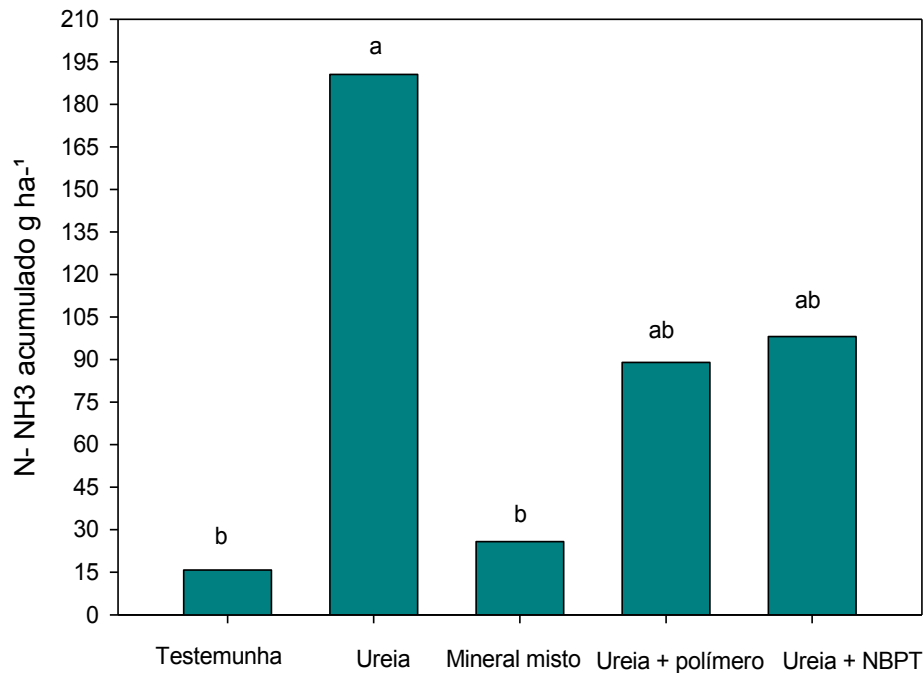


Figura 3. Perda acumulada de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura na cultura do milho. Curitibaanos, SC. 2014. Letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

As formas tratadas de ureia não diferiram significativamente do tratamento controle, corroborando com Santos (2013), que avaliando perdas de N por volatilização de ureia convencional e tratada com NBPT, sob pastagem de capim Marandu, não encontrou diferença significativa entre ureia tratada e o tratamento controle, em 12 e 24 horas após aplicação de N. Sendo que a partir das 36 horas após a adubação nitrogenada, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Fica claro que nas condições em que o experimento foi conduzido as perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> dos fertilizantes avaliados se apresentaram em ordem crescente da seguinte maneira: Testemunha < Fertilizante mineral misto < Ureia com polímero < Ureia com NBPT < Ureia convencional. Contudo, verifica-se que a UR-NBPT, reduziu em 49% as perdas de N-NH<sub>3</sub> em relação à ureia convencional. A UR + polímero foi mais eficiente, reduzindo em 54% as perdas de N-NH<sub>3</sub> em relação à ureia sem tratamento. Os dados obtidos corroboram com aqueles descritos por Pereira et al. (2009), trabalhando com milho safrinha, mostraram que os tratamentos com ureia revestida e ureia com inibidor de uréase reduziram a volatilização de N em torno de 50 % em relação à ureia comum. Barth et al. (2006) em estudo com

cana de açúcar, observaram perdas de  $\text{NH}_3$  de cerca de 24% do N aplicado como ureia e de 10% do N aplicado como ureia + NBPT, o que representa uma redução nas perdas de mais de 50% com o uso do inibidor.

A amônia é notadamente o principal produto da hidrólise ocasionada pela enzima urease no solo, podendo apresentar vários destinos, a qual é influenciada pelas condições ambientais, podendo o N ser absorvido pelas plantas, adsorvido pelos minerais de argila e oxidado a nitrato (VICTORIA et al., 1992). De acordo com Anghinoni (1985) outras perdas de N podem simultaneamente ocorrer, mascarando e até sobrepondo o efeito das perdas gasosas. Nesse sentido, no SPD, além das perdas por volatilização, pode ter havido imobilização, ainda que temporária.

Verifica-se que o comportamento de perdas por volatilização não influenciaram a produtividade de milho, sendo que as perdas foram consideravelmente baixas. Dessa forma pelo custo por kg de N, a ureia continua se apresentando como uma excelente fonte. Sugere-se que são necessário experimentos nas condições de clima e solo do presente estudo, que avaliem a redução da dose de N, quando se optar por formas de ureia de liberação lenta e/ou gradual, justificando seu uso no aspecto de eficiência e de custo ao produtor, à exemplo de estudos conduzidos que evidenciam que a produtividade das culturas pode ser mantida utilizando-se, aproximadamente, 70-80% da dose de N de fertilizantes de liberação lenta em relação à dose dos produtos comumente utilizados (BLAYLOCK, 2007).

#### 4.4 PERDAS DE NITROGÊNIO POR VOLATILIZAÇÃO DE $\text{N-NH}_3$ DE FONTES DE N APLICADAS NA CULTURA DO TRIGO

As perdas de  $\text{N-NH}_3$  foram consideravelmente maiores na cultura do trigo comparadas ao milho. A taxa de volatilização de  $\text{N-NH}_3$  foi maior no quinto dia após aplicação de N, para o uso de ureia convencional, havendo um pico de emissão de  $246,96 \text{ g ha dia}^{-1}$  (Figura 4). Para a ureia revestida por polímero, o pico de volatilização também ocorreu no dia 5 após aplicação de N, sendo estimadas perdas da ordem de  $171,11 \text{ g ha dia}^{-1}$ . Ao que se refere à ureia com tecnologia Uremax-NBPT, esta apresentou pico de volatilização de  $246,86 \text{ g ha dia}^{-1}$  no sétimo dia após aplicação de N. Torna-se evidente, que esta forma retardou o pico de volatilização de  $\text{N-NH}_3$ , porém os valores encontrados foram da mesma magnitude do pico

apresentado pela ureia convencional. Tasca et al. (2011) observaram que a adição de NBPT à ureia não influenciou a volatilização de  $\text{NH}_3$ , porém retardou o pico de perda máxima, assim como no presente estudo.

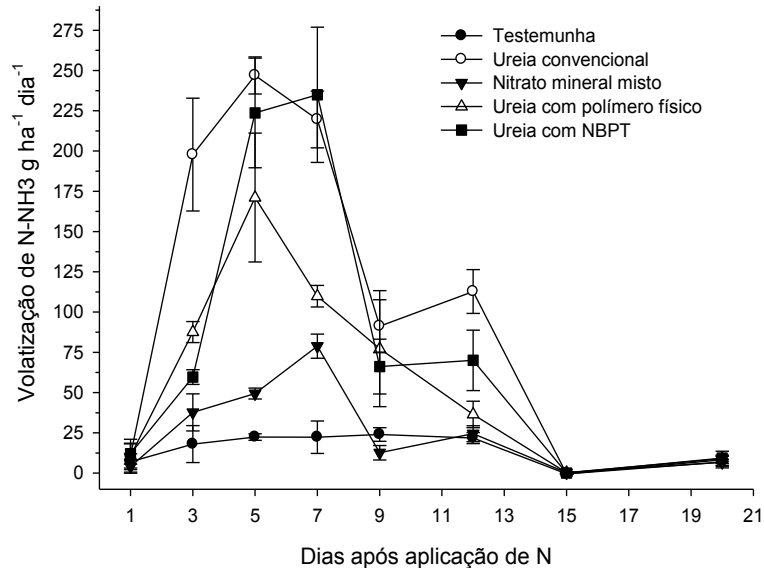


Figura 4. Volatilização de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados na cultura do trigo. Curitiba, SC. 2014. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Percebe-se que no sétimo dia após aplicação de N, o tratamento controle e o fertilizante mineral misto apresentaram seus respectivos picos de emissões. Visto que notadamente, fertilizantes nítricos não apresentarem taxas consideráveis de volatilização, sugere-se que determinado fator intrínseco ao sistema tenha contribuído para que tanto a fonte nítrica, assim como a testemunha apresentassem seus picos de  $\text{NH}_3$  volatilizado neste momento, a exemplo da elevada temperatura registrada (Figura 1), a qual aliada à precipitação de 10,6 mm no dia anterior a coleta pode ter contribuído para atividade da enzima urease, devido ao aumento na umidade do solo na parte externa do coletor, como já discutido anteriormente. Vale ressaltar que a amônia perdida por volatilização pode ser oriunda do amônio resultante da mineralização da matéria orgânica (FENN; KISSEL, 1973), o que ajuda a elucidar as respectivas taxas de emissões nesses tratamentos.

Na Figura 4, torna-se evidente que tanto a ureia convencional como a ureia com tecnologia Uremax-NBPT, diminuem suas respectivas taxas de volatilização aos nove dias após aplicação de N, sendo que a mesma é ampliada posteriormente no 12º dia após aplicação nitrogenada. Nos dias anteriores a essa data, houve

decréscimo nas temperaturas médias registradas em 4° comparadas ao dia que antecedeu a sexta coleta (Figura 1). Esse aumento de temperatura aliado a uma chuva de 12,8 mm, possivelmente tenha colaborado para maior atividade da enzima uréase, ocasionando dessa forma aumento nas taxas de volatilização. Conforme Bremner e Mulvaney, (1978), a hidrólise da ureia aumenta conforme a elevação da temperatura até 40°C, contudo as perdas por volatilização decaem significativamente com a redução da temperatura. Em estudo realizado por Ernst e Massey, (1960) as perdas de NH<sub>3</sub> foram reduzidas em 71 e 56% a 8° e a 16°C respectivamente, em comparação a observada a 32°C.

De acordo com os resultados obtidos de perda acumulada de N-NH<sub>3</sub>, o tratamento controle, o fertilizante mineral misto e a ureia com polímero não diferiram significativamente entre si (Figura 5). Ressalta-se que não houve diferença no N-NH<sub>3</sub> acumulado para ambas as fontes tratadas a fim de reduzir a volatilização em relação a ureia convencional. Isso mostra que as fontes tratadas não se sobressaíram em relação à ureia convencional mediante as análises estatísticas a qual esses tratamentos foram submetidos. Os resultados obtidos corroboram com Tasca et al. (2011) que ao trabalhar com fontes e doses de adubo nitrogenado não observaram diferenças entre as perdas acumuladas de NH<sub>3</sub> entre os tratamentos de ureia e ureia tratada com NBPT na dosagem de 100 kg de N ha<sup>-1</sup> aplicados no estado físico e líquido sob a superfície do solo.

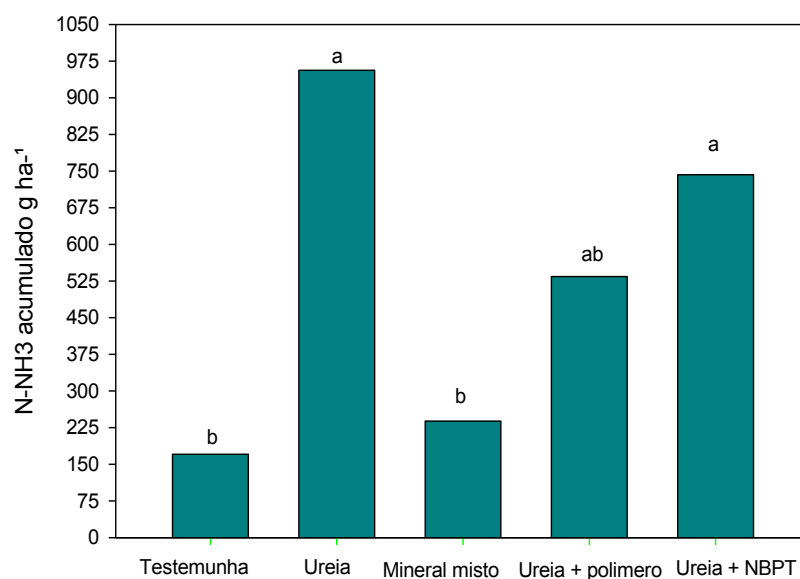


Figura 5. Perda acumulada de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura na cultura do trigo. Curitiba, SC. 2014. Letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.



No presente estudo, os resultados demonstram que a volatilização de  $\text{NH}_3$ , foi maior na cultura do trigo para todos os tratamentos avaliados comparados a cultura do milho. Os resultados encontrados nesse trabalho são diferentes daqueles obtidos por Viero (2011), o qual encontrou maiores perdas de amônia sob o cultivo de milho, comparado ao trigo na Região Centro Sul do Paraná. Vale ressaltar que no cultivo de trigo foram aplicados  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  a mais em cobertura, referente à dose aplicada no milho.

Nas condições em que o experimento foi conduzido durante o inverno no planalto catarinense as perdas por volatilização de  $\text{N-NH}_3$  dos tratamentos avaliados se apresentou em ordem crescente da seguinte maneira: Testemunha < Fertilizante mineral misto < Ureia com polímero < Ureia com tecnologia Uremax-NBPT < Ureia convencional. Apresentando dessa forma o mesmo comportamento observado na cultura do milho. Verifica-se que a UR-NBPT reduziu em 23% as perdas de N por volatilização, comparada à ureia convencional. Efeito mais expressivo foi encontrado através da ureia acrescida de polímero, a qual reduziu em 44 % as perdas de  $\text{N-NH}_3$ , em relação à ureia convencional. Resultado similar ao encontrado por Leão (2008) que observou que a partir do uso de ureia polimerizada, as perdas por volatilização de amônia foram reduzidas em 45 %, comparada a ureia convencional. Essa forma de ureia, a qual se enquadra no grupo de fertilizantes de liberação lenta, possibilita reduzir as perda de N, devido a barreira física das formas solúveis, reduzindo dessa forma a exposição do N ao meio e conseqüentemente atenuando os mecanismos de perdas (CIVARDI et al., 2011).

A baixa eficiência da UR-NBPT pode estar diretamente relacionada ao longo tempo de armazenamento desse produto antes da aplicação. Isso é relevante, visto que há recomendações para que produtos similares a esse não seja armazenada por um período superior a oito semanas (AGROTAIN, 2006), tendo em vista que no presente estudo o produto ficou armazenado por um período pouco superior a seis meses, devido a aplicação do mesmo material anteriormente na cultura do milho. Ainda segundo Cantarella e Marcelino, (2006) o efeito do NBPT, é mais eficiente em solos com baixo teor de matéria orgânica, visto que estes solos estão sujeitos a maiores perdas por volatilização de amônia. Martha Junior (2003) ressalta que incrementos na matéria orgânica, aumentam a CTC do solo, reduzindo as perdas de N por volatilização. Dessa forma sugere-se que o alto teor de matéria orgânica do solo (Tabela 1), pode ter contribuído para que a UR-NBPT, apresentasse

comportamento similar a UR.

Verifica-se que nas condições do planalto Catarinense as perdas foram consideravelmente menores do que encontrados por outros autores em outros locais do Brasil e do mundo. Lara Cabezas et al. (1997), encontraram mais de 80 % de perdas de N em cultivo de milho, com irrigação periódica no estado de Minas Gerais e por Wernek (2008), que encontrou perdas próximas a 40% em Argissolo Amarelo no estado do Rio de Janeiro. Contudo, baixas perdas de N-NH<sub>3</sub>, por volatilização durante o período invernal foram observadas por Viero et al. (2014), onde avaliando ureia com inibidor de urease, fertilizante líquido, nitrato de amônio e sulfato de amônio verificaram perdas inferiores a 5,5 % N aplicado para todas as fontes avaliadas, principalmente em razão das baixas temperaturas.

São inúmeros os fatores que interferem na volatilização de amônia, sendo que as perdas variam muito em função do tipo de solo, teor de argila, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e condições climáticas (BOUWMEESTER et al., 1985; RODRIGUES; KIEHL, 1986; AL-KANANI et al., 1991), tais como temperatura, precipitação, velocidade do ar, umidade relativa, (SOMMER; HUTCHINGS, 2001), além do pH do solo (HARRISON; WEBB, 2010). No local em que foi conduzido o presente estudo, o pH é de 6,6 cabe salientar que segundo Tabatabai e Bremner (1972), a atividade dessa enzima é aparentemente ótima em pH 8,5 a 9,0.

Assim como na cultura do milho a UR + polímero foi a fonte amídica mais eficiente em reduzir as perdas de N por volatilização, contudo a magnitude das perdas apresentaram-se baixas nas condições do presente estudo. Devido a isso e ao melhor custo benefício da ureia convencional, aliado ao fato de que as fontes de N, não diferirem na produtividade de trigo, nota-se que a ureia convencional constitui-se como uma boa alternativa para os atuais sistemas de cultivo.

#### 4.5 EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO INFLUENCIADA POR FONTES DE N APLICADAS NA CULTURA DO MILHO E DO TRIGO

A aplicação de nitrogênio, indiferente da fonte aumentou a emissão de N<sub>2</sub>O do solo em relação ao tratamento controle (Figura 6). Logo na primeira coleta (26/11), já foi possível verificar o efeito da emissão desse gás, oriundo do fertilizante mineral

misto aplicado ao solo, o qual se trata de uma fonte de N no estado nítrico. Isso sugere que logo após a aplicação, por condições favoráveis, à exemplo de umidade maior, teve início o processo de desnitrificação, ocasionando aumento na emissão de  $N_2O$  num período inferior a 24 horas.

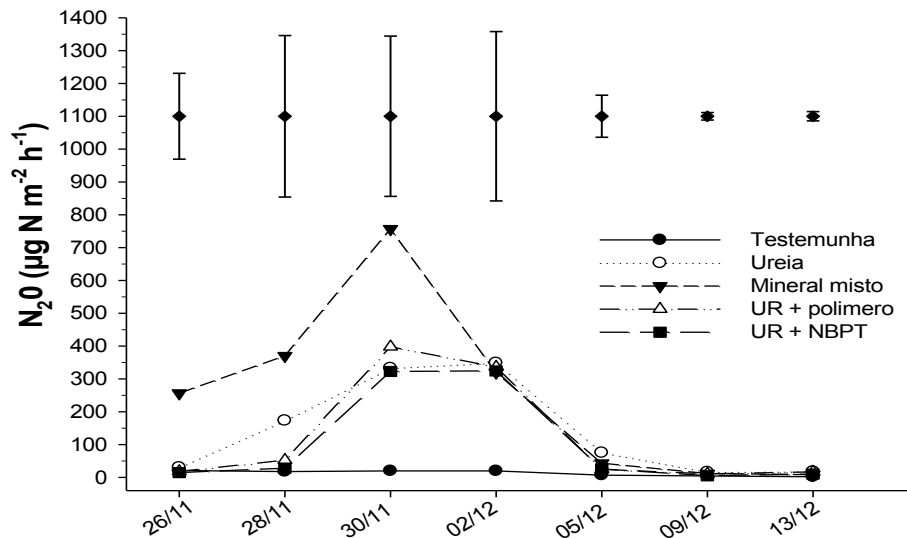


Figura 6. Fluxo de óxido nitroso em solo cultivado com milho submetido a fontes de Nitrogênio. Curitiba, SC. 2013. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa segundo o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

As seguintes fontes de N mineral aplicadas na cultura do milho: ureia, UR + polímero e fertilizante mineral misto, apresentaram as maiores taxas de emissão de  $N_2O$  no dia 5 após a aplicação do N, sendo que o tratamento com fertilizante mineral misto atingiu o maior pico de emissão com  $756,77 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$  (Figura 6). A Ureia com tecnologia Uremax-NBPT apresentou seu pico de emissão no sétimo dia após aplicação de N, contudo este valor foi semelhante ao obtido dois dias antes.

As duas fontes de N tratadas a fim de minimizar perdas de N por volatilização de  $NH_3$  produziram um pico de emissão de  $397,94$  e  $324,54 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ , para UR + polímero e UR NBPT, respectivamente. Resultado não muito distinto ao pico de emissão atingindo pelo uso de ureia convencional ( $332,98 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ). Zanata (2009) também observou que a partir de fontes nítricas obtiveram-se os maiores picos de emissões, onde a aplicação de nitrato de amônio ( $8587,4 \pm 1062,7 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) e nitrato de cálcio ( $3485,8 \pm 942,6 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) resultou nos maiores picos de emissão de  $N_2O$ , sendo que a ureia por sua vez apresentou pico da ordem de  $859,1 \pm 197,6 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$  num Gleissolo cultivado com milho, o qual recebeu  $150 \text{ kg}$

$\text{N h}^{-1}$ . Evidencia-se que esses valores descritos por Zanata (2009) foram consideravelmente de maior magnitude do que os observados nesse estudo.

Um dia anterior à terceira coleta (30/11) de amostra de ar na cultura do milho, houve uma precipitação de 19,8 mm, sendo que os picos dos três tratamentos ocorreram no dia posterior. Possivelmente tal fato esteja relacionado ao maior conteúdo de água no solo, que tenha beneficiado o processo de desnitrificação, de acordo com os dados de precipitação apresentados na figura 1. Gomes (2006) observou taxa de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  relevantes em tratamentos fertilizados com N, sobretudo após eventos de precipitações, sendo que na aplicação de  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$ , as emissões nos quatro dias seguintes a aplicação foram quase cinco vezes maiores que os valores obtidos anteriormente a aplicação do N, obtendo-se valores de 211 a  $307 \mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

O aumento gradativo na emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  dessas fontes amídicas e o pico verificado somente cinco dias após aplicação de N, provavelmente esteja relacionado com o tempo necessário para que ocorresse a nitrificação do  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NO}_3^-$  e a desnitrificação deste para  $\text{N}_2\text{O}$ . No estudo realizado por Zanata (2009) as menores emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  foram observadas nos fertilizantes de liberação lenta ( $187,8 \pm 61,6 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) e na ureia com inibidor de urease ( $346,4 \pm 32,9 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Nota-se que o pico de emissão descrito, para a ureia com inibidor de uréase, foi semelhante ao encontrado no presente estudo pela forma de ureia, a qual contém o NBPT ( $324,54 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ).

O pico de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  das fontes de N avaliadas no presente estudo foi de curta duração, sendo observadas emissões consideravelmente menores em todos os tratamentos na coleta seguinte ao pico máximo, porém mantendo-se sempre acima dos valores médios observados para a testemunha até o 18º dia. Sehy et al. (2003) avaliando as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  na cultura do milho em solos com diferentes níveis de fertilidade, observaram emissões médias de  $1,2 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , alcançando emissão máxima de  $33,6 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  de  $\text{N}_2\text{O}$  duas semanas após a aplicação de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de fertilizante nitrogenado. No entanto, Carvalho et al. (2006) avaliando o efeito da aplicação de ureia sob o milho cultivado em sucessão a *Mucuna aterrima*, sob plantio convencional e direto nas condições do cerrado brasileiro, observaram que a grande maioria das medidas de  $\text{N}_2\text{O}$ , realizadas até cinco dias após aplicação do N em cobertura, ocasionaram fluxos inferiores ao limite de detecção.

Em relação ao  $N_2O$  acumulado, apenas o fertilizante mineral misto deferiu significativamente da testemunha. Contudo, os valores obtidos pelas demais fontes apresentaram um aumento de  $N_2O$  emitido, comparado ao tratamento controle (Figura 7). Percebe-se também uma tendência das fontes tratadas a fim de reduzir as perdas por volatilização, em mitigar as emissões de  $N_2O$ , quando comparada a ureia convencional, porém como dito, as fontes de N não diferiram entre si. A maior emissão acumulada foi oriunda da fonte nítrica ( $845 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ ) (Figura 7), sugerindo que, o fator predominante de emissão ocorrido nesse estudo tenha sido a desnitrificação do  $\text{NO}_3^-$ .

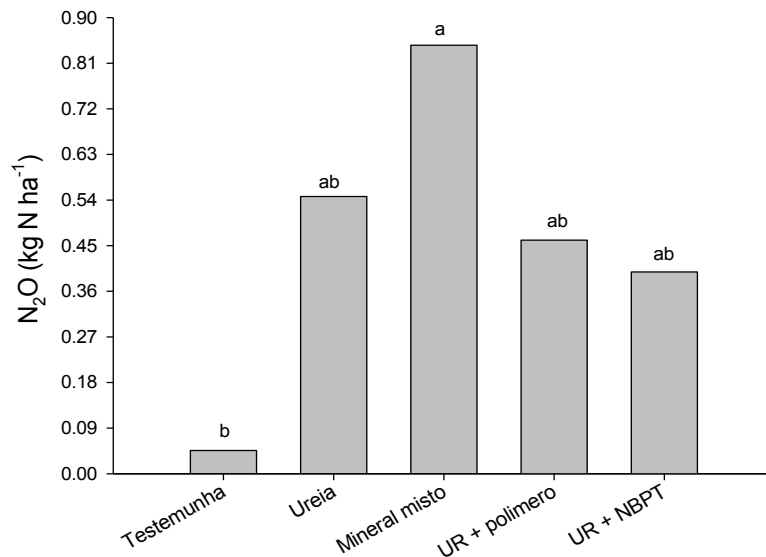


Figura 7. Emissão acumulada de  $N_2O$  em solo cultivado com milho submetido a fontes de Nitrogênio. Curitiba, SC. 2014. Letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

A área em que foi conduzido o estudo apresenta pH do solo de 6,5. Segundo Moreira e Siqueira (2006), valores de pH entre 6,5 a 8,0 otimizam os processos de produção de  $N_2O$  no solo por favorecer a atividade microbiana no solo. Em estudos de Stevens et al. (1998) e Simek e Cooper (2002), foi possível verificar que a atividade enzimática e a produção de  $N_2O$  são desfavorecidas em solos ácidos.

No presente estudo, a fonte nítrica apresentou o maior pico e a maior emissão acumulada de  $N_2O$ . Já em estudo realizado por Carvalho et al. (2008) os maiores fluxos de  $N_2O$  na cultura do milho observados inicialmente, decorreram de fertilizante

na forma nítrica, porém foi a ureia que resultou nas maiores emissões durante o período de avaliação. Segundo Mosier et al. (2004) qualquer prática que resulte em restrição do oxigênio no solo, implicará em maiores perdas do N na forma nítrica através do processo de desnitrificação, em comparação a fontes amoniacais.

Com relação às emissões de  $N_2O$  na cultura do trigo, o comportamento das fontes, apresentou em geral a mesma tendência observada na cultura do milho, ocorrendo o pico de emissão no dia 5 após aplicação de N para todas as fontes amídicas (Figura 8). Sendo que a ureia convencional apresentou pico de emissão de  $165,62 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ , valor pouco acima do observado no 3º dia após aplicação de N ( $161 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ). A ureia + polímero apresentou pico de  $168,35 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ , valor semelhante ao da UC. Já a ureia com NBPT, apresentou o maior pico entre as fontes amídicas,  $222,08 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ . O fertilizante mineral misto apresentou seu pico de emissão novamente no terceiro dia após aplicação de N, registrando valores da ordem de  $268,56 \mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ . Os resultados encontrados diferem daqueles obtidos por Braga et al. (2011) que observaram que doses abaixo de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N tiveram emissão de  $N_2O$  semelhante à testemunha.

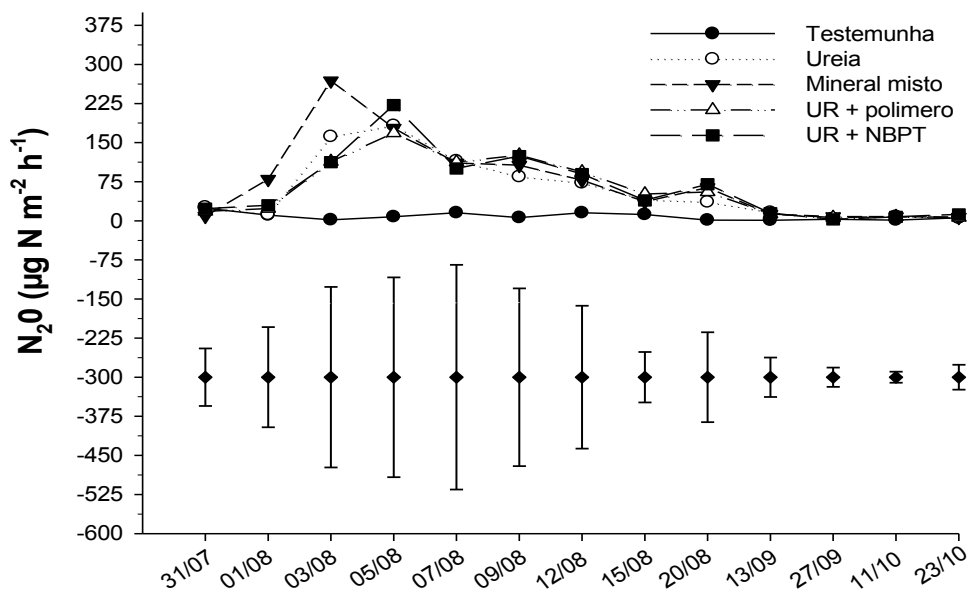


Figura 8. Fluxo de oxido nitroso em solo cultivado com trigo submetido a fontes de nitrogênio. Curitibanos, SC. 2014. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa segundo o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Vale salientar que, a dose de N aplicada na cultura do trigo foi de 120 kg de N ha<sup>-1</sup>, enquanto que no cultivo de milho a dose foi de 100 kg de N ha<sup>-1</sup>. Contudo, torna-se notável que houve considerável diminuição nas taxas de emissão de N<sub>2</sub>O na cultura do trigo, embora a dose aplicada tenha sido maior. Isso pode ter ocorrido em função das menores temperaturas (Figura 1), as quais tenham atenuado o processo de desnitrificação.

Alves et al. (2012) relatam que em área cultivada com trigo, na qual recebeu aplicação de 50 Kg N ha<sup>-1</sup>, os fluxos ultrapassaram 60 µg N-N<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, devido a maior disponibilidade de N no solo oriundo do fertilizante aplicado. Sendo que o efeito do N aplicado permaneceu durante 15 dias, não ocorrendo mais diferença nas emissões de N<sub>2</sub>O após esse período em relação ao tratamento controle. Em estudo realizado por Bastos et al. (2011), avaliando doses de N na forma de ureia, em cultivo convencional, relataram que os fluxos de N<sub>2</sub>O entre os tratamentos variaram nos 40 primeiros dias após aplicação de N.

Em estudo realizado por Zanata (2009), a emissão de N<sub>2</sub>O do tratamento que não recebeu N, se manteve sempre abaixo 26,1 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, mostrando uma similaridade com o maior fluxo observado no presente estudo pelo tratamento controle, cujo maior valor atingido foi de 24,19 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>.

Em relação à emissão acumulada de N<sub>2</sub>O durante o período de avaliação, todas as fontes de N ocasionaram aumento desse gás para a atmosfera, sendo significativamente superiores ao tratamento controle (Figura 9). Dobbie e Smith (2003) comparando diferentes fontes de N aplicado ao solo por um período de dois anos constataram maiores emissões de N<sub>2</sub>O quando da aplicação de nitrato de amônio em relação à ureia, ambos com emissões de N<sub>2</sub>O superiores ao controle.

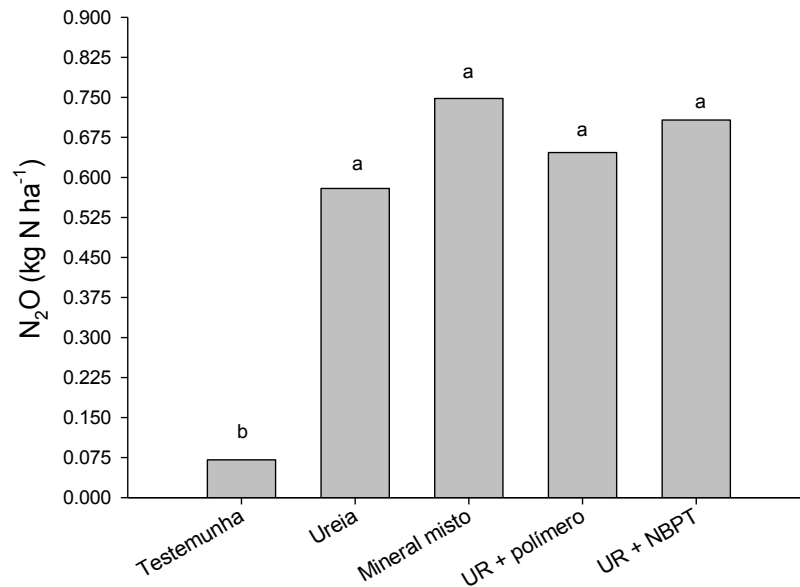


Figura 9. Emissão acumulada de óxido nitroso em solo cultivado com trigo, submetido a fontes de Nitrogênio. Curitibanos, SC. 2014. Letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Nota-se que assim como no cultivo de milho, que o FMM ( $748 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ ) apresentou uma tendência de maior emissão  $\text{N}_2\text{O}$ . Entre as fontes amídicas, não houve diferença significativa, porém evidencia-se que a UR-NBPT apresentou o maior pico de emissão e a maior emissão acumulada, sendo que durante o cultivo de milho, foi justamente essa fonte a que menos contribuiu para as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  entre as formas de ureia. A baixa eficiência pode estar diretamente relacionada ao longo tempo de armazenamento do mesmo, como relatado anteriormente.

#### 4.5.1 FATOR DE EMISSÃO DE $\text{N}_2\text{O}$

Considerando os dias de monitoramento dos fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$ , obteve-se na área controle cultivada com o milho emissão acumulada de  $45 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$  e no cultivo de trigo  $70 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ . Reduzindo esses valores, dos obtidos nos tratamentos fertilizados em ambos os cultivos obteve-se a emissão líquida de  $\text{N}_2\text{O}$  (Tabela 4).



Tabela 4. Fator de emissão de óxido nitroso de fertilizantes nitrogenados aplicados na cultura do milho e do trigo. Curitiba, SC. 2014.

Fonte	Fator de emissão (%) <sup>*</sup>	
	Milho	Trigo
Ureia	0,50	0,42
Mineral misto	0,80	0,56
UR + polímero	0,41	0,48
UR NBPT	0,35	0,53

\*100 x [(Kg de N<sub>2</sub>O tratamento - kg de N<sub>2</sub>O testemunha)/ kg de N aplicado]

No presente estudo os fatores de emissão (FE) variaram entre 0,3 a 0,8 (Tabela 4). Dessa forma todos os tratamentos avaliados, tanto na cultura do milho, como na do trigo apresentaram estimativas de FE abaixo da utilizada atualmente segundo o IPCC, para inventários de emissões de N<sub>2</sub>O em solos cultivados, a qual é de 1% (IPCC, 2007). Os resultados obtidos corroboram com Jantalia (2008) que encontrou FE médio de 0,45 e Oliveira (2009), que obteve valores da ordem de 0,5. Alves et al. (2010) sugerem que existe um eminência de que as emissões de N<sub>2</sub>O derivadas do uso de fertilizantes nitrogenadas na agricultura nacional, seja menor do que as propostas no fator de emissão direta do IPCC.

#### 4.6 EMISSÕES DE METANO AFETADO POR FONTES DE NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO E DO TRIGO

O fluxo de CH<sub>4</sub> avaliado durante o cultivo de milho variou entre influxo, -27,88 µg C-CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> a fluxo de 64 µg C-CH<sub>4</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 10). Esses valores se aproximam dos encontrados por Gomes (2006), onde a taxa de emissão variou de 62 a - 40 µg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, em área cultivada também com milho na região Sul do Brasil. Na coleta 26/11, (um dia após aplicação de N), a ureia e a UR + polímero, foram fontes de CH<sub>4</sub> para a atmosfera.

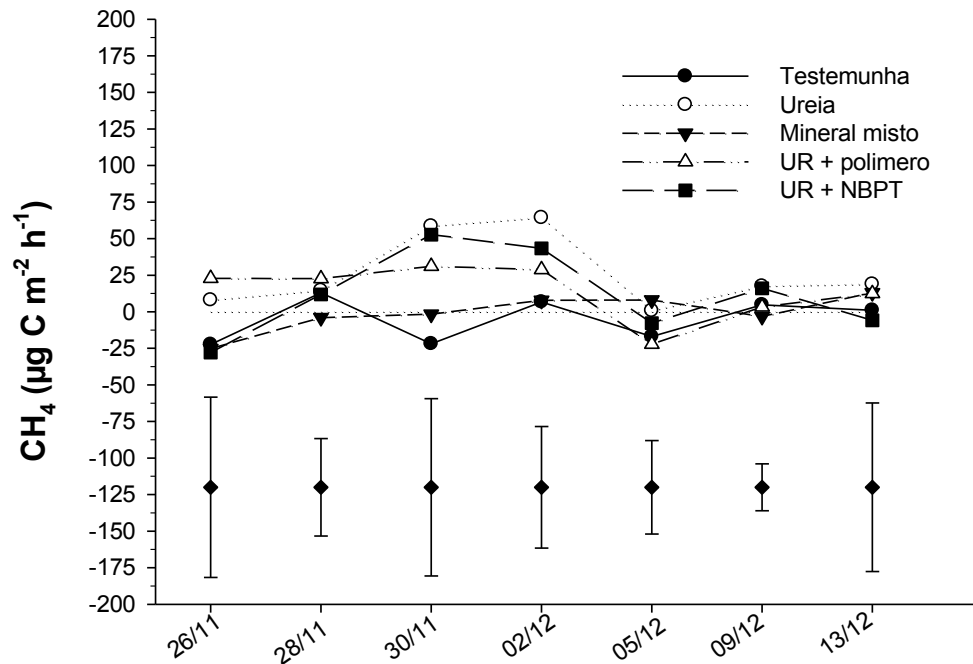


Figura 10. Fluxo de metano em solo cultivado com milho submetido a diferentes fertilizantes nitrogenados. Curitiba, SC. 2014. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa segundo o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Na segunda coleta todos os tratamentos, exceto o correspondente ao mineral misto, também apresentaram comportamento de fontes de CH<sub>4</sub>. As duas fontes de N tratadas, a fim de reduzir as perdas de N por volatilização, apresentaram os maiores picos para a atmosfera na mesma coleta (30/11), porém tais valores ficaram abaixo do encontrado para a ureia convencional na mesma data, sendo que essa apresentou seu maior pico de emissão na coleta seguinte (02/12), atingindo patamares de 64 µg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 10). Somente na coleta do dia 02/12 todos os tratamentos foram fonte de CH<sub>4</sub>. Piva (2012), avaliando emissão de metano em sistema de integração lavoura-pecuária com doses de N, observou que 5 dias após aplicação de N ocorreu um pico de emissão de CH<sub>4</sub>, relacionando entre outros fatores, aos altos valores de N inorgânico, oriundo da aplicação nitrogenada.

Segundo Hutsch (1998), alterações na comunidade de bactérias metanogênicas ou metanotróficas definem a dinâmica do CH<sub>4</sub> nos solos agrícolas, fazendo com que o mesmo possa atuar como fonte ou dreno de CH<sub>4</sub> da atmosfera. Conforme Smith et al. (2003) condições de umidade, as operações de manejo e teor de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> são os principais fatores que influenciam essa dinâmica. Em solos

cultivados, a prática de adubação nitrogenada interfere na oxidação do  $\text{CH}_4$ . Isso ocorre devido ao fato de que o amônio resultante da adubação com N inibe a oxidação do  $\text{CH}_4$  do solo, sendo que tal inibição é resultante da competição do  $\text{NH}_4^+$  com o  $\text{CH}_4$ , pela enzima mono-oxigenase (REAY; NEDWELL, 2004; KRAVCHENCKO et al., 2002; BOECKX et al., 1997). Isso exemplifica o fato de que os tratamentos contendo N diminuíram a oxidação do  $\text{CH}_4$ , conseqüentemente aumentando a emissão desse gás para a atmosfera. Ainda, segundo Hutsch (1996), este efeito do  $\text{NH}_4^+$  é muito efetivo, sendo que em estudos conduzidos na Alemanha foi possível verificar diminuição de mais de 30% nas taxas de oxidação de  $\text{CH}_4$  em apenas três horas após a aplicação de N ao solo.

Mosier et al. (1991) foram um dos primeiros autores a descrever o efeito supressor de  $\text{NH}_4^+$  no processo de metanotrofia de  $\text{CH}_4$ , depois de constatar que após a aplicação de  $22 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na forma de nitrato de amônio diminuiu o influxo  $\text{CH}_4$  em 41% em comparação a um solo que não recebeu adubação nitrogenada.

Em relação à emissão acumulada de  $\text{CH}_4$ , os tratamentos diferiram entre si (Figura 11). Apenas o tratamento controle apresentou-se como dreno de  $\text{CH}_4$ , porém não diferindo significativamente do fertilizante mineral misto. Por sua vez, as três formas de ureia apresentaram-se como fonte de  $\text{CH}_4$  para a atmosfera, sendo que a ureia convencional apresentou a maior emissão acumulada diferindo significativamente do tratamento controle e do FMM (Figura 11).

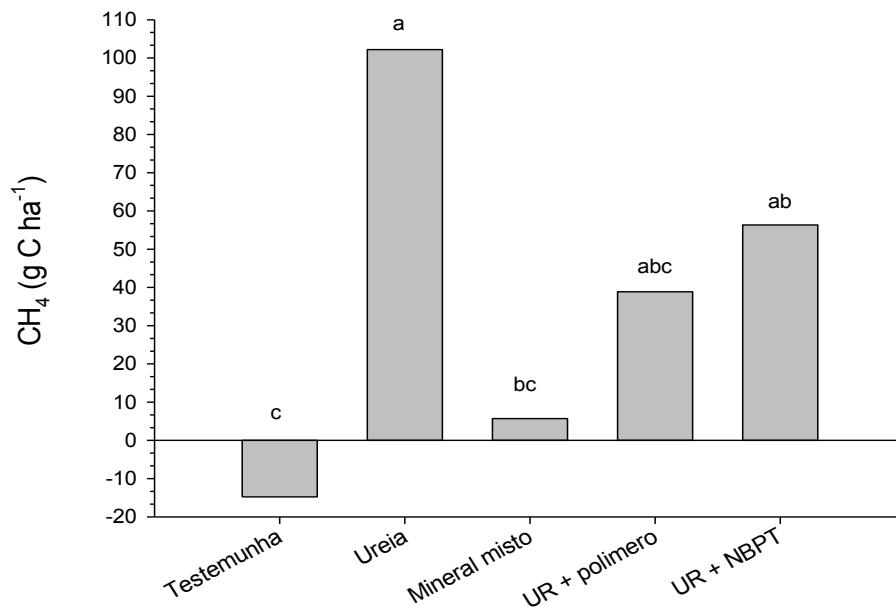


Figura 11. Emissão acumulada de CH<sub>4</sub> em solo cultivado com a cultura do milho, submetido a fontes de nitrogênio. Curitibaanos, SC. 2014. Letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Entre as fontes amídicas avaliadas não houve diferença significativa sob o CH<sub>4</sub> acumulado. Contudo a UR + polímero, foi a que menos contribuiu para emissão de CH<sub>4</sub>, não diferindo significativamente dos demais tratamentos. Já a UR-NBPT, diferiu apenas do tratamento controle. Sugere-se que tal comportamento tenha sido influenciado principalmente devido à competição do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> com o CH<sub>4</sub>, já discutido anteriormente, interferindo dessa forma na oxidação do CH<sub>4</sub>. Por ser o fertilizante mineral misto, uma fonte exclusivamente nítrica, esta ocasionou menor interferência na oxidação de CH<sub>4</sub>, contudo essa forma de N pode ter contribuído no aumento das taxas de mineralização da matéria orgânica do solo, incrementando os teores de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo. Visto que as condições climáticas favoreceram esse processo de mineralização.

Já na cultura do trigo os fluxos apresentaram maior amplitude, variando de 87 a -52 μg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 12). Esses valores representam a diferença entre os processos de metanogênese e metanotrofia ocorrentes no solo. A variação nas taxas de fluxo e influxo foi consideravelmente menor do que as encontradas por Veldkamp et al. (1998) em solos sob adubação com N (-62,5 a 250 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> C-CH<sub>4</sub>). Na coleta do dia 03/08, ocorreu um incremento na emissão de CH<sub>4</sub>, a partir do uso de ureia, sendo que as outras duas formas de ureia apresentaram-se como

dreno de  $\text{CH}_4$  nesse momento. Na coleta seguinte, 05/08, as duas formas tratadas de ureia apresentaram seus respectivos picos de emissão de  $\text{CH}_4$  para a atmosfera, 87 e  $52 \mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  para UR + polímero e UR + NBPT, respectivamente. Durante os picos de emissão de  $\text{CH}_4$  relatados, ocorreu o maior influxo desse gás durante o período de avaliação para FMM e tratamento controle.

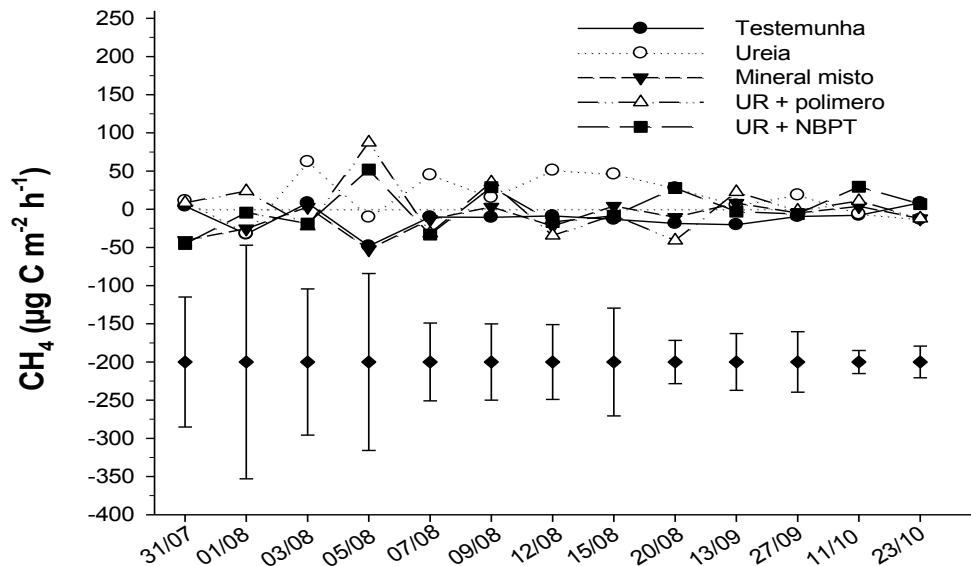


Figura 12. Fluxo de metano em solo cultivado com trigo submetido a diferentes fertilizantes nitrogenados. Curitiba, SC. 2014. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa segundo o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Em relação à emissão acumulada de  $\text{CH}_4$ , apenas o tratamento que não recebeu N e o constituído pelo uso de ureia convencional diferiram significativamente entre si (Figura 13). Sendo que o tratamento controle, o FMM, e a UR + polímero foram drenos de  $\text{CH}_4$ , constituindo-se como boas opções para reduzir a emissão de  $\text{CH}_4$  em cultivos agrícolas sob plantio direto.

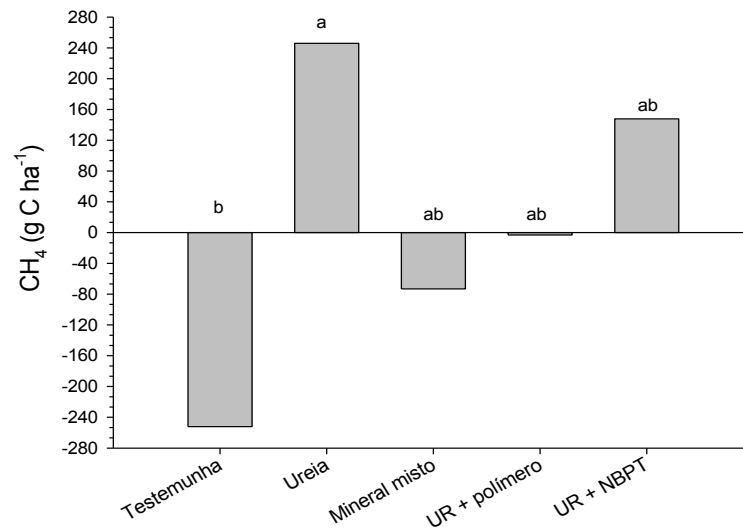


Figura 13. Emissão acumulada de CH<sub>4</sub> em solo cultivado com a cultura do trigo, submetido a fontes de nitrogênio. Curitiba, SC. 2014. Letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

Cabe salientar que apesar da UR + polímero apresentar o maior pico de emissão de CH<sub>4</sub> para a atmosfera, nas análises posteriores forem observados valores negativos, os quais representam um influxo desse gás para o solo, ou seja, agindo como dreno de CH<sub>4</sub>, à exemplo do tratamento controle que teve o mesmo comportamento de dreno de CH<sub>4</sub>, tanto no cultivo de verão como de inverno. Outra forma inibitória do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sobre o CH<sub>4</sub> consiste no efeito tóxico de compostos gerados durante a nitrificação, tais como a hidroxilamina e o nitrito em microrganismos metanotróficos (HUTSCH, 1998).

Foi possível constatar o efeito da adubação nitrogenada na diminuição da oxidação de CH<sub>4</sub>. Esses resultados corroboram com Zanatta et al. (2010) que avaliando a emissão de CH<sub>4</sub> no Sul do Brasil encontraram uma emissão acumulada 60% superior em área adubada com N, em relação ao tratamento que não recebeu N. No entanto, Veldkamp et al. (1998), em experimento de campo relataram a regressão de taxas de oxidação de CH<sub>4</sub> para os valores originais só após passadas três semanas de fertilização. Resultados diferentes dos observados por Ruser et al. (1998), os quais não verificaram efeitos na oxidação do metano a partir do aplicação de 50 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup>.

A emissão de CH<sub>4</sub> em solos agrícolas é regulada por uma série de fatores. Conforme Smith et al. (2000) os solos que apresentam textura mais arenosa

desempenham maior oxidação de  $\text{CH}_4$ , comparado aos solos argilosos. Contudo, sabe-se que o metano é um dos mais importantes gases do efeito estufa e conforme Dong et al. (2007), esse gás apresenta potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o  $\text{CO}_2$ , além de vida útil estimada em 12 anos, por tanto é fundamental buscar por soluções que mitiguem a emissão desse gás.

Com base nos resultados obtidos verifica-se que a forma nítrica de N, correspondente ao FMM, foi a que menos contribuiu para emissão desse gás, sendo dessa forma uma opção a ser considerada nos presentes sistemas agrícolas que preconizam por uma produção agrícola mais sustentável.

Se por um lado a fonte nítrica apresentou baixas perdas de N por volatilização e interferiu com menor intensidade na oxidação do metano, em contra partida é justamente essa a fonte mais propícia para perdas de N por desnitrificação, e mais sujeita a perdas de N por lixiviação de nitrato. Somado a isso, o valor pago por kg de N, é maior do que o valor pago pela ureia convencional.

A ureia com polímero entre as fontes amídicas foi a mais eficiente em reduzir as perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  e emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ . Aliado a isso, foi também a fonte amídica que menos interferiu na oxidação do metano, sendo uma boa opção como fonte de N, nos atuais sistemas agrícolas que preconizam por uma agricultura mais sustentável. Conseqüentemente, a adoção dessa tecnologia apresenta um valor mais elevado comparado às formas tradicionais de ureia, o que faz com que a ureia convencional continue sendo o fertilizante nitrogenado que apresenta a melhor relação custo/benefício.

## 5 CONCLUSÃO

As diferenças entre as fontes de N em termos de emissões de óxido nitroso e perdas por volatilização, não afetaram a produtividade do milho e trigo.

As perdas por volatilização de amônia nas condições edafoclimáticas do presente estudo foram baixas, contudo as fontes tratadas apresentaram tendência em reduzir essas perdas de  $\text{NH}_3$ .

Fertilizantes nitrogenados favorecem as taxas de emissões de óxido nitroso do solo.

Fertilizantes nitrogenados reduzem a oxidação de metano, sendo esse efeito mais expressivo a partir de fontes amídicas.



## REFERÊNCIAS

- AGROTAIN. **Manual técnico do fabricante.** Disponível em <http://www.agrotain.com/labels/AgrotainLabel092006.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2015.
- AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A. F.; BARTHAKUR, N. N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society American Journal**, v.55, p.1761-1766, 1991.
- ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; FRANCHINI, J. C.; SANTOS, H. P. dos; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Emissões de óxido nitroso de solos pelo uso de fertilizantes nitrogenados em áreas agrícolas.** Comunicado técnico, 126, Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. 6 p.
- ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M. JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; URQUIAGA, S.; SANTOS, J. C. F.; SANTOS, H. P.; CARVALHO, C. J. R. Emissões de óxido nitroso e óxido nítrico do solo em sistemas agrícolas. In **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira** – Brasília, DF: Embrapa, 2012, p.159-191.
- 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, n.1, p.241-248, 2002.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, 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**, v. 24, n.1, p.179-189, 2000.
- ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M. B. M., ed., **Adubação nitrogenada no Brasil**. 1.ed. Ilhéus, CEPLAC/ Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985, p.1-18.
- BASTOS, L. M.; MORO, V. J.; LUDKE, W. H.; SCHMATZ, R.; BINOTTO, I.; PILECCO, G. E.; GIACOMINI, S. J. Emissão de óxido nitroso afetada por diferentes doses de nitrogênio em cobertura na cultura da cana-de-açúcar In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33.2011, Uberlândia. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: **Anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011.
- BARTH, G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H.; VITTI, A. C. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> quanto as fontes e doses de nitrogênio aplicadas sobre a palhada da cana-de-açúcar. In: Fertbio, 2006, Bonito. **Anais Fertbio**. Campo Grande: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.

BLAYLOCK, A. **O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada.** Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 120, p. 8-10, dez. 2007. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/A7269B36407D8D6283257AA1005E5365/\\$FILE/Parte8-10-120.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/A7269B36407D8D6283257AA1005E5365/$FILE/Parte8-10-120.pdf). Acesso em: 20 abr. 2015.

BRAGA, D. M.; COSTA, M. K. L.; PONTES, T. L.; ALVES, B. J. R.; SHIGAKI, F. Volatilização de Amônia e Emissão de Óxido Nitroso em Função da Adubação com Uréia e Vinhoto em Cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33. 2011, Uberlândia. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: **Anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011.

BRASIL. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **O Aquecimento Global e a Agricultura de Baixa Emissão de Carbono.** Brasília, Distrito Federal, 2012.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, R. L. Urease activity in soils. In: BURNS, R.G. (ed.) **Soil Enzymes.** Academic Press, Londres, 1978, p.149-196.

BOECKX, P.; VAN C.; VILLARALVO, I. Methane oxidation in soils with different textures and land use. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.49, p.91-95, 1997.

BORRÁS, L.; OTEGUI, M. E. Maize kernel weight response to post flowering source-sink ratio. **Crop Science**, Madison, v.41, n. 6, p.1816-1822, 2001.

BOUWMEESTER, R. J. B.; VLEK, P. L. G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from an urea-fertilized soil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.49, p.376-381, 1985.

CABEZAS, W. A. R. L. E TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH<sub>3</sub> volatilizado da ureia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v.14, p.345-352, 1990.

CANTARELLA, H.; MATTOS Jr., D.; QUAGGIO, J. A. & RIGOLIN, A. T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**.v.67, p.215-223, 2003.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. O uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da uréia. **Anais do 1º Simpósio sobre Informações Recentes para Otimização da Produção Agrícola.** INPI, Piracicaba, 2006.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.) **Fertilidade do solo.** 2. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

CARDOSO, S. M.; SORATTO, R. P.; DA SILVA, A. H.; MENDONÇA, C. G. Fontes e parcelamento do nitrogênio em cobertura, na cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias.** Recife, v.6, n.1, p.23-28, 2011.

CARVALHO, A. M.; SOUZA, L. L. P.; ALVES, B. J. R.; MIRANDA, L. N.; Aplicações de Diferentes Fertilizantes Nitrogenados: Emissões de Óxido Nitroso em Latossolo sob Feijão e Milho. **Anais II Simpósio Internacional Savanas Tropicais**. Brasília – DF, 2008.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; KOZOVITS, A. R.; MIRANDA, L. N.; VIVALDI, L. J.; SOUSA, D. M. Emissão de óxidos de nitrogênio associada à aplicação de uréia sob plantio convencional e direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p.679-685, abr. 2006.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. **Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2008. 864 p.

CAVALLET, L. E.; PESSOA, A. C. S.; HELMICH, J.; HELMICH, P. R.; OST, C. F. Produtividade do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum spp.* **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n. 1, p. 129-132, 2000.

CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n. 1, p. 52-59, jan./mar. 2011.

CHAGAS, A. P. The ammonia synthesis: some historical aspects. **Química Nova**, São Paulo, v.30, n.1, p.240-247, 2007.

CHRISTIANSON, C. B.; BYRNES, B. H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**. v.26, p. 21-27, 1990.

COODETEC. **Catálogo de produtos Coodetec**, 2012. Disponível em: [http://www.coodetec.com.br/downloads/Guia\\_de\\_produtos\\_Trigo.pdf](http://www.coodetec.com.br/downloads/Guia_de_produtos_Trigo.pdf). Acesso em: 20 abr.2015.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2014/2015, março 2015**. Disponível em [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_05\\_12\\_08\\_59\\_36\\_boletim\\_graos\\_mai\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_05_12_08_59_36_boletim_graos_mai_2015.pdf). Acesso em: 20 jun. 2015.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2014/2015, junho 2015**. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_06\\_11\\_09\\_00\\_38\\_boletim\\_graos\\_junho\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_11_09_00_38_boletim_graos_junho_2015.pdf). Acesso em: 24 jul. 2015.

CQFS – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ Comissão de Química e Fertilidade do Solo: 10 ed., 2004. 400 p.

CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. **A Cultura do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 171-195, 2008..

DOBBIE, K. E.; SMITH, K. A. Impact of different forms of N fertilizer on N<sub>2</sub>O emissions from intensive grassland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.67, n.1, p.37-46, 2003.

DONG, H.; ZHU, Z.; SHANG, B; KANG, G.; ZHU, H.; XIN, H. Greenhouse gas emissions from swine barns of various production stages in suburban Beijing, China. **Atmospheric Environment Journal**, v.41, p.2391–2399, 2007.

DUARTE, F. M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L. S.; GRAUPE, F. A.; BRITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de ureia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Revista Ciência Rural**, v.37, n.3, p.705-711, 2007.

EPAGRI. **Milho**, Disponível em: <[http://carcara.epagri.sc.gov.br/epagri/?page\\_id=1360](http://carcara.epagri.sc.gov.br/epagri/?page_id=1360)>. Acesso em: 19 abr. 2014.

ERNST, J.W.; MASSEY, H. F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.24, p.87-90, 1960.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETTO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FANCELLI, A. L. **Plantas alimentícias: guia para aula, estudo e discussão**. Piracicaba: USP, ESALQ/CALQ, 1986. 131p.

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

FAVARATO, L. F.; ROCHA, V. S.; ESPINDULA, M. C.; SOUZA, M. A. de; PAULA, G. de S. Adubação nitrogenada e qualidade fisiológica de sementes de trigo. **Bragantia**, v.71, n.1, 2012.

FENN, L. B.; KISSEL, D. E. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils. I General theory. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.37, n.6, p.855-859, 1973.

FRANK, A. B.; BAUER, A. Temperature, nitrogen and carbon dioxide effects on spring wheat development and spikelet numbers. **Crop Science**, Madison, v.36, n. 3, p. 659-665, 1996.

FREITAS, J. G.; CAMARGO, C. E. O.; FERREIRA FILHO, A. W. P.; PETTINELLI, A. Produtividade e resposta de genótipos de trigo ao nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v.53, n. 2, p. 281-290, 1994.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the South-Central region of the State of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.5, p.1677-1684, 2010.

GIRARDI, E. A.; FILHO, F. A. A, M; Emprego de Fertilizantes de Liberação Lenta na Formação de Pomares de Citros. **Revista Laranja**, Cordeirópolis, v.24, n.2, p.507-518, 2003.

GOMES, J. **Emissão de Gases do Efeito Estufa e Mitigação do Potencial de Aquecimento Global por Sistemas Conservacionistas de Manejo do Solo**. Tese de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

HARRISON R.; WEBB, J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. **Advances in Agronomy**, v.73, p.65-108, 2001.

HÜTSCH, B. W. Methane oxidation in soils of two long-term fertilization experiments in Germany. **Soil Biology e Biochemistry**, v.28, p.773-782, 1996.

HÜSTCH, B. W. Methane oxidation in arable soil as inhibited by ammonium, nitrite and organic manure with respect to soil pH. **Biology and fertility of soils**, v.28, p.27-35, 1998.

IFA- International Fertilizer Industry Association; UNEP United Nations Environment Programme. **O Uso de Fertilizantes Minerais e o Meio Ambiente** (Tradução ANDA) 2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2007: The physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK. Cambridge University Press, 2007. 996 p.

JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO C.; SALES, L. S. R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v.3, p.193-200. 2010.

JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.82, p.161-173, 2008.

JANTALIA, C. P.; ZOTARELLI, L.; SANTOS, H. P. dos; TORRES, E.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Em Busca da Mitigação da Produção de Óxido Nitroso em Sistemas Agrícolas: Avaliação de Práticas Usadas na Produção de Grãos no sul do País. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. (Org.). **Manejo de Sistemas Agrícolas: Impacto no sequestro de C e nas Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Porto Alegre: Gênese, v.1, p. 81-108, 2006.

KAPPES, C.; CARVALHO, M. A.; YAMASHITA, O. M.; SILVA, J. A. N. Influência do nitrogênio no desempenho produtivo do milho cultivado na segunda safra em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n.3, p. 251- 259, 2009.

KRAVCHENKO, I.; BOECKX, P.; GALCHENKO, V.; VAN CLEEMPUT, O. Short- and medium-term effects of  $\text{NH}_4^+$  on  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  fluxes in arable soils with a different texture. **Soil biology and biochemistry**, v.34, p. 669-678, 2002.

LARA CABEZAS, W. A. R.; SOUZA, M. A. S. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de uréia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32 n.6, Viçosa Nov./Dec. 2008.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de  $\text{N-NH}_3$  na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.3, p.481-487, 1997.

LEÃO, A. F. **Volatilização de amônia resultante da aplicação de uréia na cultura do milho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, 2008.

LIMA, L. B.: EMISSÕES DE  $\text{N}_2\text{O}$  EM SISTEMAS AGRÍCOLAS. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.16; p. 999, 2013.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631p.

MARTHA JUNIOR, G. B. **Produção de forragem e transformação do nitrogênio do fertilizante em pastagem irrigada de capim Tanzânia**. 149 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MEIRA, F. A. **Fontes e modos de aplicação do nitrogênio na cultura do milho**. 2006. 52 f. Tese de Doutorado em Agronomia – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2006.

MEGDA, M. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Fontes nitrogênio e épocas de aplicação em quatro cultivares de trigo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO – FERTBIO 2006. Bonito, 2006. **Anais**. Bonito, Embrapa/CPAO-SBCS/SBM, 2006. CD-ROM.

MEGDA, M. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. M. C.; VIEIRA, M. X. Resposta de cultivares de trigo ao nitrogênio em relação às fontes e épocas de aplicação sob plantio direto e irrigação por aspersão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.4, p.1055-1060, jul./ago., 2009.

MIOZZO, L. C. Época de Aplicação de N em Cobertura no Milho em Sucessão ao Consórcio Ervilhaca/Aveia Preta. XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. **Anais**. Águas de Lindóia, Agosto de 2012.

MOBLEY, H. L. T.; HAUSINGER, R. P. Microbial ureases: Significant, regulation, and molecular characterization. **Microbiology Reviews**. v.53, p. 85-108, 1989.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 729 p.

MOSIER, A.; SCHIMEL, D.; VALENTINE, D.; BRONSON, K.; PARTON, W. Methane and nitrous-oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. **Nature**, p. 330-332, 1991.

MOSIER, A. R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M.O. & SCHIMEL, D.S., ed. **Exchange of traces gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop**. Berlin, Wiley, 1989, p.175-187

MOSIER, A.; WASMANN, R.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development and Sustainability**, Dordrecht, v.6, p.11-49, 2004.

MÜLLER, I. D. G.; SEIBIT, P.; LIBERMAN, R.; **Anuario da Agricultura Familiar**, Editora Bota Amarela, Erechim – RS, 2014.

NEAD. **Milho: a energia da agricultura familiar**. 2012. Disponível em: <[http://www.nead.gov.br/portal/noticias/item?item\\_id=9745675](http://www.nead.gov.br/portal/noticias/item?item_id=9745675)>. Acesso em: 20 abr. 2014.

NEHMI, I. M. D.; FERRAZ, J. V.; NHEMI FILHO, V. A.; SILVA, M. L. M. Milho: a diferença aparece no manejo. **Agrianual 2004: Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Argos, 2004, p.377-378.

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.3, p. 538-544, 2005.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C.; Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-pr, n.42, p.226-244, Maio/Agosto 2011.

OLIVEIRA, W. R. D. **Quantificação das Emissões de N<sub>2</sub>O Resultantes de Fertilizante, Fixação de N<sub>2</sub> e Resíduos de Colheita em Argissolo Vermelho Amarelo**. 40 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

PARKIN, T.; MOSIER, A.; SMITH, J.; VENTEREA, R.; JOHNSON, J.; REICOSKY, D.; DOYLE, G.; MCCARTY, G.; BAKER, J. **Chamber-based trace gas flux measurement protocol**. USDA-ARS GRACE net, 2003.

PIVA, J. T. **Fluxo de gases de efeito estufa e estoque de carbono do solo em sistemas integrados de produção no sub-tropical brasileiro**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Capítulo III. Curitiba, 2012, 92 p.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; BASSOI, M. C.; OLIVEIRA, F. A. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agrônomico de genótipos de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n. 2, p. 621-632, abril 2012.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.43, n. 1, p.34-41, jan./mar. 2013.

PEREIRA, H. S.; LEÃO, A. F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M. A. C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n. 6, p.1685-1694, 2009.

REAY, D. S.; NEDWELL, D. B. Methane oxidation in temperate soils: effects of inorganic N. **Soil Biol. Biochemical**, v.36, p. 2059-2065, 2004.

ROCHA, K. F.: **Rendimento e Qualidade Industrial de Cultivares de Trigo Submetidos à Formas de Parcelamento da Adubação Nitrogenada**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal) UTFPR, Pato Branco, 2014.

RODRIGUES, M. B.; KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 37-43, 1986.

RUSER, R.; FLESSA, H.; SCHILING, R.; STEINDL. H.; BEESE, F. Soil compaction and fertilization effects on nitrous oxide and methane fluxes in potato fields, **Soil Science Society of America Journal**, Madison v. 62, n. 6, p.1587-1595, 1998.

SAMBUICHI, R. H. R.; OLIVEIRA, M. A. C.; DA SILVA, A. P. M.; LUEDEMANN G. **A Sustentabilidade Ambiental da Agropecuária Brasileira: Impactos, Políticas Públicas e Desafios**, 2012. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1610](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1610). Acesso em: 04 de maio de 2015.

SANTOS, K. M. **Emissão de óxido nitroso e volatilização de amônia em pastagem de capim-marandu**. 2013. 59 f. Dissertação - Mestrado em Produção Animal Sustentável. Agência Paulista de Tecnologia em Agronegócios, Instituto de Zootecnia, 2013.



SARTOR, L. R.; **Eficiência de utilização de nitrogênio, fósforo e Potássio por plantas de papuã submetidas a Diferentes intensidades de pastejo e níveis de Nitrogênio**. 2009. 115 f. Dissertação de Mestrado em Integração Lavoura-Pecuária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2009.

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. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n. 6, p. 1283-1289, 2010.

SEHY, U.; RUSER, R.; MUNCH, J. C. Nitrous oxide fluxes from maize fields: relationship to yield, site-specific fertilization, and soil conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.99, p. 97-111, 2003.

SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P.; LANA, R. M. Q. Aplicação de diferentes fontes de uréia de liberação gradual na cultura do milho. **Biocience Journal**, v.28, p.104-111, 2012.

SILVA, S. A.; ARF, O.; BUZETTI, S.; SILVA, M. G.; Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo em sistema plantio direto no cerrado. SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32: n. especial, p. 2717-2722, 2008.

SIMEK, M.; COOPER, J. E. The influence of soil pH on denitrification: progress towards the understanding of this interaction over the last 50 years. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.53, n. 3, p. 345-354, 2002.

SMITH, K. A.; DOBBIE, K. E.; BALL, B. C.; BAKKEN, L. R.; SITAULA, B. K.; HANSEN, S. et al. Oxidation of atmospheric methane in Northern European soils, comparison with other ecosystems, and uncertainties in the global terrestrial sink. **Global Change Biology**, v.6, p.791–803, 2000.

SOMMER, S. G.; HUTCHINGS, N. J. Ammonia emission from field applied manure and its reduction: invited paper. **European Journal of Agronomy**, v.15, n.1, p.1-15, 2001.

SOUZA, E. de F. C. de; SORATTO, R. P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.05, n. 03, p. 387-397, 2006.

STEVENS, R. J.; LAUGHLIN, R. J. Measurement of nitrous oxide and dinitrogen emissions from agricultural soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. Dordrecht, v.52, n. 3, p. 131-139, 1998.

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

TASCA F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.35, n. 2, p. 493-502, 2011.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 8, p.797-804, ago. 2010.

ULGER, A. C.; BECKER, A. C.; KHANT, G. Response of maize inbred lines and hybrids to increasing rates of nitrogen fertilizer. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Madison, v.159, n. 3, p.157-163, 1995.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M. Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.35, n. 2, p. 659-670, mar./abr. 2014.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.2, p. 254-263, 2011.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; BENIN, G.; MAIA, L. C.; SILVA, J. A. G.; SCHMIDT, D. M.; SILVEIRA, G. Fatores relacionados à produção e desenvolvimento de afilhos em trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.30, p. 1207-1218, 2009.

VELDKAMP, E.; KELLER, M.; NUNEZ, M. Effect of pasture management on N<sub>2</sub>O and NO emissions from soils humid tropics of Costa Rica. **Global Biogeochem Cycles**, v.12, p.71-79, 1998.

VIERO, F.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; MORAES, R. P. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers in no-till wheat and maize in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** vol.38, n.5. Viçosa Sept./Oct. 2014.

VICTORIA, R. L.; PICCOLO, M. C.; VARGAS, A. A. T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. **Microbiologia do solo**. Campinas, p.105-121. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.

VITTI, G. C.; REIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão Holística. In: YAMADA, T.; STIPP, S. R.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e Enxofre: na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI, 2007, p. 109 – 157.

VOLK, G. M. Efficiency of urea as affected by method of application, soil moisture and lime. **Agron. J.**, v.58, p. 249-252, 1966.

WERNECK, C. G. **Perdas por volatilização e eficiência agrônômica da mistura de uréia com zeólita natural aplicada na cultura da roseira (*Rosa spp.*)** 2008. 90f. Dissertação, Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; LOVATO, T. Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.31, n.5, Viçosa Sept./Oct. 2007.

YANO, G. T.; TAKAHASHI, H. W.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes de nitrogênio e épocas de aplicação em cobertura para o cultivo do trigo. **Semina Ciências Biológicas e da Saúde**, v.26, n.2, p.141-148, 2005.

ZANATA, J. A. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio**. 2009. 93 f. Tese de Doutorado em Ciências do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

ZANATTA, J. A., BAYER, C., VIEIRA, F. C. B., GOMES, J.; TOMAZI, M. Nitrous oxide and methane fluxes in South Brazilian Gleysols affected by nitrogen fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.5, p.1653-1665, 2010.

ZAVASCHI, E.; **Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de uréia revestida com polímeros**. 2010. 93 f. Dissertação - Mestrado em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas, Piracicaba, 2010.