

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**ESTRATÉGIAS DE MANEJO PARA MINIMIZAR PERDAS DE N POR  
VOLATILIZAÇÃO E AUMENTAR O RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO  
IRRIGADO**

Guilherme Borba Menezes  
Engenheiro Agrônomo/UFRGS

Dissertação apresentada com um dos requisitos  
À obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia  
Ênfase Fisiologia e Manejo Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil  
Julho de 2015

### CIP - Catalogação na Publicação

Menezes, Guilherme Borba

ESTRATÉGIAS DE MANEJO PARA MINIMIZAR PERDAS DE N POR  
VOLATILIZAÇÃO E AUMENTAR O RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO  
IRRIGADO / Guilherme Borba Menezes. -- 2015.

75 f.

Orientador: Paulo Regis Ferreira da Silva.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia,  
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto  
Alegre, BR-RS, 2015.

1. Milho. 2. Volatilização de amônia . 3.  
Eficiência agrônômica de uso de nitrogênio. I.  
Silva, Paulo Regis Ferreira da, orient. II. Título.

GUILHERME BORBA MENEZES  
Engenheiro Agrônomo - UFRGS

## **DISSERTAÇÃO**

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### **MESTRE EM FITOTECNIA**

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 10.07.2015  
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 22.09.2015  
Por

PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA  
Orientador - PPG Fitotecnia

SIMONE MUNDSTOCK JAHNKE  
Coordenadora do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia

CHRISTIAN BREDEMEIER  
PPG Fitotecnia/UFRGS

CIMÉLIO BAYER  
PPG Ciência do Solo/UFRGS

LUÍS SANGOI  
PPG Agronomia  
UDESC/SC

PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade de  
Agronomia

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais e a toda a minha família,  
pelo incentivo para o cumprimento  
de mais essa etapa.

## AGRADECIMENTOS

Nesta etapa que se encerra agradeço, principalmente, ao professor Paulo Regis pela orientação, dedicação e companheirismo ao longo de mais de seis anos de orientação. Obrigado, também, aos alunos que fizeram parte da equipe de pesquisa do professor Paulo Regis: Matheus Maass, Joaquim Rodrigues, Natan Pagliarini, Silmara Correia, Laís Miozzo, José Alves, Cristhian Richetti e Andrei Marafon, Alexandre Rosa e Cristhiano Gehlen. Vocês ajudaram e colaboraram muito para a construção da dissertação.

Além deles, agradeço a todos que colaboraram para a realização deste trabalho. Ao aluno de doutorado Fernando Viero e ao professor Cimélio Bayer e à toda sua equipe pela parceria. Aos colegas, professores e funcionários do programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela amizade, ensinamentos que auxiliaram na condução do trabalho.

Para os funcionários da Estação Experimental Agronômica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, um agradecimento mais que especial por todo o suporte técnico e auxílio para a condução do trabalho no campo.

E, é claro, agradeço aos meus familiares pelo apoio e incentivo nas minhas realizações. Em especial, à minha irmã Luiza e aos meus pais Eliane e Valmir e a Vanessa Missiaggia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

# ESTRATÉGIAS DE MANEJO PARA MINIMIZAR PERDAS DE N POR VOLATILIZAÇÃO E AUMENTAR O RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO IRRIGADO<sup>1</sup>

Autor: Guilherme Borba Menezes

Orientador: Paulo Regis Ferreira da Silva

## RESUMO

O manejo da adubação, principalmente a nitrogenada, é um dos principais fatores que afetam a produtividade de grãos de milho. O nitrogênio (N) apresenta uma dinâmica complexa no solo, que é influenciada pelas condições de ambiente. A ureia é a principal fonte de N utilizada. Entretanto, apresenta alto potencial de perdas de N por volatilização de amônia. O objetivo deste trabalho foi avaliar estratégias de manejo para minimizar perdas de nitrogênio por volatilização e aumentar o rendimento de grãos de milho, em duas épocas de semeadura, em Eldorado do Sul-RS. Em cada ano (2012/13 e 2013/14), foram conduzidos dois experimentos, sendo um na época de semeadura antecipada (até o final do inverno) e o outro numa época de semeadura considerada intermediária (outubro) para o milho. Em cada experimento, os tratamentos constaram da aplicação de duas fontes de N (ureia e ureia com inibidor da urease), de duas doses de N (100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) e de três sistemas de manejo da irrigação em relação à época de aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura (com irrigação realizada no mesmo dia, imediatamente antes e logo após a aplicação dos adubos nitrogenados em cobertura e com irrigação somente aos sete dias após a aplicação dos adubos nitrogenados). As perdas de N por volatilização da ureia foram reduzidas pela adição de inibidor de urease e pela irrigação imediatamente após a adubação, independentemente de doses de N e de épocas de semeadura. A incorporação dos adubos nitrogenados pelo uso da irrigação logo após sua aplicação aumenta o rendimento de grãos de milho e a eficiência agrônômica do uso do N (EAN) em relação à sua aplicação logo após a irrigação ou em solo seco, com irrigação aos sete dias após, especialmente na época de semeadura de agosto.

---

<sup>1</sup>Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil (75p.) Julho 2015.

# MANAGEMENT STRATEGIES TO MINIMIZE NITROGEN (N) LOSSES BY VOLATILIZATION AND INCREASE THE YIELD OF IRRIGATED CORN GRAINS<sup>1</sup>

Author: Guilherme Borba Menezes

Adviser: Paulo Regis Ferreira da Silva

## ABSTRACT

The nitrogen (N) presents a complex dynamic in the soil, being considerably affected by environmental conditions, specially the soil humidity occasioned by nitrogen fertilizer appliance, for the origination and mode of appliance. Urea is the main source of N to be used, due to its low cost. However, urea presents high potential of N losses by ammonia volatilization. Among the alternatives to increase the agronomic efficiency of the N usage (EAN) in corn, it stands out the usage of urea with urease inhibitor. The aim of the current dissertation was to measure, during two agricultural years, the efficiency of management in order to minimize the N losses by volatilization and increase the efficiency of irrigated corn gain in two different sowings. The research was conducted during the agricultural year 2012/2013 and 2013/2014, in Eldorado do Sul – RS. In each season, it was performed two experiments: one of them being applied on early sowing (up to late winter) and the second one during an intermediate corn sowing (October). In each experiments, the treatments consisted in two nitrogen fertilizer sources (regular urea and urea with urease inhibitor), two doses of nitrogen (100 and 200 kg ha<sup>-1</sup>) and three management irrigation systems in relation to the appliance period of nitrogen fertilizer coverage (irrigation realized on the same day, right before and after the appliance of two nitrogen fertilizer sources in coverage and with irrigation just seven days after the fertilizer appliance). The nitrogen losses by urea volatilization were reduced with addition of urease inhibitor and for the irrigation immediately right after the fertilizing, independently of the dose or period of sowing. The incorporation of nitrogen fertilizers for the usage of irrigation right after its appliance, increases the yield of corn grains and the agronomic efficiency of the N usage (EAN) comparing its appliance right after the irrigation or in dry soil, with irrigation after seven days, specially in August sowing season.

---

<sup>1</sup>Master of Science Dissertations in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil (75p.) July 2015.

## SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Local de execução do estudo .....	12
3.2 Tratamentos e delineamento experimental .....	14
3.3 Manejo e determinações na cobertura de solo no inverno.....	15
3.4 Manejo e determinações no milho .....	17
3.4.1 Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento .....	18
3.4.2 Teor e quantidade de N acumulada por hectare na parte aérea da planta no espigamento.....	18
3.4.3 Rendimento de grãos e componentes do rendimento.....	18
3.4.4 Eficiência agrônômica do nitrogênio aplicado (EAN).....	19
3.5 Quantificação de perdas de amônia (N-NH <sub>3</sub> ) por volatilização .....	19
3.6 Análise estatística .....	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
4.1 Dados meteorológicos .....	23
4.2 Perdas acumuladas de N por volatilização .....	30
4.3 Rendimento de grãos, componentes do rendimento e características relacionadas ao desenvolvimento da planta.....	43
4.3.1 Manejo da irrigação.....	43
4.3.2 Fontes e doses de N aplicado .....	52
5 CONCLUSÕES.....	63
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
7 APÊNDICES .....	71

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Perdas acumuladas de N por volatilização em função de manejo de irrigação após a adubação nitrogenada em cobertura e de fontes e doses de adubo nitrogenado no Experimento I. Eldorado do Sul – RS, 2012/13. ....	30
2. Perdas acumuladas de N por volatilização em função de manejo de irrigação após a adubação nitrogenada em cobertura e de fontes e doses de adubo nitrogenado no Experimento II. Eldorado do Sul – RS, 2012/13. ....	32
3. Perdas acumuladas de N por volatilização em função de duas fontes e doses de adubo nitrogenado em cobertura, de três sistemas de manejo da irrigação. No Experimento III. Eldorado do Sul – RS, 2013/14. ....	33
4. Perdas acumuladas de N por volatilização em função de manejo de irrigação após a adubação nitrogenada em cobertura e de fontes e doses de adubo nitrogenado no Experimento IV. Eldorado do Sul – RS, 2013/14. ....	35
5. Rendimento de grãos e outras características agronômicas em função do manejo da irrigação em relação à época de aplicação do N, na média de fontes e doses de adubo nitrogenado em cobertura, no Experimento I. Eldorado do Sul – RS, 2012/13. ....	40
6. Rendimento de grãos e outras características agronômicas em função do manejo da irrigação em relação à época de aplicação do N, na média de fontes e doses de adubos nitrogenados em cobertura, no Experimento II. Eldorado do Sul – RS, 2012/13. ....	41
7. Rendimento de grãos e outras características agronômicas em função do manejo da irrigação em relação à época de aplicação do N, na média de fontes e doses de adubos nitrogenados em cobertura, no Experimento III. Eldorado do Sul – RS, 2013/14.....	43

8. Rendimento de grãos e outras características agronômicas em função do manejo da irrigação em relação à época de aplicação do N, na média de fontes e doses de adubo nitrogenado em cobertura, no Experimento IV. Eldorado do Sul – RS, 2013/14. .... 44
9. Rendimento de grãos e outras características agronômicas de milho em função de fontes e doses de adubo nitrogenado na média de manejos da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados, no Experimento I. Eldorado do Sul – RS, 2012/13. .... 49
10. Rendimento de grãos e outras características agronômicas de milho em função de fontes e doses de adubo nitrogenado na média de manejos da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados, no Experimento II. Eldorado do Sul – RS, 2012/13. .... 50
11. Rendimento de grãos e outras características agronômicas de milho em função de fontes e doses de adubo nitrogenado, na média de manejos da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados, no Experimento III. Eldorado do Sul – RS, 2013/14. .... 52
12. Rendimento de grãos e outras características agronômicas de milho em função de fontes e doses de adubo nitrogenado, na média de manejos da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados, no Experimento IV. Eldorado do Sul – RS, 2013/14. .... 53

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Foto ilustrativa mostrando como foi feita a cobertura nos tratamentos que receberam o adubo nitrogenado em solo seco. ....	14
2. Foto ilustrativa do coletor de PVC utilizado nos estudos de volatilização de amônia.....	19
3. Dados meteorológicos durante a avaliação de perdas de N por volatilização (precipitação, irrigação e temperatura média, mínima e máxima) referentes ao Experimento I. ....	23
4. Umidade relativa do ar durante o período de avaliação de perdas de N por volatilização referente ao Experimento I. ....	24
5. Dados meteorológicos durante o período de avaliação de perdas de N por volatilização (precipitação, irrigação e temperatura média, mínima e máxima) referentes ao Experimento II. ....	25
6. Umidade relativa do ar durante o período de avaliação de perdas de N por volatilização referente ao Experimento II. ....	25
7. Dados meteorológicos durante a avaliação de perdas de N por volatilização (precipitação, irrigação e temperaturas média, mínima e máxima) referentes ao Experimento III. ....	26
8. Umidade relativa do ar durante o período de avaliação de perdas de N por volatilização referente ao Experimento III. ....	27
9. Dados meteorológicos durante a avaliação de perdas de N por volatilização (precipitação, irrigação e temperaturas média, mínima e máxima) referentes ao Experimento IV.....	28
10. Umidade relativa do ar durante o período de avaliação de perdas de N por volatilização referente ao Experimento IV.....	28

11. Percentagem de perda do N aplicado na forma de ureia comum (U) e ureia com inibidor de urease (UI), nas doses de 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>, em três sistemas de adubação. Antes da irrigação (A); após a irrigação (B) e no seco, com irrigação 7 dias após adubação (C). Experimento I. Eldorado do Sul – RS, 2012/13. .... 30
12. Percentagem de perda do N aplicado na forma de ureia comum (U) e ureia com inibidor de urease (UI), nas doses de 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>, em três sistemas de adubação. Antes da irrigação (A); após a irrigação (B) e no seco, com irrigação sete dias após adubação (C). Experimento II. Eldorado do Sul – RS, 2012/13..... 32
13. Percentagem de perda do N aplicado na forma de ureia comum (U) e ureia com inibidor de urease (UI), nas doses de 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>, em três sistemas de adubação. Antes da irrigação (A); após a irrigação (B) e no seco, com irrigação aos sete dias após adubação (C). Experimento III. Eldorado do Sul – RS, 2013/14..... 34
14. Percentagem de perda do N aplicado na forma de ureia comum (U) e ureia com inibidor de urease (UI), nas doses de 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>, em três sistemas de adubação. Antes da irrigação (A); após a irrigação (B) e no seco, com irrigação aos sete dias após adubação (C). Experimento IV. Eldorado do Sul – RS, 2013/14. .... 35

## 1 INTRODUÇÃO

Para se obter altas produtividades de grãos na cultura do milho é necessário adequar práticas de manejo para otimizar o uso dos recursos naturais e para proporcionar melhores condições para desenvolvimento da planta. Dentre as inúmeras práticas preconizadas, a adubação nitrogenada é fundamental para que se obtenha altos rendimentos de grãos. Essa importância se deve ao fato do milho ser extremamente responsivo ao incremento da adubação nitrogenada. No entanto, quanto maior for a dose de nitrogênio (N) aplicada, maior será o potencial de perda. O N apresenta uma dinâmica complexa no solo, sendo muito influenciado pelas condições de ambiente e pelas fontes dos adubos nitrogenados.

Dentre as fontes nitrogenadas disponíveis para o milho, destaca-se a amídica (ureia), pelo alto teor de N (45%) e pelo menor custo por unidade do nutriente aplicado, sendo a forma mais utilizada no Brasil. No entanto, a eficiência de uso dos adubos nitrogenados é baixa, estando em torno de 50% (Lara Cabezas *et al.*, 2000), sendo que as maiores perdas desse nutriente ocorrem pelos processos de volatilização, desnitrificação e lixiviação. Essas perdas se refletem em menor potencial de rendimento de grãos e em maior impacto ambiental. O aumento na concentração de amônia na atmosfera,

devido especificamente ao processo de volatilização, pode significar uma entrada adicional de N em sistemas agroflorestais, o que poderá mudar a composição de vegetais e incrementar as taxas de acidificação do solo, além de afetar o balanço de nutrientes no ecossistema (Hartwing&Bockman, 1994).

Outro problema ambiental que pode ser originado a partir da inadequada aplicação de adubos nitrogenados, é a eutrofização de rios, lagos e lençóis freáticos, devido à lixiviação de nitrato. Esse processo ocorre basicamente pelo aumento das concentrações de N e fósforo na água, que pode resultar em rápido aumento no desenvolvimento de algas e em crescimento excessivo de algumas espécies de plantas aquáticas. Além disso, a contaminação por excesso de nutrientes pode vir a deixar os recursos hídricos impróprios para os consumos humanos e animal, além de causar a morte da fauna aquática, devido à hipóxia, em que o nível de oxigênio na água é baixo (Esteves, 1998).

Há algumas alternativas que podem ser usadas para aumentar a eficiência agrônômica de uso de N (EAN) em milho e, por consequência, diminuir o impacto no ambiente. Dentre elas, destacam-se a utilização de ureia com inibidor de urease, a incorporação do adubo nitrogenado no solo com utilização de uma lâmina de água e a escolha de época de semeadura com menor potencial de perda. A utilização de ureia com inibidor de urease pode reduzir as perdas de N por volatilização, pelo fato do inibidor ocupar o local de atuação da enzima urease, reduzindo a taxa de hidrólise da ureia.

Uma segunda estratégia que pode ser adotada para minimizar as perdas de N por volatilização, pode estar relacionada a condições de umidade do solo por ocasião da aplicação do adubo nitrogenado. Ao se aplicar ureia em solo

úmido, pode ocorrer maiores perdas de N por volatilização. Devido à presença de umidade no solo, inicia-se o processo de solubilização da ureia e, portanto, o processo de perdas de N por volatilização. Por outro lado, a aplicação do adubo nitrogenado em cobertura imediatamente antes da ocorrência de uma precipitação pluvial ou da realização de uma irrigação pode reduzir as perdas de N, independentemente de fonte de N utilizada.

Outro fator que pode influenciar perdas de N por volatilização, é a temperatura do ar. A ocorrência de temperaturas do ar mais altas pode aumentar o potencial de perdas de N por volatilização. Portanto, em regiões mais quentes do estado do RS, a antecipação da época de semeadura de milho para o início do período recomendado (agosto) pode resultar em menores perdas de N por volatilização de amônia em relação a épocas de semeadura mais tardias, devido à menor temperatura do ar no período após a aplicação do adubo nitrogenado.

Diante do exposto, elaboraram-se as seguintes hipóteses de trabalho na presente pesquisa:

a) A utilização de ureia com inibidor de urease contribui para diminuição das perdas de N por volatilização, resultando em aumento de rendimento na cultura do milho.

b) A incorporação da ureia com irrigação reduz as perdas de N por volatilização.

c) A época de semeadura do milho influencia as perdas de N por volatilização, semeaduras mais tardias (outubro) têm maior potencial de perda em relação a semeaduras mais do cedo (agosto/setembro).

Para testar essas hipóteses, foram conduzidos dois experimentos a campo, durante dois anos agrícolas, com os seguintes objetivos:

a) Quantificar o impacto da fonte e dose de N e do manejo da irrigação nas perdas de N por volatilização, em duas épocas de semeadura.

b) Avaliar o impacto dessas perdas de N nas características associadas ao desenvolvimento da planta, no rendimento de grãos e componentes do rendimento e na eficiência agronômica de uso de N (EAN) em milho, em duas épocas de semeadura.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produtividade média de milho nas últimas cinco safras (2011/12 a 2014/15) no estado do Rio Grande do Sul foi de 4,99 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015). Há uma grande lacuna entre o rendimento médio de grãos obtido em lavouras comerciais de milho e os rendimentos máximos obtidos em experimentos conduzidos sob condições ótimas de manejo, que têm variado entre 17,40 Mg ha<sup>-1</sup> e (Menegati *et al.*, 2012) e 16,60 Mg ha<sup>-1</sup> (Sangoi *et al.*, 2012), respectivamente nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

Várias causas têm contribuído para obtenção de baixos rendimentos em lavouras. Dentre os principais fatores que afetam a produtividade do milho, está o manejo da adubação, principalmente a nitrogenada. O N é o nutriente mineral mais exigido pelo milho, podendo ser limitante ao seu desenvolvimento, sendo necessário o uso de adubação nitrogenada para complementar a quantidade fornecida pelo solo (Meira *et al.*, 2009). De outra parte, é o nutriente que mais onera o custo de produção dessa cultura (Amado *et al.*, 2002). A eficiência do N oriundo de fertilizantes minerais é muito variável. Entretanto, raramente é maior que 50 % da quantidade aplicada (Lara Cabezas *et al.*, 2000). Dentre as fontes disponíveis de N, a ureia é a mais utilizada nas culturas em função de seu menor custo por unidade de nutriente. No entanto, pode apresentar

diferentes perdas de N, dependendo das condições meteorológicas vigentes durante o ciclo da cultura e do manejo da adubação nitrogenada adotado.

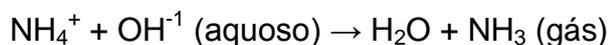
A dinâmica do N no solo está associada às práticas de manejo, às condições meteorológicas vigentes durante o ciclo da cultura e às características intrínsecas do solo. Uma das principais formas de perdas N para o ambiente é por desnitrificação, que é o processo de transformação de nitrato e outras substâncias em gás nitrogênio ( $N_2$ ), pela ação de bactérias desnitrificantes. No solo, além das bactérias de nitrificação existem outros tipos, como a *Pseudomonas denitrificans*, que, na ausência de oxigênio atmosférico, usa o nitrato para oxidar compostos orgânicos (respiração anaeróbia). Já a lixiviação é um processo em que ocorrem perdas de N via nitrato ( $NO_3^-$ ), que é a forma mineral de nitrogênio predominante em solos sem restrição de oxigênio. Essa perda de N via nitrato deve-se ao predomínio de cargas negativas na camada arável do solo, sendo sua adsorção eletrostática insignificante. Desta forma, o nitrato permanece na solução do solo, o que favorece sua lixiviação no perfil para profundidades inexploradas pelas raízes (Ceretta & Fries, 1997).

Como estratégia para diminuir perdas de N por lixiviação tem sido proposto o uso de inibidores da nitrificação. Os inibidores da nitrificação são compostos que retardam a oxidação bacteriana do amônio ( $NH_4^+$ ), suprimindo as atividades de organismos nitrificantes do solo. Dois grupos de inibidores da nitrificação são estudados. O primeiro relaciona-se ao uso de inibidores sintéticos adicionados na fonte de adubo nitrogenado. Eles têm ação sobre as bactérias do gênero *Nitrosomonas*, responsáveis pela oxidação do amônio.

Sua aplicação impede o processo de nitrificação no solo, pela inativação da enzima amônia monoxigenase (AMO), que oxida o amônio em hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ). Esses inibidores são utilizados há vários anos na agricultura de maneira restrita, devido a seu desempenho instável em diferentes ambientes. O segundo grupo de inibidores da nitrificação está relacionado à capacidade que algumas espécies de plantas possuem de suprimir a nitrificação do solo pela liberação de compostos (exsudatos) pelas suas raízes, a qual é altamente controlada pela planta e pelo ambiente (Subbarao *et al.*, 2006). Esses compostos também inibem a atividade no solo de bactérias do gênero *Nitrosomonas* pela ação sobre as enzimas AMO e sobre a enzima hidroxilamina oxireductase (HAO), responsáveis por oxidar a hidroxilamina em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ). Algumas espécies de plantas foram identificadas com essa capacidade biológica e com potencial genético para serem utilizadas em espécies cultivadas, porém é necessário avaliar seus efeitos sobre o solo e em outras espécies.

Um terceiro mecanismo importante de perda de N para o ambiente é por volatilização de amônia. Dentre os fatores de solo que podem influenciar as perdas gasosas de  $\text{N-NH}_3$ , estão: pH, poder tampão, textura, mineralogia da fração argila, umidade, capacidade de troca catiônica (CTC), temperatura, teor de matéria orgânica e potencial redox do solo (Costa *et al.*, 2004). Essa dinâmica se reflete diretamente na eficiência do N aplicado via fertilização mineral.

O processo de perda por volatilização de amônia consiste na passagem da amônia presente no solo à atmosfera (Diest, 1988), conforme a seguinte reação:



O  $\text{NH}_3$  perdido por volatilização pode ser proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo ou do fertilizante aplicado, sendo esse o processo mais intenso mediante aumento no pH do solo (Melo, 1978). Essa transformação é rápida, ocorrendo logo após a aplicação da ureia, que é o principal fertilizante nitrogenado utilizado na agricultura brasileira (Rodrigues & Kiehl, 1986; Lara Cabezas *et al.*, 1997a). A ureia aplicada é rapidamente hidrolisada em dois ou três dias (Byrnes, 2000), sendo que os picos de perdas de N da ureia por volatilização ocorrem nos primeiros dias após a aplicação. Assim, quando a ureia é aplicada ao solo, o processo de perda de amônia por volatilização envolve inicialmente a hidrólise por meio da enzima urease. A ocorrência desta enzima é comum na natureza e ela está presente em microrganismos, plantas e animais. A urease presente no solo é proveniente da síntese realizada por microrganismos e, provavelmente, também é originária de resíduos vegetais (Bremner & Mulvaney, 1978; Frankenberger & Tabatabai, 1982). Estima-se que 79 a 89% da atividade da urease em solos se deve a enzimas extracelulares, adsorvidas aos colóides do solo (Paulson & Kurtz, 1969). A atividade de urease é maior em plantas e resíduos vegetais do que em solo. Portanto, solos contendo restos de cultura (plantio direto, áreas manejadas com resíduos de plantas em sua superfície) tendem a apresentar maior atividade desta enzima.

Experimentos a campo realizados na região Sudeste do Brasil têm registrado perdas equivalentes a até 78 % do N aplicado via fertilizante em cobertura (Lara Cabezas *et al.*, 1997). Por sua vez, na região sul têm sido verificadas perdas usualmente inferiores a 20 % (2007; Fontoura & Bayer, 2010). A diferença na magnitude das perdas entre a região Sul e Sudeste pode estar relacionada com a diferença de temperatura entre regiões. O aumento da temperatura da região Sul para região Sudeste influencia no aumento da atividade da enzima urease. Trabalhos mostram o aumento da atividade desta enzima com um aumento de temperatura de 10 a 40° C (Bremner & Mulvaney, 1978 e Longo *et al.*, 1991).

Com objetivo de aumentar a eficiência de uso da adubação nitrogenada e reduzir perdas de amônia por volatilização, várias alternativas têm sido apresentadas, desde a incorporação da ureia mecanicamente ao solo até sua substituição por outras fontes nitrogenadas que apresentem menor potencial de perda para o ambiente. Dentre as formas de minimizar as perdas de N por volatilização da amônia, a utilização de inibidores da urease apresenta grande potencial. A volatilização de amônia é favorecida pela maior atividade da urease, que normalmente é verificada na camada superficial de solos em plantio direto (Barreto & Westerman, 1989) e pela presença da palhada, que atua como um obstáculo para contato do fertilizante com o solo (Keller & Mengel, 1986). Inibidores de urease são geralmente utilizados em fontes de N que apresentam alto potencial de perdas por volatilização, como a ureia, e em situações nas quais o manejo não permite a incorporação do adubo ao solo, como no sistema plantio direto (Cantarella *et al.*, 2008). A adição de

inibidor de urease permite maior tempo para que o fertilizante seja incorporado ao solo pela precipitação pluvial, sem que ocorram perdas significativas de N.

Inúmeros produtos químicos têm sido avaliados como inibidores de urease do solo (Kiss & Simihaian, 2002). No entanto, apenas alguns dos vários compostos testados preencheram os requisitos necessários para serem eficazes em baixas concentrações, estáveis e compatíveis com ureia (sólido ou em soluções), degradáveis no solo e com baixo custo. Alguns estudos têm relatado a eficiência na redução de perdas de N-NH<sub>3</sub> quando foi adicionado inibidor de urease (NBPT) [N-(n-butyl) thiophosphorictriamide] à ureia (Rozas *et al.*, 1999; Pereira *et al.*, 2009; Scivittaro *et al.*, 2010).

Além da fonte de adubo nitrogenado utilizada, as condições meteorológicas vigentes, principalmente a disponibilidade hídrica no período próximo à aplicação do adubo nitrogenado e o manejo da adubação nitrogenada, podem influenciar a eficiência de uso de N. A aplicação do adubo nitrogenado após a ocorrência de precipitação pluvial pode aumentar as perdas de N, pois a adição de água ao solo permite que ocorra a dissolução da ureia e o início de sua hidrólise. A aplicação superficial de ureia, tanto em solo arenoso quanto em argiloso, aumenta as perdas de N por volatilização de amônia em relação à sua incorporação, independentemente do manejo de restos culturais de aveia preta, textura do solo, teor de matéria orgânica (MOS) e da CTC do solo (Sangoi *et al.*, 2003).

Por outro lado, a ocorrência de precipitação pluvial após a aplicação do adubo nitrogenado possibilita o transporte de ureia e N amoniacal em profundidade no solo, podendo aumentar a adsorção e reduzir perdas por

volatilização. Em um solo francoarenoso, a aplicação de uma lâmina de água de 10 a 20 mm é considerada suficiente para incorporar a ureia e reduzir ou mesmo eliminar perdas de amônia em áreas de solo descoberto (Kissel *et al.*, 2004). Em condições de casa de vegetação, foi evidenciado que o uso do inibidor da urease atrasou a hidrólise da ureia e resultou em maior movimento vertical e horizontal da ureia nas camadas de solo (Dawar *et al.*, 2011).

Outra alternativa para redução de perdas de N por volatilização de amônia pode ser a utilização de fertilizantes nitrogenados menos suscetíveis a esse processo. Dentre essas fontes de N, o sulfato de amônio  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  e o nitrato de amônio  $[\text{NH}_4\text{NO}_3]$  destacam-se pela sua eficiência na redução dessas perdas quando aplicados em superfície (Lara Cabezas *et al.*, 1997b). Essa maior eficiência deve-se à reação ácida destes fertilizantes no solo e à presença dos ânions  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^-$ , que atuam como íons acompanhantes e favorecem o deslocamento vertical do cátion  $\text{NH}_4^+$  no solo (Lara Cabezas *et al.*, 1997 a, b). No entanto, há que se considerar que o custo por quilograma de N destes fertilizantes é geralmente maior do que na ureia.

O surgimento no mercado da ureia com inibidor da urease abre novas perspectivas para aumento da eficiência da adubação nitrogenada. Como este é um fato relativamente recente no Brasil, os estudos que comparam, sob condições de campo, a eficiência de diferentes fontes de N em função de disponibilidade hídrica no solo, de doses de N aplicada e de época de semeadura.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de execução do estudo

Quatro experimentos foram conduzidos a campo, na Estação Experimental Agronômica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), no município de Eldorado do Sul, sendo dois no ano agrícola 2012/13 e dois no de 2013/14. A EEA/UFRGS está situada na região ecoclimática da Depressão Central, do estado do Rio Grande do Sul. O clima da região é considerado subtropical úmido, de verão quente, do tipo fundamental "Cfa", conforme classificação climática de Köppen. Ocorrem variações nas médias mensais de radiação solar, sendo dezembro o mês de maior fluxo de radiação global, com média de  $509 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Janeiro e fevereiro são os meses mais quentes, enquanto junho e julho são os mais frios. A temperatura média anual do ar é de  $14,9 \text{ }^\circ\text{C}$ , sendo a média das mínimas de  $14,8 \text{ }^\circ\text{C}$  e a média das máximas, de  $24,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . A precipitação pluvial média anual é de  $1.440 \text{ mm}$ , apresentando, frequentemente, períodos de deficiência hídrica entre os meses de novembro a março, período que abrange o florescimento, a formação e o enchimento de grãos de milho na semeadura realizada em outubro Bergamaschi *et al.*, (2003).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Streck *et al.*, 2008). Para avaliação de seus atributos físicos e químicos foram coletadas amostras na profundidade de 0-10 cm. Em abril de 2012, as amostras apresentaram os seguintes valores: argila: 25%; pH (água): 5.1; Índice SMP: 6.0; P: 34 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich-1); K: 146 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich-1); MO: 20 g kg<sup>-1</sup> e CTC: 9.6 cmolc dm<sup>-3</sup>, conforme Tedesco *et al.* (1995). Já em abril de 2013, os resultados da análise foram os seguintes: argila: 24 % (m/v); pH (água): 5,1; Índice SMP: 5,9; P: 24 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich-1); K: 178 mg dm<sup>-3</sup> (Mehlich-1); MO: 16 g kg<sup>-1</sup> e CTC: 9,2 cmolc ndm<sup>-3</sup>.

A área experimental vem sendo conduzida sob sistema de plantio direto há 23 anos. No verão, é feita rotação entre as culturas de soja e milho, sendo que metade da área é cultivada com milho e metade com soja. No inverno, são cultivados nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), ou ervilhaca comum (*Vicia sativa*) ou aveia preta (*Avena strigosa*) como coberturas antecessoras ao milho, dependendo dos objetivos dos experimentos. Como culturas antecessoras à soja, são cultivadas aveia preta (*Avena strigosa*) ou aveia branca (*Avena sativa*). Especificamente nos anos de 2012 e 2013 foi implantada, no mês de maio, aveia branca como cobertura de solo. A escolha da aveia branca ao invés da utilização de nabo forrageiro ou ervilhaca se deu pelo fato da aveia ter uma menor relação C:N em relação as outras duas culturas. Com isso, a utilização de uma espécie com menor relação C:N reduz o fornecimento de N no sistema, demonstrando assim o real efeito das fontes e dose de N aplicadas na cultura do milho.

### **3.2 Tratamentos e delineamento experimental**

A pesquisa foi conduzida durante dois anos agrícolas, sendo realizados dois experimentos em cada ano. No primeiro ano, a semeadura do milho no primeiro experimento ocorreu no dia 20 de agosto de 2012, em uma época considerada antecipada e no dia 20 de outubro de 2012, em uma época de semeadura considerada intermediária. Já no segundo ano, a semeadura do milho foi realizada em 11 de setembro de 2013, correspondente à época antecipada e em 30 de outubro de 2013 (época intermediária).

Em cada experimento, os tratamentos constaram de três manejos de irrigação em relação à aplicação dos adubos nitrogenados em cobertura, de duas fontes e de duas doses de adubo nitrogenado em cobertura, com quatro repetições. Os três manejos da irrigação em relação à aplicação dos adubos nitrogenados foram: irrigação momentos antes da aplicação dos adubos nitrogenados (no dia), irrigação logo após sua aplicação (no dia) e irrigação somente aos sete dias após a aplicação dos adubos nitrogenados. Nos tratamentos em que as subparcelas não receberam água das precipitações pluviais durante o período de sete dias, a área foi protegida por uma cobertura plástica, colocada imediatamente antes da provável ocorrência de uma precipitação (Figura 1).



FIGURA 1. Foto ilustrativa mostrando como foi feita a cobertura nos tratamentos que receberam o adubo nitrogenado em solo seco.

As doses de N aplicadas foram de 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>. As fontes de N utilizadas foram ureia comum e ureia com inibidor da urease, com tecnologia Agrotain. A utilização dessas duas doses de N em cobertura foi de evitar que uma dose maior de N (300 ou 400 kg ha<sup>-1</sup>), por exemplo, pudesse mascarar os resultados. As duas doses de N foram aplicadas em dose única, no estágio V<sub>7</sub>, de acordo com a escala de Ritchie et al. (1993).

Em todos os quatro experimentos, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foram locados os sistemas de manejo da irrigação e nas subparcelas a combinação de fontes e doses de N aplicado. As subparcelas tiveram cinco metros de comprimento e oito linhas com espaçamento de 0,5 m entre linhas de largura.

### **3.3 Manejo e determinações na cobertura de solo no inverno**

A aveia branca foi semeada na primeira quinzena de maio de 2012 e de 2013, em linhas, na densidade de 100 kg ha<sup>-1</sup> de sementes e com

espaçamento entrelinhas de 17,0 cm. A adubação de base constou da aplicação de 10, 60 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, utilizando-se 200 kg ha<sup>-1</sup> de adubo químico NPK, da fórmula 05-30-15. Para determinação do rendimento de massa seca da parte aérea foram coletadas, no dia de realização da dessecação, quatro amostras de 0,25 m<sup>2</sup> de área representativa da área experimental. Posteriormente, estas foram secas em estufa a 60 °C até atingir peso constante. Por regra de três simples, a produção de massa seca da área coletada foi extrapolada para um hectare. Nos dois anos, a aveia foi dessecada 45 dias antes da primeira época de semeadura do milho. O rendimento de massa seca da cobertura de inverno foi de 3,8 e 4,3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, no primeiro e segundo ano agrícola.

### 3.4 Manejo e determinações no milho

Nos quatro experimentos, o milho foi semeado em sistema de semeadura direta, em sucessão à aveia branca, com auxílio de semeadora manual (saraquá). O híbrido utilizado foi o DKB 240 PRO 2, da empresa Dekalb Sementes, na densidade de de  $8,0 \text{ pl m}^{-2}$ , com espaçamento entrelinhas de 0,5 m. A adubação na semeadura foi baseada na análise de solo para alta expectativa de produtividade ( $15,00 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e constou da aplicação de 30, 120 e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente nos quatro experimentos realizados. As sementes foram tratadas com  $300 \text{ ml ha}^{-1}$  do inseticida Cropstar (imidacloprid i.a.  $150 \text{ g L}^{-1}$  + thiodicarb i.a.  $450 \text{ g L}^{-1}$ ), e  $1,0 \text{ ml kg}^{-1}$  de sementes do fungicida Carben 500 SC (carbendazim i.a.  $500 \text{ g L}^{-1}$ ). O ajuste da densidade de planta foi efetuado aos 14 dias após emergência das plântulas, com desbaste manual.

Após a aplicação dos tratamentos de irrigação, o milho foi irrigado sempre que necessário durante todo o ciclo. A necessidade de irrigação complementar foi estimada pela instalação de seis sondas para determinar a umidade volumétrica do solo, com auxílio do equipamento Hidrofarm. Com base nestas leituras, as irrigações foram realizadas quando a umidade volumétrica do solo atingisse  $0,18 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . Este é o valor próximo à umidade correspondente ao limite hídrico inferior da cultura do milho, obtido a partir da curva de retenção de água no solo da área experimental. O sistema de irrigação utilizado foi o por aspersão, com vazão de  $8,0 \text{ mm h}^{-1}$ . Plantas daninhas, pragas e doenças foram controladas de modo a não interferirem no rendimento de grãos e nas demais características agronômicas avaliadas.

As seguintes determinações foram realizadas:

#### **3.4.1 Rendimento de massa seca da parte aérea no espigamento**

Foram coletadas quatro plantas da segunda linha de cada unidade experimental, que foram acondicionadas em estufa, sob temperatura de 60 °C, até atingir peso constante. Este material foi pesado e os valores obtidos foram extrapolados para um hectare, por regra de três simples.

#### **3.4.2 Teor e quantidade de N acumulada por hectare na parte aérea da planta no espigamento**

Nas plantas coletadas para avaliação do rendimento de massa seca da parte aérea foi determinado o teor de nitrogênio (N), segundo a metodologia descrita por Tedesco *et al.*, (1995). A quantidade de N acumulada por planta foi calculada dividindo-se por quatro o peso seco das plantas da amostra e multiplicando-se este valor pelo respectivo teor de N. Após, esse valor foi multiplicado pelo número total de plantas por hectare (80.000).

#### **3.4.3 Rendimento de grãos e componentes do rendimento**

O rendimento de grãos foi obtido pela extrapolação da produção obtida na área útil da parcela (10,0 m<sup>2</sup>) para um hectare, corrigida a umidade para 130 g kg<sup>-1</sup>.

O número de espigas por metro quadrado foi determinado pela razão entre o número de espigas colhidas na unidade experimental pelo valor de sua área útil. O peso do grão foi obtido pela contagem manual de 200 grãos de

cada unidade experimental, com posterior pesagem e correção de umidade para  $130 \text{ g kg}^{-1}$ , e divisão da massa obtida por 200. Já o número de grãos por espiga foi calculado, indiretamente, da seguinte forma: inicialmente foi obtido o número de grãos das plantas da área útil pela razão entre o peso de grãos da área útil e o peso do grão. Após, foi feita a divisão deste valor pela área útil, obtendo-se o número de grãos por metro quadrado. Por fim, o número de grãos por espiga foi obtido pela razão entre o número de grãos por metro quadrado e o número de espigas por metro quadrado.

#### **3.4.4 Eficiência agronômica do nitrogênio aplicado (EAN)**

A EAN foi calculada pela fórmula proposta por (Baligar *et al.*, 1990):

$$\text{EAN} = (\text{RF} - \text{RNF}) / \text{QNA}$$

Onde RF é o rendimento de grãos obtido nos tratamentos com aplicação de N em cobertura, RNF é o rendimento de grãos do tratamento sem aplicação de N em cobertura e QNA é a quantidade de N aplicada em cobertura.

Para determinação da EAN se fez necessário montar um tratamento que não recebeu adubação nitrogenada em cobertura em cada um dos experimentos realizados.

#### **3.5 Quantificação de perdas de amônia (N-NH<sub>3</sub>) por volatilização**

Para esta avaliação foi utilizado o coletor do tipo semi-aberto estático descrito por Nömmik (1973), com alterações propostas por Lara Cabezas & Trivelin (1990). As câmaras coletoras consistiram de um cilindro de acrílico

transparente com 0,15 m de diâmetro e 0,35 m de altura, sobre o qual foi disposta uma proteção visando evitar incidência de água oriunda das precipitações pluviais no interior da câmara (Da Ros *et al.*, 2005). Essas câmaras foram instaladas sobre bases de cloro polivinil (PVC), previamente inseridas a 2,5 cm de profundidade no solo (Foto 2).



FIGURA 2. Foto ilustrativa do coletor de PVC utilizado nos estudos de volatilização de amônia.

Foram utilizadas cinco bases no primeiro ano agrícola e sete bases no segundo ano agrícola por unidade experimental, com utilização de uma base por coleta. Assim, os coletores foram transferidos para as bases subsequentes, a cada coleta, refletindo as condições ambientais (precipitação pluvial, vento, temperatura) do período anterior, sem as interferências causadas pela presença das câmaras (Cantarella *et al.*, 1999). As bases foram instaladas previamente à aplicação dos fertilizantes nitrogenados e protegidas, para não haver a contaminação com os mesmos. A aplicação dos adubos nitrogenados

foi realizada manualmente a lanço na superfície do solo, posterior à qual as bases foram descobertas e aplicada uma dose equivalente de N na área de cada base. As câmaras coletoras foram instaladas logo após a aplicação dos adubos nitrogenados.

Em cada uma das câmaras, foram colocados dois discos absorvedores de polipropileno com 2,0 cm de espessura e densidade 28, embebidas em solução de ácido fosfórico ( $50 \text{ ml L}^{-1}$ ) e glicerina ( $40 \text{ ml L}^{-1}$ ). A primeira esponja, disposta na parte inferior da câmara, a uma altura de 15 cm do solo, teve como objetivo captar a amônia que foi volatilizada do solo na parte interna da câmara. A segunda esponja, disposta a 30 cm do solo, teve função de captar a amônia externa às câmaras, evitando a contaminação da esponja inferior (DA ROS et al., 2005). Os discos absorvedores foram preparados antes de serem instalados nos coletores de amônia, sendo acondicionados em sacos de plástico (2 L), juntamente com 70 mL da solução preparada com ácido fosfórico e glicerina. Os discos de espuma foram trocados a cada coleta, mas apenas o disco inferior foi armazenado em saco plástico e mantido refrigerado ( $5^{\circ}\text{C}$ ), para posterior extração da amônia retida na solução ácida Lara Cabezas *et al.*, (1997b).

As perdas de amônia foram avaliadas em seis momentos no primeiro ano agrícola (2, 4, 6, 8, 10 e 12 dias) após aplicação das doses e fontes de adubo nitrogenado. Já no segundo ano agrícola as perdas de amônia foram avaliadas em oito momentos (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, e 16 dias). A amônia retida no disco absorvedor foi extraída por sucessivas lavagens, aproximadamente cinco, com solução de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ , coletada em balão volumétrico de 500 mL,

cujo volume foi completado. Uma alíquota de 20 mL foi retirada desse volume, à qual foi adicionada 0,2 g de MgO e submetida à destilação com arraste a vapor em semi-microKjeldahl. A amônia foi retida em solução de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  com  $\text{NH}_4^+$ , que foi quantificada por titulação com solução de ácido sulfúrico padronizado Tedesco *et al.*, (1995). A quantidade de amônia volatilizada foi calculada com base no volume total da solução utilizada para lavagem das esponjas (500 mL), sendo os resultados expressos em taxas diárias de volatilização de N- $\text{NH}_3$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Descontada a volatilização de N do tratamento sem adubação nitrogenada, foi calculada a volatilização acumulada de amônia para cada tratamento, que foi expressa como proporção (%) da dose de N aplicada.

### **3.6 Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo Teste F. Quando significativo, as médias foram comparados pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A pesquisa foi composta por quatro experimentos conduzidos a campo. Nos experimentos I e III o milho foi semeado na época antecipada (até 11 de setembro), respectivamente nos anos agrícolas 2012/13 e 2013/14. Nos experimentos II e IV a semeadura foi realizada numa época intermediária (outubro), respectivamente, no primeiro e segundo ano. Os resultados serão apresentados e discutidos individualmente para cada um dos quatro experimentos que compõem a pesquisa, ou seja, duas épocas de semeadura e dois anos agrícolas.

Para um melhor entendimento, inicialmente serão apresentados os dados meteorológicos referentes aos anos agrícolas 2012/13 e 2013/14, individualmente por experimento. Após, serão apresentados e discutidos os resultados referentes à quantificação de perdas de N por volatilização, ao rendimento e componentes do rendimento de grãos e às características relacionadas ao desenvolvimento da planta.

### **4.1 Dados meteorológicos**

Na primeira época de semeadura (20 de agosto), no primeiro ano agrícola (Experimento I), a data de aplicação dos adubos nitrogenados foi no

dia 17 de outubro de 2012. Durante o período de 13 dias em que houve avaliação de perdas de N por volatilização, ocorreu uma precipitação pluvial de 32 mm no quinto dia após a adubação e uma de 25,5 mm no último dia do período de avaliação (Figura 3). A temperatura média no período foi de 20,5°C. Já as temperaturas média mínima e máxima foram de, respectivamente, 15,0 e 26,3°C (Figura 3). Durante o período de avaliação, a umidade relativa do ar média foi de 90 % (Figura 4).

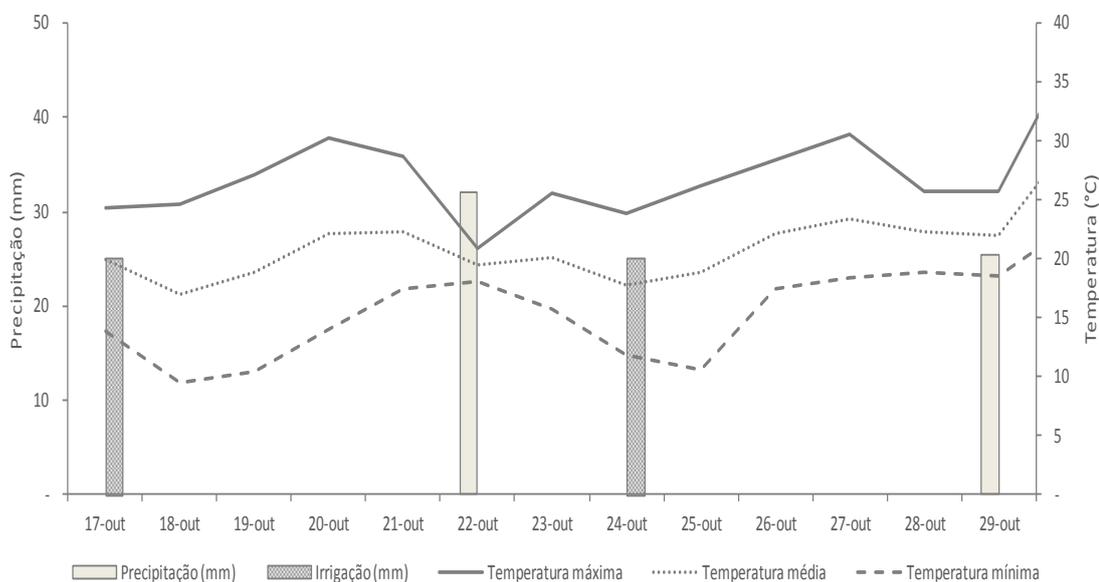


FIGURA 3. Dados meteorológicos durante a avaliação de perdas de N por volatilização (precipitação, irrigação e temperatura média, mínima e máxima) referentes ao Experimento I.

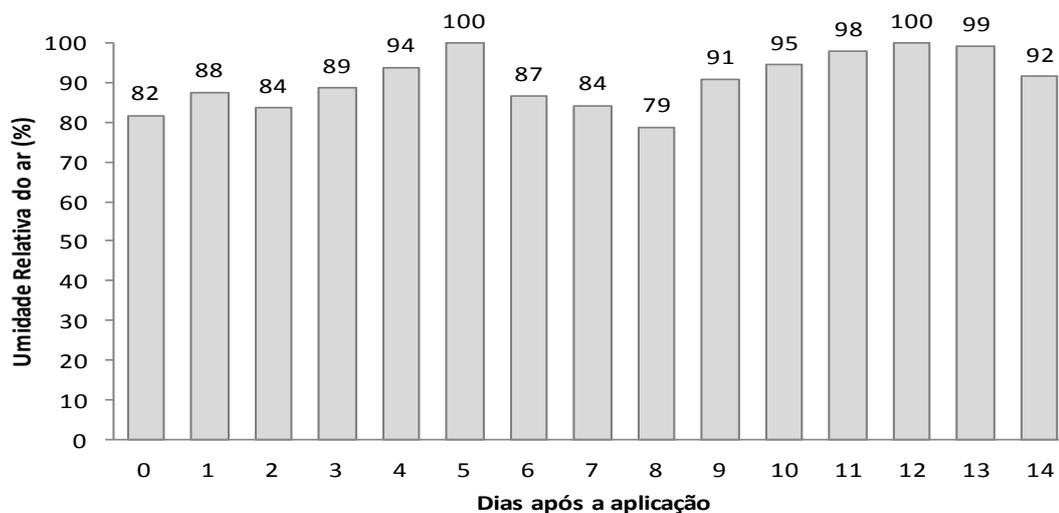


FIGURA 4. Umidade relativa do ar durante o período de avaliação de perdas de N por volatilização referente ao Experimento I.

Na segunda época de semeadura (outubro), no primeiro ano agrícola (Experimento II), a data da aplicação do adubo nitrogenado foi no dia 20 de novembro de 2012. Houve ocorrência de duas precipitações durante o período de avaliação de perdas de N por volatilização, sendo uma no terceiro dia após a adubação (20 mm) e outra no quinto dia de avaliação (7 mm) (Figura 5). Já as temperaturas máxima, mínima e média observadas no período de avaliação foram de, respectivamente, 33,3; 11 e 22,5°C.

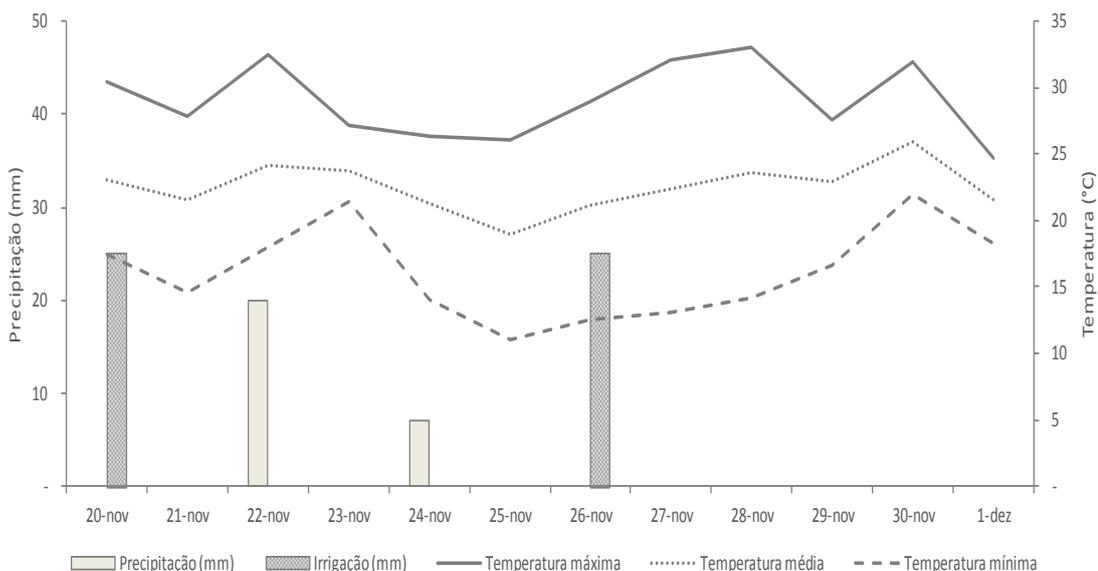


FIGURA 5. Dados meteorológicos durante o período de avaliação de perdas de N por volatilização (precipitação, irrigação e temperatura média, mínima e máxima) referentes ao Experimento II.

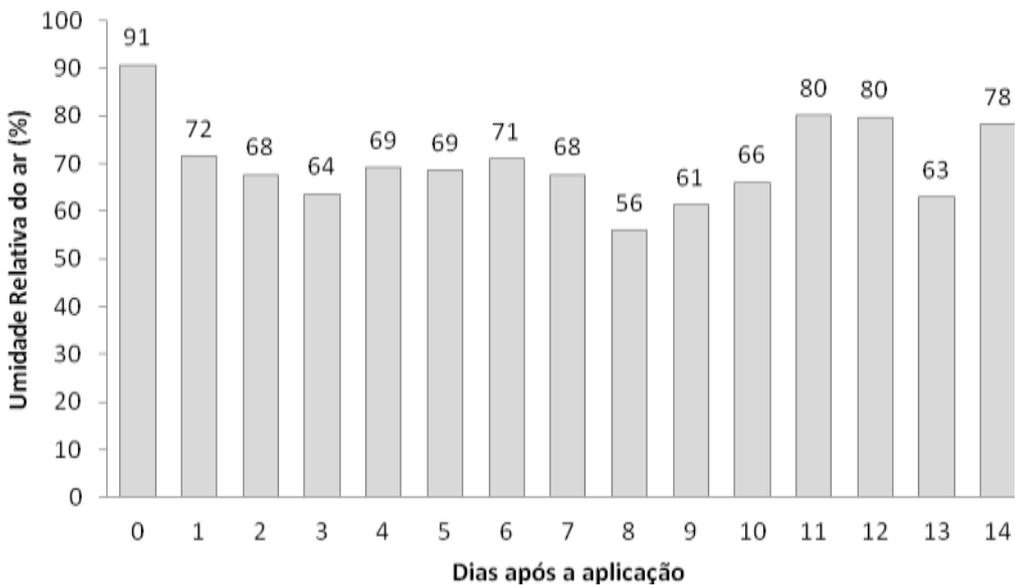


FIGURA 6. Umidade relativa do ar durante o período de avaliação de perdas de N por volatilização referente ao Experimento II.

Na primeira época de semeadura (setembro), no segundo ano agrícola (Experimento III), a data da aplicação do adubo nitrogenado foi no dia 28 de outubro de 2013. Durante o período de avaliação não houve ocorrência de precipitação pluvial, tendo-se aplicado uma lâmina de água pela irrigação no dia que foi realizado a adubação e uma segunda lâmina aos sete dias após a adubação nitrogenada. Já as temperaturas média, média das máximas e média das mínimas observadas foram, respectivamente, de 20,7; 26,4 e 15,1°C. (Figura 7). Durante o período de avaliação das perdas de N por volatilização a umidade relativa do ar média foi de 71 % (Figura 8).

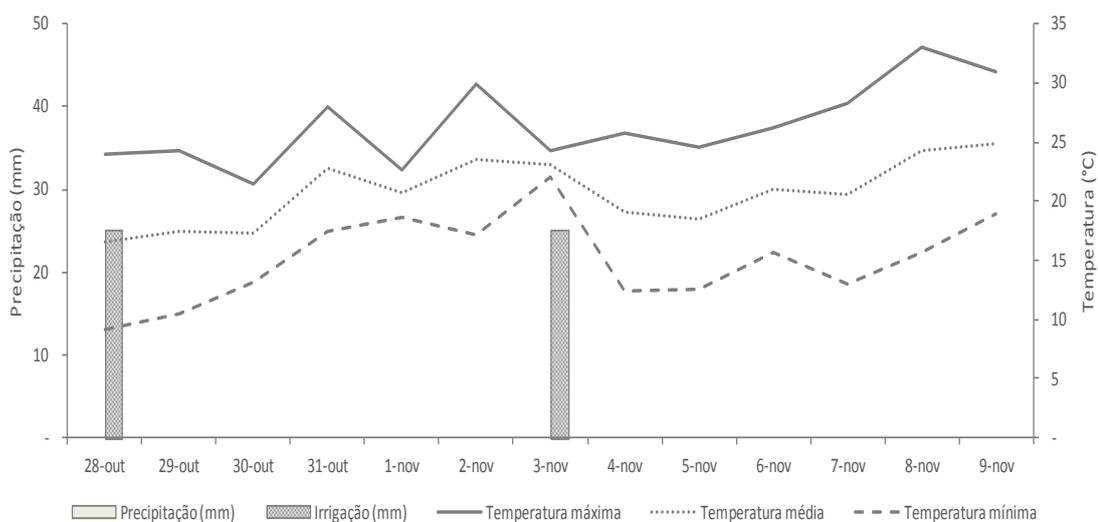


FIGURA 7. Dados meteorológicos durante a avaliação de perdas de N por volatilização (precipitação, irrigação e temperaturas média, mínima e máxima) referentes ao Experimento III.

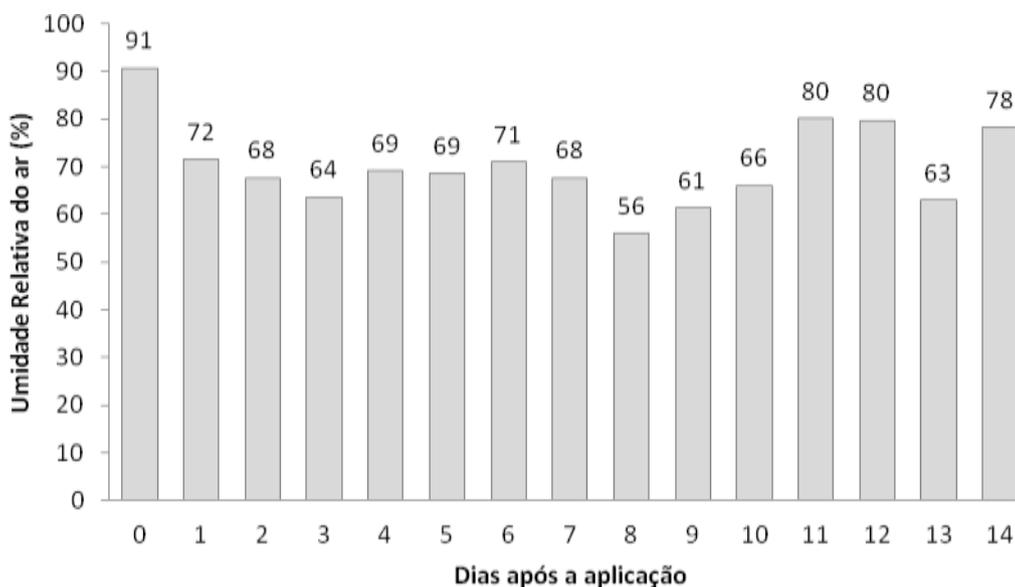


FIGURA 8. Umidade relativa do ar durante o período de avaliação de perdas de N por volatilização referente ao Experimento III.

Na segunda época de semeadura (outubro), no segundo ano agrícola (Experimento IV), a data da aplicação do adubo nitrogenado foi no dia 23 de novembro de 2013. Durante o período em que foram realizadas as avaliações de perdas de N por volatilização, não houve ocorrência de precipitação pluvial, sendo realizada uma irrigação de 25 mm aos sete dias após a adubação (Figura 9). Já as temperaturas média, média das máximas e média das mínimas observada foram de, respectivamente, 23,4; 30,2 e 19,0 °C. Durante o período de avaliação, a umidade relativa do ar média foi de 70 % (Figura 10).

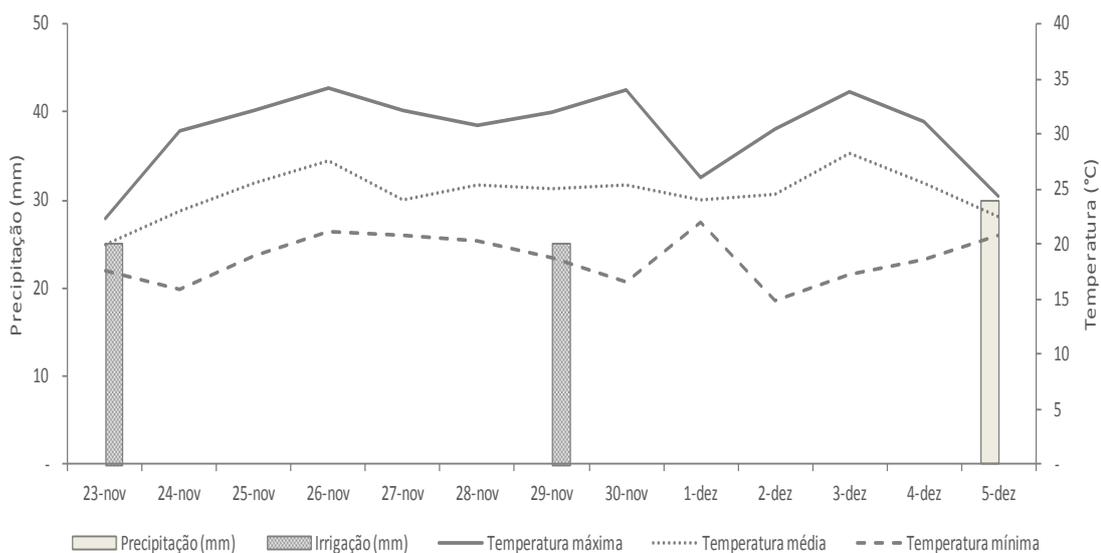


FIGURA 9. Dados meteorológicos durante a avaliação de perdas de N por volatilização (precipitação, irrigação e temperaturas média, mínima e máxima) referentes ao Experimento IV.

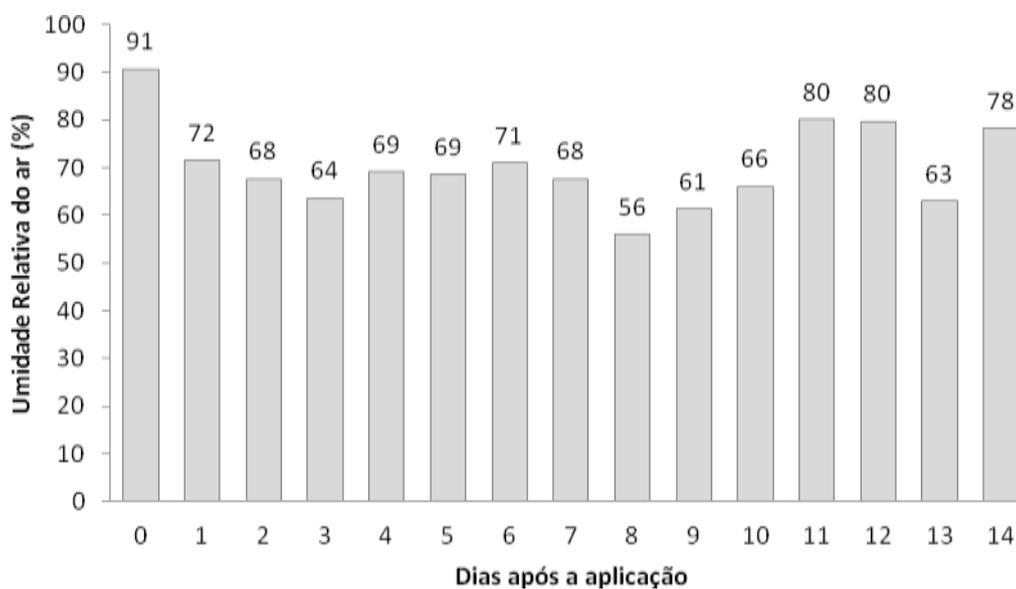


FIGURA 10. Umidade relativa do ar durante o período de avaliação de perdas de N por volatilização referente ao Experimento IV.

#### 4.2 Perdas acumuladas de N por volatilização

Para este parâmetro, houve interação dos dois fatores avaliados, manejo da irrigação em relação à adubação e fontes e doses de N nos quatro experimentos.

Na primeira época de semeadura (20 de agosto), no primeiro ano agrícola (Experimento I), quando o adubo nitrogenado foi aplicado antes da irrigação (25 mm), não houve diferença nas perdas de N por volatilização em função de doses e fontes de N aplicadas (Tabela 1). Já no tratamento que recebeu a adubação nitrogenada após a irrigação a maior perda de N por volatilização foi registrada ocorreu quando a ureia comum na maior dose (200 kg ha<sup>-1</sup>), foi aplicada após a aplicação da irrigação (Tabela 1). As maiores perdas foram registradas nos três primeiros dias (Figura 11).

Ainda no sistema de adubação após irrigação as perdas registradas nos demais tratamentos (100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia comum) e (100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia com inibidor de urease) não diferiram entre si (Tabela 1). Apesar de não diferirem entre si a utilização da ureia com inibidor de urease reduziu em 50,6 e 34,1 % as perdas de N por volatilização, respectivamente, na dose de 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> em relação à dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia comum.

TABELA 1. Perdas acumuladas de N por volatilização em função de manejo de irrigação após a adubação nitrogenada em cobertura e de fontes e doses de adubo nitrogenado no Experimento I. Eldorado do Sul – RS, 2012/13.

Manejo da Irrigação <sup>1</sup>	Fonte de adubo nitrogenado			
	100 U <sup>2</sup>	100 UIU	200 U	200 UIU
	-----Perda acumulada de N, kg ha <sup>-1</sup> -----			
Após adubação	8,9 Ab <sup>3*</sup>	6,8 Aa	23,9* Ab	11,9 Aa
Antes da adubação	27,3 Ba	13,5 Ba	52,0 Aa*	28,0 Ba
Após 7 dias da adubação	13,3 Bab	7,9 Ba	43,5 Aa	22,2 Ba

<sup>1</sup>Aplicação da lâmina de 25 mm de água imediatamente antes ou depois ou aos sete dias após a adubação nitrogenada em cobertura; <sup>2</sup>Fertilizantes. U: ureia comum e UIU: ureia com inibidor de urease. <sup>3</sup>Letra maiúscula na linha compara média da mesma dose dentro da mesma época de semeadura e letras minúsculas na coluna comparam sistemas de irrigação. \*Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

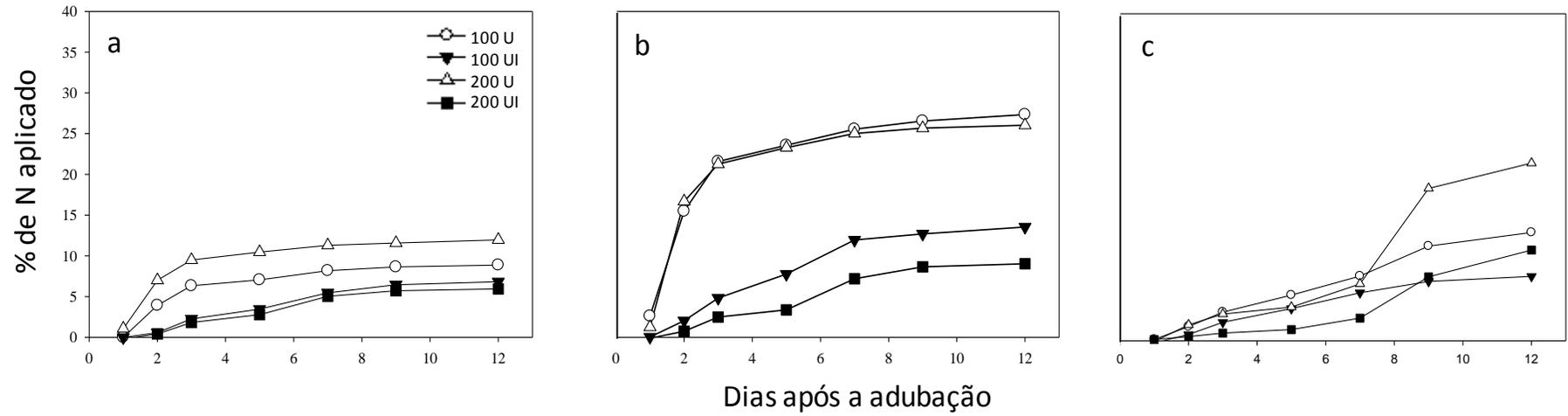


FIGURA 11. Percentagem de perda do N aplicado na forma de ureia comum (U) e ureia com inibidor de urease (UI), nas doses de 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>, em três sistemas de adubação. Antes da irrigação (A); após a irrigação (B) e no seco, com irrigação sete dias após adubação (C). Experimento I. Eldorado do Sul – RS, 2012/13.

Similarmente com o que ocorreu nos tratamentos que foram adubados após a irrigação, quando o N foi aplicado em solo seco e irrigado aos sete dias após, as maiores perdas de N por volatilização também foram observadas nos tratamentos que receberam a maior dose de N ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) na forma de ureia comum (Tabela 1). Os demais tratamentos não se diferenciaram entre si. Com a irrigação realizada no sétimo dia após a adubação nitrogenada, as perdas aumentaram de forma acentuada, representando cerca de 20 % do N aplicado (Figura 11).

Na segunda época de semeadura (20 de outubro), no primeiro ano agrícola (Experimento II), com a aplicação de N antes da irrigação não houve diferenças nas perdas de N por volatilização em função de doses e fontes de N (Tabela 2).

Assim como no Experimento I, as maiores perdas de N por volatilização foram registradas na maior dose ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) de N, na forma de ureia comum. Cerca de 39,3 % do N aplicado foi perdido por volatilização de amônia (Tabela 2). As maiores perdas de N por volatilização ocorreu nos três primeiros dias. Os demais tratamentos não tiveram diferença entre si, porém a utilização da ureia com inibidor de urease reduziu em 48,2 e 51,5 % as perdas de N por volatilização, respectivamente, nas doses de 100 e  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  em relação à dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, na forma de ureia comum.

Quando o N foi aplicado em solo seco e irrigado aos sete dias após as maiores perdas de N por volatilização também foram observadas nos tratamentos que receberam a maior dose de N ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ), na forma de ureia comum (Tabela 2). Os tratamentos que receberam  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  na forma de

ureia comum e 200 kg ha<sup>-1</sup> na forma de ureia com inibidor de urease tiveram um comportamento intermediário em relação à maior dose (200 kg ha<sup>-1</sup>) de N na forma de ureia comum e na menor dose de N (100 kg<sup>-1</sup>) na forma de ureia com inibidor de urease (Tabela 2). As perdas máximas foram inferiores a 15 % do N aplicado em todos os tratamentos (Figura 12).

TABELA 2. Perdas acumuladas de N por volatilização em função de manejo de irrigação após a adubação nitrogenada em cobertura e de fontes e doses de adubo nitrogenado no Experimento II. Eldorado do Sul – RS, 2012/13.

Manejo da Irrigação <sup>1</sup>	Fonte de adubo nitrogenado			
	100 U <sup>2</sup>	100 UIU	200 U	200 UIU
	-----Perda acumulada de N - kg ha <sup>-1</sup> -----			
Após adubação	5,4 Ab <sup>3</sup>	5,2 Aa	6,8* Ac	4,8 Aa
Antes da adubação	21,4 Ba	11,1 Ba	7,8,7 Aa	10,4 Ba
Após 7 dias da adubação	15,5 ABa	9,4 Ba	27,9 Ab	12,8 ABa

<sup>1</sup>Aplicação da lâmina de 25 mm de água imediatamente antes ou depois ou aos sete dias após a adubação nitrogenada em cobertura; <sup>2</sup>Fertilizantes. U: ureia comum e UIU: ureia com inibidor de urease. <sup>3</sup>Letra maiúscula na linha compara média da mesma dose dentro da mesma época de semeadura e letras minúsculas na coluna comparam sistemas de irrigação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

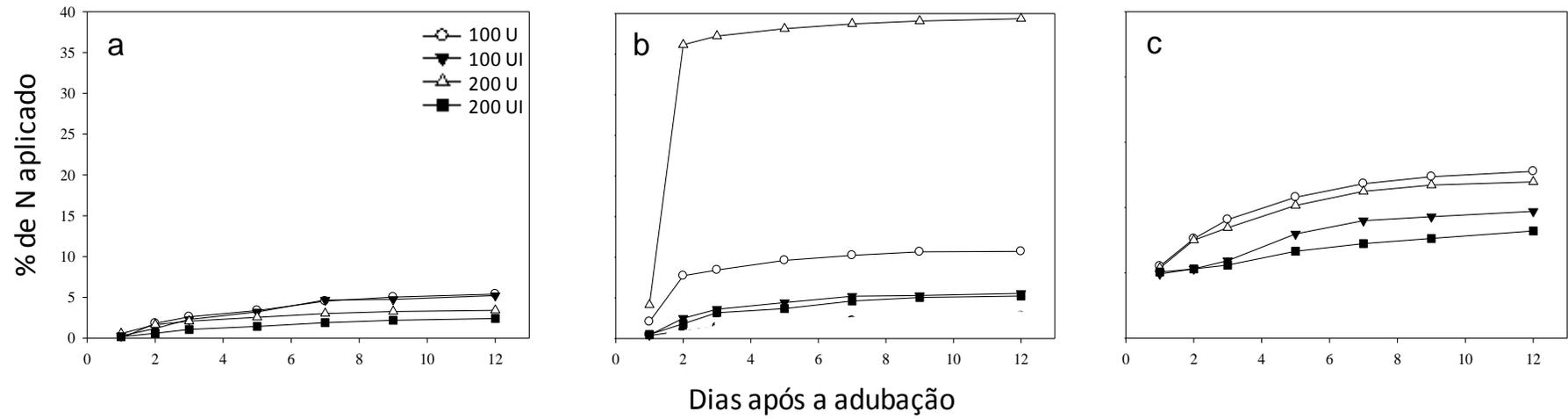


FIGURA 12. Percentagem de perda do N aplicado na forma de ureia comum (U) e ureia com inibidor de urease (UI), nas doses de 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>, em três sistemas de adubação. Antes da irrigação (A); após a irrigação (B) e no seco, com irrigação sete dias após adubação (C). Experimento II. Eldorado do Sul – RS, 2012/13.

No segundo ano agrícola (2013/14), na época de semeadura antecipada (20 de setembro), a menor perda de  $\text{N-NH}_3$  também ocorreu quando os fertilizantes nitrogenados foram aplicados antes da irrigação (Tabela 3), demonstrando que a aplicação de 25 mm de lâmina d'água imediatamente após a adubação foi eficiente para a redução das perdas de N pelo processo de volatilização (Figura 13).

Como no primeiro ano agrícola, as maiores perdas de amônia foram encontradas quando houve aplicação do N após a irrigação (Figura 13), sendo que as maiores perdas de N foram constatadas nos tratamentos que receberam  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na forma de ureia comum, sendo que 39,3 % do N aplicado foi perdido por volatilização (Figura 13).

Quando o N foi aplicado em solo seco e houve irrigação somente aos sete dias após, as maiores perdas de N foram relatadas novamente na maior dose ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) aplicada, sendo que 48,1 % do N aplicado foi perdido pelo processo de volatilização (Figura 13). No entanto, houve redução das perdas N por volatilização quando se utilizou o N na forma de ureia com inibidor de urease em relação à ureia comum, independentemente da dose utilizada (Tabela 3). A utilização do inibidor de urease na menor dose de N ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ) reduziu em 67,5 % as perdas de N por volatilização em relação à ureia comum. Já na dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, a utilização de ureia com inibidor de urease reduziu em 75,9 % as perdas de N em relação à ureia comum.

À exceção da irrigação logo após a adubação, as maiores perdas de N foram concentradas nos cinco primeiros dias após a aplicação de ureia comum (Figura 13).

TABELA 3. Perdas acumuladas de N por volatilização em função de manejo de irrigação após a adubação nitrogenada em cobertura e de fontes e doses de adubo nitrogenado no Experimento III. Eldorado do Sul – RS, 2013/14.

Manejo da Irrigação <sup>1</sup>	Fonte de adubo nitrogenado			
	100 U <sup>2</sup>	100 UIU	200 U	200 UIU
-----Perda acumulada de N, kg ha <sup>-1</sup> -----				
Após adubação	3,9 Ab <sup>3</sup>	2,3 Aa	4,2 Ab	3,6 Ab
Antes da adubação	33,5 Aa	14,3 Ba	78,7 Ab	48,1 Ba
Após 7 dias da adubação	40,9 Aa	13,3 Ba	97,4 Aa	23,5 Bc

<sup>1</sup>Aplicação da lâmina de 25 mm de água imediatamente antes ou depois ou aos sete dias após a adubação nitrogenada em cobertura; <sup>2</sup>Fertilizantes. U: ureia comum e UIU: ureia com inibidor de urease. <sup>3</sup>Letra maiúscula na linha compara média da mesma dose dentro da mesma época de semeadura e letras minúsculas na coluna comparam sistemas de irrigação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

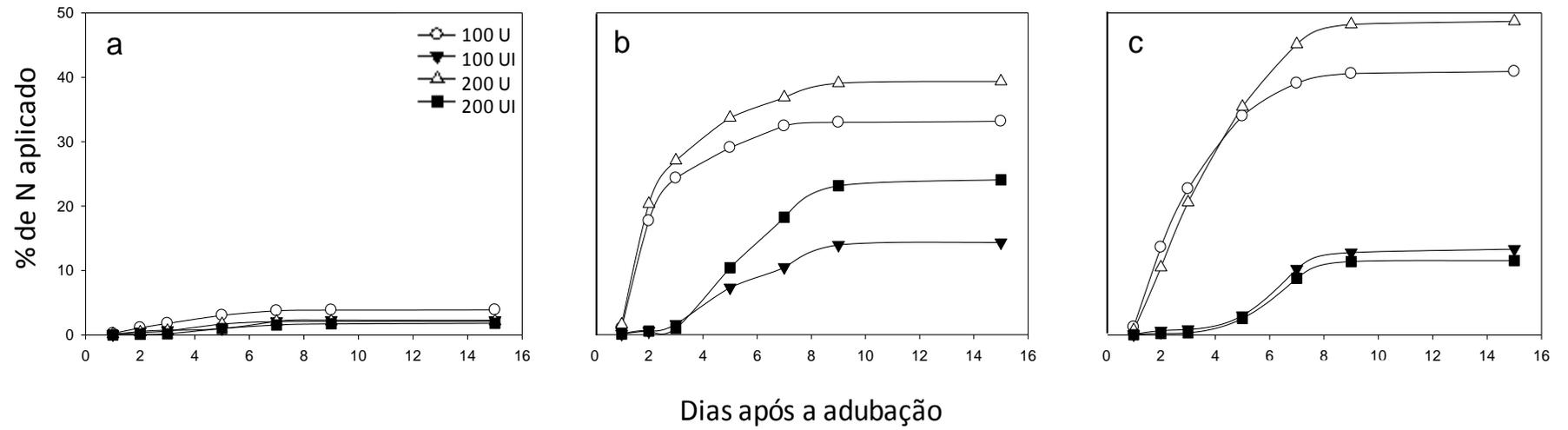


FIGURA 13. Percentagem de perda do N aplicado na forma de ureia comum (U) e ureia com inibidor de urease (UI), nas doses de 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>, em três sistemas de adubação. Antes da irrigação (A); após a irrigação (B) e no seco, com irrigação sete dias após adubação (C). Experimento III. Eldorado do Sul – RS, 2013/14.

Na segunda época de semeadura (30 de outubro), no segundo ano agrícola (Experimento IV), observou-se o mesmo comportamento verificado nos três experimentos anteriores. Quando houve a aplicação de uma lâmina de água (25 mm) logo após a adubação nitrogenada não houve diferença de perdas de N por volatilização, independentemente de fontes e doses de N aplicado (Tabela 4 e Figura 14).

Quando o milho foi adubado após a irrigação, a aplicação da ureia com inibidor da urease reduziu as perdas de N em relação à ureia comum (Tabela 4). Na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N a utilização da ureia com inibidor de urease reduziu em cerca de 70,5 % as perdas de N por volatilização em relação à ureia comum. Já na maior dose de N ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ), a utilização da ureia com inibidor de urease reduziu em 17,3 % as perdas de N por volatilização em relação à ureia comum. Nesse sistema de irrigação, as maiores perdas de N foram observadas quando se utilizou ureia comum, independentemente da dose. No período avaliado, as perdas representaram aproximadamente 20 % do N aplicado (Figura 14).

Quando o adubo nitrogenado foi aplicado em solo seco, com irrigação somente aos sete dias após, também houve redução das perdas de N quando foi utilizada ureia com inibidor de urease em relação à ureia comum (Tabela 4). As reduções nas perdas de N por volatilização quando se utilizou a ureia com inibidor da urease foram de 33,9 e 74,1 %, respectivamente, para as doses de 100 e  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ , em relação à ureia comum (Tabela 4). Após a irrigação (25 mm), as perdas de N aumentaram de forma acentuada, representando, aproximadamente, 25% do N aplicado (Figura 14) na forma de ureia comum.

TABELA 4. Perdas acumuladas de N por volatilização em função de manejo de irrigação após a adubação nitrogenada em cobertura e de fontes e doses de adubo nitrogenado no Experimento IV. Eldorado do Sul – RS, 2013/14.

Manejo da Irrigação <sup>1</sup>	Fonte de adubo nitrogenado			
	100 U <sup>2</sup>	100 UIU	200 U	200 UIU
	-----Perda acumulada de N, kg ha <sup>-1</sup> -----			
Após adubação	4,0 Ab <sup>3*</sup>	1,8 Ab	12,2 Ac	6,0 Ab
Antes da adubação	19,3 Ba	5,9 Bb	35,8 Ab	30,0 Aa
Após 7 dias da adubação	28,0 Aa	18,8 Ba	55,2 Aa	8,9 Bb

<sup>1</sup>Aplicação da lâmina de 25 mm de água imediatamente antes ou depois ou aos sete dias após a adubação nitrogenada em cobertura; <sup>2</sup>Fertilizantes. U: ureia comum e UIU: ureia com inibidor de urease. <sup>3</sup>Letra maiúscula na linha compara média da mesma dose dentro da mesma época de semeadura e letras minúsculas na coluna comparam sistemas de irrigação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

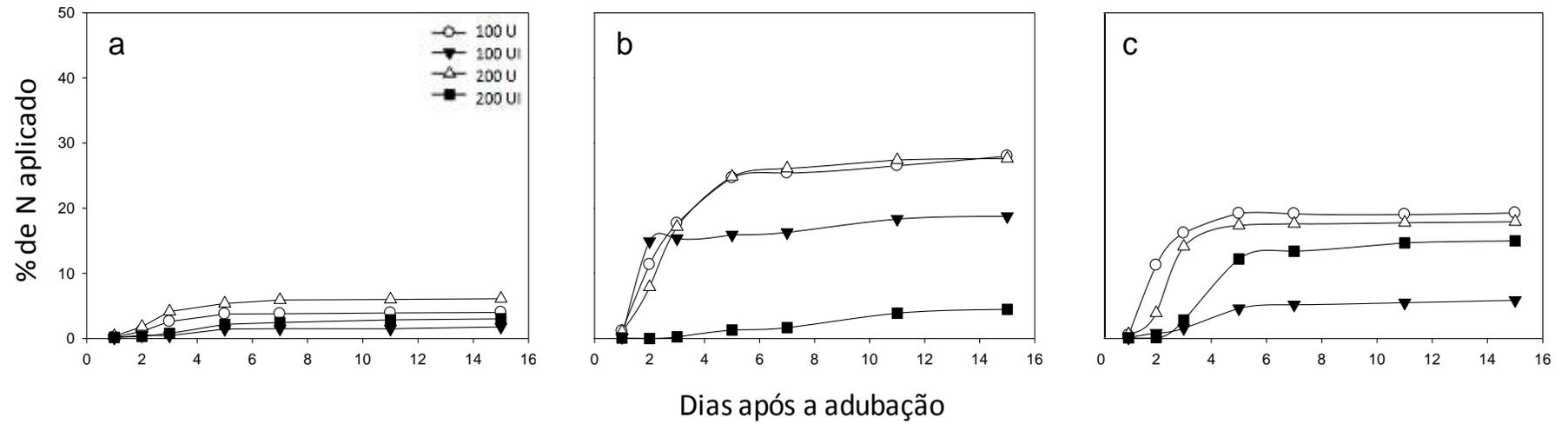


FIGURA 14. Percentagem de perda do N aplicado na forma de ureia comum (U) e ureia com inibidor de urease (UI), nas doses de 100 e 200 kg N ha<sup>-1</sup>, em três sistemas de adubação. Antes da irrigação (A); após a irrigação (B) e no seco, com irrigação sete dias após adubação (C). Experimento IV. Eldorado do Sul – RS, 2013/14.

Nos quatro experimentos realizados, não houve diferença entre fontes de N quanto às perdas de N por volatilização quando o adubo nitrogenado foi aplicado antes da irrigação (25 mm), independentemente de doses de N (Tabelas 1, 2, 3 e 4). Essa ausência de resposta pode ser atribuída à incorporação do N pela irrigação. Vários trabalhos realizados a campo mostram a eficiência da incorporação do N ao solo em diminuir perdas de N por volatilização (Kissel *et al.*, 2004).

No sistema em que os adubos nitrogenados foram aplicados logo após a irrigação, nas duas épocas de semeadura no primeiro ano agrícola, as maiores perdas de N por volatilização ocorreram na maior dose de N (200 kg ha<sup>-1</sup>) na forma de ureia comum (Tabelas 1 e 2). Nos demais tratamentos, não houve diferença nas perdas de N por volatilização.

Nos quatro experimentos, as maiores perdas de N por volatilização foram registradas nos primeiros cinco dias (Figuras 11, 12, 13 e 14). Isso se deve ao fato de que o processo de hidrólise da ureia se inicia imediatamente após a sua aplicação, devido à umidade presente no solo com a irrigação. Após esse período inicial, as perdas de N por volatilização provavelmente ficam limitadas por fatores que afetam a disponibilidade de amônia, tais como: secagem do solo, adsorção de amônio no complexo de troca do solo e oxidação e acidificação de amônio, com redução de perdas (Rochette *et al.*, 2009).

De forma geral, as perdas de N por volatilização foram menores quando o N foi incorporado pela irrigação no dia da adubação em relação à incorporação aos sete dias após. Isso evidencia que a irrigação logo após a

adubação é mais eficiente na redução das perdas de N quando aplicada antes do início da hidrólise da ureia (Kissel *et al.*, 2004). Segundo esses autores, quando a irrigação foi realizada logo após a adubação nitrogenada, as perdas de N por volatilização foram menores que 1%, já quando a irrigação foi realizada aos sete dias após a adubação essas perdas se elevaram para 5%.

### **4.3 Rendimento de grãos, componentes do rendimento e características relacionadas ao desenvolvimento da planta**

Para as variáveis rendimento de grãos, componentes do rendimento e características relacionadas ao desenvolvimento da planta não houve interação dos dois fatores testados, sendo significativos apenas os efeitos principais de manejo da irrigação e de fontes e doses do nitrogênio (N) aplicado. Portanto, os resultados e discussão serão apresentados primeiro em função de manejo da irrigação, na média de fontes e doses de N aplicado e, após, em função de fontes e doses de N aplicado, na média de manejo da irrigação.

#### **4.3.1 Manejo da irrigação**

Na primeira época de semeadura (20 de agosto), no primeiro ano agrícola (Experimento I), o rendimento de grãos foi influenciado pelo manejo da irrigação em relação à época de realização da adubação nitrogenada, na média de fontes e doses de N aplicado (Tabela 5). A utilização dos adubos nitrogenados imediatamente antes da irrigação aumentou o rendimento de grãos em 10,2 e 15,6%, respectivamente em relação aos tratamentos em que a

adubação foi realizada logo após a irrigação ou no seco, com irrigação somente aos sete dias após.

O número de espigas por metro quadrado foi o componente do rendimento mais associado ao rendimento de grãos, já que os outros dois, número de grãos por espiga e peso do grão, não foram afetados pelo manejo da irrigação (Tabela 5). A aplicação dos adubos nitrogenados, imediatamente antes da irrigação aumentou o número de espigas por planta em 11,0 e 11,4%, respectivamente em relação aos tratamentos em que a adubação foi realizada logo após a irrigação ou no seco, com irrigação somente após sete dias.

A eficiência agrônômica de uso de nitrogênio (EAN), que expressa a quantidade de grãos que é produzida por quilograma de N aplicado, foi 12,2 e 28,9% maior no tratamento com irrigação logo após a aplicação dos adubos nitrogenados, respectivamente em relação aos tratamentos com aplicação dos adubos nitrogenados logo após a irrigação e no seco, com irrigação apenas aos sete dias após sua aplicação (Tabela 5).

O rendimento de MS e a quantidade de N acumulado por hectare na parte aérea do milho no espigamento foram, respectivamente, 21,6 e 40,7% maiores no tratamento com irrigação logo após a aplicação dos adubos nitrogenados em relação ao tratamento com aplicação dos adubos nitrogenados no seco e com irrigação apenas aos sete dias após sua aplicação (Tabela 5). O tratamento em que a adubação foi realizada logo após a irrigação ficou num grupo intermediário.

TABELA 5. Rendimento de grãos e outras características agronômicas em função do manejo da irrigação em relação à época de aplicação do N, na média de fontes e doses de adubo nitrogenado em cobertura, no Experimento I. Eldorado do Sul – RS, 2012/13.

	Adubação nitrogenada			CV <sup>2</sup> (%)
	Antes da irrigação <sup>1</sup>	Após a irrigação	No seco, com irrigação 7 dias após adubação	
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	11,68 a*	10,60 b	10,10 b	7,1
Nº de espigas m <sup>-2</sup>	9,1 a	8,3 b	8,0 b	8,7
Nº de grãos por espiga	445 ns <sup>3</sup>	442	433	3,1
Peso do grão (mg)	286 ns	287	291	5,7
EAN (kg de grãos produzidos/kg de N aplicado) <sup>4</sup>	49 a	40 b	38 b	21,2
Rendimento de MS no espigamento (Mg ha <sup>-1</sup> )	11,48 a	9,86 ab	9,44 b	15,2
N acumulado no espigamento (kg ha <sup>-1</sup> )	228 a	193 ab	162 b	26,3

<sup>1</sup>Aplicação da lâmina de 25 mm de água; <sup>2</sup>Coeficiente de variação; \* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05); <sup>3</sup>ns: não significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. <sup>4</sup>Rendimento do tratamento testemunha, sem N: 4,9 Mg ha<sup>-1</sup>.

Na segunda época de semeadura (outubro), no primeiro ano agrícola (Experimento II), o rendimento de grãos e todos os demais parâmetros avaliados não foram influenciados pelo manejo da irrigação, na média de fontes e doses de N aplicado (Tabela 6).

TABELA 6. Rendimento de grãos e outras características agrônômicas em função do manejo da irrigação em relação à época de aplicação do N, na média de fontes e doses de adubos nitrogenados em cobertura, no Experimento II. Eldorado do Sul – RS, 2012/13.

	Adubação nitrogenada			CV <sup>2</sup> (%)
	Antes da irrigação <sup>1</sup>	Após a irrigação	No seco, com irrigação 7 dias após adubação	
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	12,71 ns <sup>3</sup>	12,38	12,50	5,0
Nº de espigas m <sup>-2</sup>	7,7 ns	7,5	7,8	5,7
Nº de grãos por espiga	516 ns	512	503	4,5
Peso do grão (mg)	318 ns	314	318	1,8
EAN (kg de grãos produzidos/kg de N aplicado) <sup>4</sup>	28 ns	25	26	18,2
Rendimento de MS no espigamento (Mg ha <sup>-1</sup> )	13,92 ns	14,86	13,06	15,3
N acumulado no espigamento (kg ha <sup>-1</sup> )	237 ns	232	236	30,6

<sup>1</sup>Aplicação da lâmina de 25 mm de água; <sup>2</sup>Coefficiente de variação; \* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05); <sup>3</sup>ns: não significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>4</sup>Rendimento do tratamento testemunha, sem N: 9,1 Mg ha<sup>-1</sup>.

Similarmente ao que ocorreu no Experimento I, na primeira época de semeadura (11 de setembro), no segundo ano agrícola (Experimento III), o manejo da irrigação interferiu no rendimento de grãos de milho, na média de fontes e doses de adubo nitrogenado (Tabela 7). Com a realização da adubação nitrogenada antes da irrigação, o rendimento de grãos foi 11% superior ao obtido quando se adubou após a irrigação. Já no tratamento em que se fez a adubação em solo seco, com irrigação apenas sete dias após, os valores obtidos foram intermediários em relação aos outros dois tratamentos.

Assim como no Experimento I, nesse segundo ano o número de espigas por metro quadrado foi o componente do rendimento mais associado ao rendimento de grãos, já que o número de grãos por espiga e o peso de grão não foram influenciados pelo manejo da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados (Tabela 7). A realização da adubação nitrogenada antes da irrigação aumentou em 7% o número de espigas em relação ao tratamento em que a adubação foi realizada logo após a irrigação. Valores intermediários foram obtidos para essa característica no tratamento em que a adubação foi realizada em solo seco, com irrigação aos sete dias após.

Quando os adubos nitrogenados foram aplicados antes da irrigação, o rendimento de MS foi 26,9 e 13,8% maiores em relação, respectivamente, aos tratamentos em que a adubação foi realizada logo após a irrigação ou no seco, com irrigação somente aos sete dias após (Tabela 7). A quantidade de N acumulada na parte aérea por hectare apresentou o mesmo comportamento, sendo 42,1 e 33,7 % maior no tratamento com adubação antes da irrigação em relação aos tratamentos em que a adubação foi realizada logo após a irrigação ou no seco, com irrigação somente aos sete dias após. No entanto, a EAN não variou significativamente em função de manejo da irrigação.

TABELA 7. Rendimento de grãos e outras características agrônômicas em função do manejo da irrigação em relação à época de aplicação do N, na média de fontes e doses de adubos nitrogenados em cobertura, no Experimento III. Eldorado do Sul – RS, 2013/14

	Adubação nitrogenada			CV <sup>2</sup> (%)
	Antes da irrigação <sup>1</sup>	Após a irrigação	No seco, com irrigação 7 dias após adubação	
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	11,68 a*	10,49 b	11,24 ab	8,5
Nº de espigas m <sup>-2</sup>	8,9 a	8,3 b	8,8 ab	8,7
Nº de grãos por espiga	522 ns <sup>3</sup>	514	510	3,5
Peso do grão (mg)	282 ns	270	284	5,7
EAN (kg de grãos produzidos/kg de N aplicado) <sup>4</sup>	24 ns	18	22	43,1
Rendimento de MS no espigamento (Mg ha <sup>-1</sup> )	13,48 a	10,62 b	11,84 b	15,2
N acumulado no espigamento (kg ha <sup>-1</sup> )	135 a	95 b	101 b	26,3

<sup>1</sup>Aplicação da lâmina de 25 mm de água; <sup>2</sup>Coeficiente de variação; \* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05); <sup>3</sup>ns: não significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>4</sup>Rendimento do tratamento testemunha, sem N: 8,9 Mg ha<sup>-1</sup>.

Similarmente ao que ocorreu no Experimento II, na segunda época de semeadura (30 de outubro), no segundo ano agrícola (Experimento IV), o rendimento de grãos e todos os demais parâmetros avaliados não foram influenciados pelo manejo da irrigação, na média de fontes e doses de N aplicadas (Tabela 8).

TABELA 8. Rendimento de grãos e outras características agronômicas em função do manejo da irrigação em relação à época de aplicação do N, na média de fontes e doses de adubo nitrogenado em cobertura, no Experimento IV. Eldorado do Sul – RS, 2013/14.

	Adubação nitrogenada			CV <sup>2</sup> (%)
	Antes da irrigação <sup>1</sup>	Após a irrigação	No seco, com irrigação 7 dias após adubação	
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	14,33 ns <sup>3</sup>	13,91	14,10	4,3
Nº de espigas m <sup>-2</sup>	8,7 ns	8,4	8,4	4,9
Nº de grãos por espiga	516 ns	479	543	11,0
Peso do grão (mg)	265 ns	272	276	15,8
EAN (kg de grãos produzidos/kg de N aplicado) <sup>4</sup>	18 ns	16	17	28,4
Rendimento de MS no espigamento (Mg ha <sup>-1</sup> )	16,38 ns	14,52	13,74	20,4
N acumulado no espigamento (kg ha <sup>-1</sup> )	- <sup>5</sup>	-	-	-

<sup>1</sup>Aplicação da lâmina de 25 mm de água; <sup>2</sup>Coefficiente de variação; \* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05); <sup>3</sup>ns: não significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>4</sup>Rendimento do tratamento testemunha, sem N: 11,7 Mg ha<sup>-1</sup>; <sup>5</sup>Dados perdidos.

Na época de semeadura antecipada (agosto/setembro), no primeiro ano (Experimento I), obteve-se maior rendimento de grãos no tratamento em que se adubou antes da irrigação em relação ao tratamento com adubação no seco e com irrigação somente aos sete dias após, na média de fontes e doses de adubo nitrogenado (Tabela 5). O tratamento com adubação logo após a irrigação ficou em um grupo intermediário. Já na época de semeadura antecipada, no segundo ano, a aplicação dos adubos nitrogenados antes da

irrigação aumentou o rendimento de grãos em relação aos dois outros tratamentos (Tabela 7).

O maior rendimento de grãos obtido na época de semeadura antecipada, nos dois anos, com a incorporação dos adubos nitrogenados pela irrigação pode ser devido à maior disponibilidade de N para as plantas, já que houve aumento da quantidade acumulada de N na parte aérea por hectare nesse tratamento, nos dois anos agrícolas (Tabelas 5 e 7). Há estreita relação entre conteúdo de N presente na parte aérea e rendimento de grãos, a maior quantidade de N acumulada influencia o enchimento de grãos, tendo, em consequência, papel fundamental no aumento de produtividade (Ulger *et al.*, 1995). Essa maior quantidade de N acumulada na planta pode estar relacionada ao fato de ter havido menores perdas de N por volatilização nesse tratamento em relação ao tratamento em que a adubação nitrogenada foi aplicada logo após a irrigação (Tabelas 1 e 3). Os motivos para redução das perdas de N por volatilização devido à aplicação de lâmina de água logo após a adubação já foram abordados no item 4.2.

Resultados similares de aumento de rendimento de grãos de milho com a incorporação do adubo nitrogenado foram obtidos por Pöttker & Wiethölter (2004). Segundo esses autores, na média de cinco anos de avaliação nas condições do RS, a incorporação do N ao solo aumentou o rendimento do milho em cerca de 5%, em relação à sua aplicação em cobertura sem incorporação.

Além do aumento do rendimento de grãos e da quantidade de N acumulada parte aérea, a incorporação do adubo nitrogenado também resultou

em aumento do rendimento de MS no espigamento. Nos dois anos, o rendimento de MS foi maior no tratamento em que a adubação foi realizada antes da irrigação em relação aos tratamentos em que a adubação nitrogenada foi aplicada logo após a irrigação ou no seco, com irrigação somente aos sete dias após (Tabelas 5 e 7). Esse maior rendimento de MS no espigamento pode ser atribuído às maiores quantidades de N acumulada na parte aérea. O N, além de ter função primordial no metabolismo das plantas, participando como constituinte de proteínas, citocromos, clorofilas, também influencia a taxa de emergência e a expansão da área foliar, ou seja, o rendimento de massa seca (Taiz & Zeiger, 2009).

Já na época de semeadura intermediária (outubro), nos dois anos agrícolas, não se observou diferenças no rendimento e em todas as outras características agronômicas avaliadas em função do manejo da irrigação (Tabelas 6 e 8). Um possível fator que pode ter contribuído para a falta de resposta do rendimento de grãos ao manejo da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados no Experimento II, no primeiro ano, pode ter sido a ocorrência de duas precipitações durante o período de 13 dias de avaliação de perdas de N por volatilização, o que contribuiu para que tenha havido um nivelamento dos tratamentos relacionados ao manejo da irrigação (Figura 5).

Outro fator que pode ter contribuído para a falta de resposta do rendimento de grãos ao manejo da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados nos Experimentos II e IV, pode estar ligado ao aumento da temperatura do ar em relação à primeira época de semeadura,

como já foi citado anteriormente no item 4.2. Essa variação de temperatura que acontece anualmente influencia os processos biológicos e químicos do solo, as taxas de decomposição e de mineralização da matéria orgânica do solo e de liberação de CO<sub>2</sub> e a respiração do solo. Portanto, o aumento das temperaturas do solo aumenta a taxa de remobilização de nutrientes do solo, tornando-os mais disponíveis às plantas (Matheis *et al.*, 2003).

Essa maior taxa de remobilização de nutrientes do solo que ocorre com o aumento da temperatura pode também ter influenciado o rendimento de MS no espigamento nos Experimentos II e IV (Tabelas 6 e 8) e a quantidade de N acumulado por hectare no Experimento II (Tabela 6). Esses parâmetros não foram influenciados pelo manejo da irrigação.

A EAN só foi influenciada pelo manejo da irrigação no Experimento I, sendo maior no tratamento em que se adubou antes da irrigação em relação aos outros dois tratamentos (Tabela 5). Essa maior eficiência pode ser justificada pelas menores perdas de N por volatilização quando se incorporou o adubo nitrogenado com a irrigação (Tabela 1). Isso evidencia que o N aplicado foi aproveitado mais eficientemente pela planta. Com efeito, o N é um dos nutrientes que apresenta os maiores efeitos no aumento de produtividade da cultura do milho Melgar *et al.*, (1991).

#### **4.3.2 Fontes e doses de N aplicado**

Na primeira época de semeadura (20 de agosto), no primeiro ano agrícola (Experimento I), houve efeito significativo de fonte de adubo nitrogenado sobre o rendimento de grãos de milho apenas com a aplicação da

maior dose de N, na média de manejo da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados (Tabela 9). Na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, a aplicação de ureia com inibidor da urease aumentou o rendimento de grãos em 16% em relação à ureia comum.

TABELA 9. Rendimento de grãos e outras características agrônômicas de milho em função de fontes e doses de adubo nitrogenado na média de manejos da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados, no Experimento I. Eldorado do Sul – RS, 2012/13.

	Dose de N - kg ha <sup>-1</sup>				CV <sup>3</sup> (%)
	100		200		
	Fonte de adubo nitrogenado				
	U <sup>1</sup>	UI <sup>2</sup>	U	UI	
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	9,82 b*	10,79 b	10,31 b	12,25 a	11,1
Nº de espigas m <sup>-2</sup>	8,0 b	8,3 ab	8,4 ab	9,3 a	12,5
Nº de grãos por espiga	438 ns <sup>4</sup>	443	427	454	5,8
Peso do grão (mg)	281 b	281 b	301 a	292 ab	4,7
EAN (kg de grãos produzidos/kg de N aplicado) <sup>4</sup>	48 a	58 a	27 b	36 b	21,2
MS no espigamento (Mg ha <sup>-1</sup> )	10,00 ns	10,54	10,03	10,34	16,4
N acumulado no espigamento (kg ha <sup>-1</sup> )	172 b	186 b	181 b	232 a	19,6

<sup>1</sup>Ureia comum; <sup>2</sup>Ureia com inibidor da urease; <sup>3</sup>Coeficiente de variação; \* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); <sup>4</sup>ns: não significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>4</sup>Rendimento do tratamento testemunha, sem N: 9,1 Mg ha<sup>-1</sup>. <sup>4</sup>Rendimento do tratamento testemunha, sem N: 8,9 Mg ha<sup>-1</sup>.

Nas duas doses de N, os componentes do rendimento número de espigas, número de grãos por espiga e peso do grão não variaram em função de fonte de adubo nitrogenado (Tabela 9).

O rendimento de MS da parte aérea no espigamento não foi influenciado pela fonte de N aplicado, independentemente de dose (Tabela 9). No entanto, similarmente ao que ocorreu com o rendimento de grãos, a quantidade de N acumulada na parte aérea variou em função de fonte de N, somente quando se aplicou a maior dose de N. Com aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, a quantidade de N acumulada aumentou 22% quando se aplicou a ureia com inibidor da urease em relação à ureia comum. A fonte de adubo nitrogenado utilizado não afetou a EAN, nas duas doses de N. No entanto, houve efeito de dose de N sobre essa característica, sendo maior com a utilização da menor dose de N.

Na segunda época de semeadura (outubro), no primeiro ano agrícola (Experimento II), houve efeito de fonte de N no rendimento de grãos apenas com a aplicação da menor dose de N (100 kg ha<sup>-1</sup>), na média de manejo da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados (Tabela 10). Nessa dose, a aplicação da ureia com inibidor da urease aumentou o rendimento de grãos em 6,2% em relação à ureia comum.

Os três componentes do rendimento, número de espigas por planta, número de grãos por espiga e peso do grão, não variaram em função de fonte de adubo nitrogenado, nas duas doses de N (Tabela 10). Os dois primeiros também não foram afetados pela dose de N. Já o peso do grão foi menor quando se aplicou a menor dose de N, independentemente de fonte de N.

No Experimento II, a EAN foi influenciada pela fonte de N, de forma similar à verificada para rendimento de grãos, ou seja, houve efeito de fonte de N apenas com a aplicação da menor dose de N ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Tabela 10). Nessa dose, a aplicação da ureia com inibidor da urease aumentou a EAN em 22,6% em relação à ureia comum.

TABELA 10. Rendimento de grãos e outras características agronômicas de milho em função de fontes e doses de adubo nitrogenado na média de manejos da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados, no Experimento II. Eldorado do Sul – RS, 2012/13.

	Dose de N - $\text{kg ha}^{-1}$				CV <sup>3</sup> (%)
	100		200		
	Fonte de adubo nitrogenado				
	U <sup>1</sup>	UI <sup>2</sup>	U	UI	
Rendimento de grãos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	12,06 b*	12,81 a	12,36 ab	12,89 a	4,4
Nº de espigas $\text{m}^{-2}$	7,7 ns <sup>4</sup>	7,8	7,7	7,6	6,6
Nº de grãos por espiga	504 ns	504	510	521	4,3
Peso do grão (mg)	309 c	316 bc	318 ab	324 a	1,9
EAN (kg de grãos produzidos/kg de N aplicado) <sup>4</sup>	31 b	38 a	17 c	19 c	18,2
MS no espigamento ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	14,54 ns	13,30	13,74	14,20	15,1
N acumulado no espigamento ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	221 ab	230 ab	211 b	280 a	24,7

<sup>1</sup>Ureia comum; <sup>2</sup>Ureia com inibidor da urease; <sup>3</sup>Coeficiente de variação; \* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); <sup>4</sup>ns: não significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>4</sup>Rendimento do tratamento testemunha, sem N:  $9,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

O rendimento de MS no espigamento não variou em função de fontes de adubo nitrogenado, nas duas doses de N (Tabela 10). No entanto, a quantidade de N acumulada no espigamento foi influenciada pela fonte do

adubo nitrogenado apenas quando se aplicou a maior dose de N. Com 200 kg ha<sup>-1</sup>, o acúmulo de N na planta de milho foi 32,7% maior quando se utilizou como fonte a ureia com inibidor da urease em relação à ureia comum.

Na primeira época de semeadura, no segundo ano agrícola (Experimento III), o rendimento de grãos foi influenciado pela fonte de adubo nitrogenado nas duas doses de N aplicada (Tabela 11). Os aumentos de rendimento com a aplicação de ureia com inibidor da urease em relação à ureia comum foram de 14,9 e 17,5%, respectivamente com a aplicação das doses de 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>.

Na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, o número de espigas por metro quadrado foi o único componente do rendimento que variou em função de fonte de N, aumentando 12,6% com a utilização da ureia com inibidor da urease em relação à ureia comum (Tabela 11). Já na dose mais alta (200 kg ha<sup>-1</sup>), somente o peso do grão foi influenciado pela fonte de N, sendo 14,4% maior quando se utilizou a ureia com inibidor da urease em relação à ureia comum.

O rendimento de MS e a quantidade de N acumulada no espigamento não variaram significativamente em função de fonte de N utilizada, independentemente de dose de N aplicada (Tabela 11). No entanto, a EAN aumentou em 31,6 e 69,2% quando se utilizou a ureia com inibidor da urease em relação à ureia comum, respectivamente nas doses de 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N.

TABELA 11. Rendimento de grãos e outras características agrônômicas de milho em função de fontes e doses de adubo nitrogenado, na média de manejos da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados, no Experimento III. Eldorado do Sul – RS, 2013/14.

	Dose de N - kg ha <sup>-1</sup>				CV <sup>3</sup> (%)
	100		200		
	Fonte				
	U <sup>1</sup>	UI <sup>2</sup>	U	UI	
Rendimento de grãos (Mg ha <sup>-1</sup> )	9,97 c*	11,46 ab	10,64 bc	12,50 a	11,0
Nº de espigas m <sup>-2</sup>	7,9 b	8,9 a	8,7 ab	9,1 a	8,3
Nº de grãos por espiga	501 ns <sup>4</sup>	519	537	505	7,7
Peso do grão (mg)	272 b	278 ab	263 b	301 a	8,5
EAN (kg de grãos produzidos/kg de N aplicado) <sup>4</sup>	19 b	25 a	13 b	22 a	43,1
MS no espigamento (Mg ha <sup>-1</sup> )	11,10 ns	12,20	12,62	12,00	19,4
N acumulado no espigamento (kg ha <sup>-1</sup> )	92 b	103 ab	101 ab	146 a	41,1

<sup>1</sup>Ureia comum; <sup>2</sup>Ureia com inibidor da urease; <sup>3</sup>Coefficiente de variação; \* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); <sup>4</sup>ns: não significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. <sup>4</sup>Rendimento do tratamento testemunha, sem N: 8,9 Mg ha<sup>-1</sup>.

Na segunda época de semeadura, no segundo ano agrícola (Experimento IV), houve efeito significativo de fonte de N apenas com a aplicação da maior dose (Tabela 12). Com aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> na forma de ureia com inibidor da urease o rendimento de grãos aumentou em 5,7% em relação à ureia comum. Essa diferença no rendimento não se refletiu em nenhum dos três componentes do rendimento.

Assim como foi verificado nos três experimentos anteriores, o rendimento de MS no espigamento não foi influenciado pela fonte e pela dose

de N no Experimento IV (Tabela 12). Nesse experimento, a EAN só foi influenciada pela dose de N. A EAN foi menor com a aplicação da maior dose de N ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ), independentemente de fonte.

TABELA 12. Rendimento de grãos e outras características agrônômicas de milho em função de fontes e doses de adubo nitrogenado, na média de manejos da irrigação em relação à época de aplicação dos adubos nitrogenados, no Experimento IV. Eldorado do Sul – RS, 2013/14.

	Dose de N - $\text{kg ha}^{-1}$				CV <sup>3</sup> (%)
	100		200		
	Fonte				
	U <sup>1</sup>	UI <sup>2</sup>	U	UI	
Rendimento de grãos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	13,83 b*	13,97 b	13,93 b	14,73 a	4,1
Nº de espigas $\text{m}^{-2}$	8,5 ns <sup>4</sup>	8,4	8,5	8,7	5,1
Nº de grãos por espiga	572 ns	602	580	603	8,8
Peso do grão (mg)	282 ns	272	250	280	13,9
EAN (kg de grãos produzidos/kg de N aplicado)	21 a	22 a	11 b	15 b	28,0
MS no espigamento ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	15,04 ns	14,36	14,78	15,32	16,4
N acumulado no espigamento ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	- <sup>5</sup>	-	-	-	-

<sup>1</sup>Ureia comum; <sup>2</sup>Ureia com inibidor da urease; <sup>3</sup>Coeficiente de variação; \* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); <sup>4</sup>ns: não significativo, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>4</sup>Rendimento do tratamento testemunha, sem N:  $11,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ; <sup>5</sup>Dados perdidos.

Com a menor dose de N ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ), a aplicação da ureia com inibidor da urease aumentou em 6,2 e 14,9% o rendimento de grãos de milho em relação à ureia comum (Tabelas 10 e 11). Ao se examinar as perdas de N por volatilização de amônia nos quatro experimentos observa-se que elas foram

influenciadas pelo manejo da irrigação, pela fonte e pela dose de N aplicada. Portanto, para se entender o comportamento do efeito principal de dose e fonte se faz necessário analisar novamente as perdas de N por volatilização, já discutidas no item 4.2.

No Experimento II, não houve diferença estatística nas perdas de N por volatilização quando se utilizou ureia com inibidor de urease em relação à ureia comum na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ , nos três manejos da irrigação testados (Tabela 2), embora numericamente elas tenham sido sempre inferiores. Já no Experimento III, foi significativo o efeito de fontes de N sobre as perdas de N por volatilização, em dois dos três manejos da irrigação testados (Tabela 3). Com  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, a aplicação da ureia com inibidor da urease reduziu em 84,0 e 82,8% as perdas de N por volatilização de amônia, respectivamente nos tratamentos em que se adubou logo após a irrigação e quando se adubou em solo seco, com irrigação sete dias após, em relação à ureia comum. Já quando os adubos nitrogenados foram incorporados por uma lâmina de água, não houve efeito de fontes de N nas perdas de N por volatilização nessa menor dose.

Já com a aplicação da maior dose de N ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ), a aplicação da ureia com inibidor da urease aumentou o rendimento de grãos em 18,8 17,4 e 5,7% em relação à ureia comum, respectivamente nos Experimentos I, III e IV (Tabelas 9, 11 e 12). Esses resultados demonstram que a utilização da ureia com inibidor de urease foi eficiente em reduzir as perdas de N por volatilização, principalmente quando o adubo nitrogenado não foi incorporado ao solo por uma lâmina de água. Redução das perdas de N por volatilização de amônia

com a aplicação da ureia com inibidor da urease também foram encontrados por outros pesquisadores Watson *et al.*, (1994) e Cantarella *et al.*, (1999).

A redução de perdas de N por volatilização aumentou o acúmulo de N no espigamento nos tratamentos que receberam a dose 200 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia com inibidor de urease nos Experimentos I, II e III (Tabelas 9, 10 e 11) e nos tratamentos que receberam 100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia com inibidor de urease no Experimento III (Tabela 11). Esse maior acúmulo de N na planta deve ter contribuído para obtenção de maiores rendimentos de grãos nos tratamentos que receberam ureia com inibidor de urease, como foi visto anteriormente, já que o N tem papel fundamental para obtenção de altos rendimentos de grãos na cultura do milho. O N, além de ter este papel no enchimento de grãos, também estimula o crescimento radicular das plantas de milho. Possivelmente as plantas que acumularam mais N no espigamento desenvolveram raízes maiores e tiveram melhor condição de absorver água e nutrientes (Jenkinson *et al.*, 1985).

O número de espigas por metro quadrado foi o componente do rendimento mais associada ao rendimento de grãos. Nos Experimentos I e II (Tabelas 9 e 11), constatou-se maior número de espigas por m<sup>-2</sup> nos tratamentos em que se aplicou N na forma de ureia com inibidor de urease, nas duas doses (100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) em relação à ureia comum. Como visto anteriormente, a redução de perdas de N nestes tratamentos resultou em maior acúmulo de N nas plantas no espigamento. Com maior disponibilidade de N nas plantas há maior translocação de N e fotoassimilados das folhas para as

espigas, refletindo-se em maior número de espigas por área (Karlen *et al.* 1988).

O peso do grão foi o outro componente do rendimento que foi influenciado pelos tratamentos utilizados nos experimentos analisados. Ele só não variou na menor dose N, 100 kg ha<sup>-1</sup>, no Experimento I e no Experimento IV (Tabelas 9 e 12). O peso do grão apresentou alta relação com a quantidade de N no espigamento (Tabelas 9, 10 e 11). O maior peso do grão foi observado nos tratamentos que tiveram o maior acúmulo de N no espigamento, exceto no Experimento I, na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N (Tabela 9). Isso evidencia que o maior acúmulo de N nas plantas proporciona maior aporte de fotoassimilados para enchimento dos grãos (McCulough *et al.*, 1994).

A EAN somente variou em função de fonte de N utilizada no Experimento II, na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, e no Experimento III, nas doses de 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> (Tabelas 10 e 11). Nestes dois experimentos, a utilização da ureia com inibidor de urease proporcionou maior EAN em relação aos tratamentos que receberam as mesmas doses de N na forma de ureia comum. Estes resultados mostram que, em geral, a utilização da ureia com inibidor de urease foi mais eficiente na produção de grãos em relação à ureia comum na mesma dose de N aplicada. Na cultura do trigo, foram relatados aumentos de 33% na EAN quando se utilizou, na mesma dose de N, a ureia com inibidor da urease em relação à ureia comum (Jaracesk *et al.*, 2013).

Com o incremento da dose de N de 100 para 200 kg ha<sup>-1</sup>) diminuiu a EAN nos Experimentos I, II e IV (Tabelas ). Isso se deve ao fato de que a

eficiência nutricional diminui com os níveis crescentes de um determinado nutriente (Fageria, 1998).

Em nenhum dos quatro experimentos observou-se efeito de fontes de N sobre o rendimento de MS no espigamento (Tabelas 9, 10, 11 e 12). Este resultado é contrastante aos encontrados por Duete *et al.*, (2008). Esses autores constataram um aumento da MS no florescimento com o aumento da dose de N. Esses resultados diferem dos encontrados por (Miyazawa *et al.*, 2011), que observaram aumento do rendimento de MS com a utilização da ureia protegida em relação à ureia comum.

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos em dois anos consecutivos e considerando as condições edafoclimáticas em que foram realizados os experimentos, pode-se concluir que:

1. A realização da adubação antes da irrigação mostrou-se eficiente para reduzir perdas de N por volatilização em relação à adubação logo após a irrigação ou adubação no seco, com irrigação aos sete dias após.
2. A aplicação de adubos nitrogenados com adição de inibidor de urease na maioria dos casos reduziu as perdas de N por volatilização na maioria dos casos, independente de época de semeadura.
3. A aplicação do adubo nitrogenado imediatamente antes da irrigação (25 mm de água) é uma estratégia eficiente para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência agrônômica do uso de N pelo milho em relação à sua aplicação logo após a irrigação ou em solo seco, principalmente na época de semeadura antecipada (agosto/setembro).

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.241-248, 2002.

BALIGAR, V. C.; DUNCAN, R. R.; FAGERIA, N. K. Soil-plant interaction on nutrient efficiency in plants: an overview. In BALIGAR, R. V.; DUNCAN, R. R. (Ed.). **Crops as enhancers of nutrient use**. San Diego: Academic, 1990. p. 351-373.

BARRETO, H. J.; WESTERMAN, R. L. Soil urease activity in winter wheat residue management systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, n.5, p.1455-1458, 1989.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R.; CARDOSO, L. S.; SILVA, M. I. G. **Clima da Estação Experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS. 2003. 77 p.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, R. L. Urease activity in soils. In "**Soil Enzymes**". R. G. Burns, ed., pp. 149-196. Academic Press, London. 1978.

BYRNES, B.H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: **Fertilizer manual**. Alabama: Kluwer Academic, .p.20-44. 2000.

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

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M. J.; RESENDE, L. C. L. Perdas de N por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB. 7. 1999. **Anais...** Londrina. 1999.

CARVALHO, C.G.P; BORSATO R; CRUZ, C.D; VIANA J.M.S. Path analysis under multicollinearity in S0 x S0 maize hybrids. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, n.3, p.263-270, 2001.

CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, A. C. B. Eficiência de épocas de aplicação de fontes convencionais e alternativas de fertilizantes nitrogenados na cultura do algodoeiro - Safra 2007/2008. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados: Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. p. 1860-1868. CASAGRANDE, J.

CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. **Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1997. Cap.7, p.111-120.

CLAY, D. E.; MALZER, G. L.; ANDERSON, J. L. Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and hydrolysis inhibitors. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.54, n.1, p.263-266, 1990.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO . [Informações] Disponível em:

<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_01\\_19\\_11\\_00\\_30\\_brasilprodutoseriehist.xls](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_19_11_00_30_brasilprodutoseriehist.xls)>. Acesso em: 02 fev. 2015.

COSTA, A. C. S.; FERREIRA, J. C.; SEIDEL, E. P.; TORMENA, C. A.; PINTRO, J. C. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em três solos Argilosos tratados com uréia. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 467-473, 2004.

DA ROS, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.35, n.4, p.799-805, 2005.

DAWAR, K.; ZAMAN, M.; ROWARTH, J.; BLENNERHASSETT, J.; TURNBULL, M. Urea hydrolysis and lateral and vertical movement in the soil: effects of urease inhibitor and irrigation. **Biology and Fertility of Soils**. New York, v.47, n.2, p.139-146, 2011.

DIEST, V. A. Volatilización del amoníaco en los suelos anegados, y sus repercusiones en el rendimiento de arroz. **Noticiarios de la Comisión Internacional del arroz**, FAO, v. 37, p. 1-6, 1988.

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. **Ciência Rural**, v.37, n.3, p.705-711, 2007.

DUETE, R.R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C.; TREVELIN, P.C.O.; AMBROSANO, E.J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (15N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.161-171, 2008.

ENDRIGO, P.C. et al. Resposta de híbridos de milho irrigado à redução do espaçamento entre linhas na época de semeadura precoce, sob duas densidades de plantas. In: Reunião Técnica Anual do Milho, 54 E Reunião Técnica Anual do SORGO, 37, 2009, Veranópolis. **Atas e Resumos**. Veranópolis: EMATER, 2009. 1 CD-ROM.

ERNST, J. W.; MASSEY, H. F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.24, n.2, p.87-90, 1960.

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

FRANKENBERGER W.T.; TABATABAI, M. A. Amidase and urease activities in plants. **Plant Soil**, v.64, p.153-166, 1982.

HARTWING, L .H.; BØCKMAN, O .C. Ammonia exchange between crops and air. **Journal of Agricultural Sciences**, Norwegian, v.14, n.1, p.5-41, 1994.

JARACESKI, R. Doses com Inibidor de Urease (NBPT) aplicado em cobertura na cultura do trigo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 34., 2013., **Anais...** Florianópolis. 2013.

JENKINSON, D. S.; FOX, R. A.; RAYNER, J. H. et al. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen – the so-called priming effect. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.36, n.3, p.425-444, 1985.

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

KELLER, G. D.; MENGEL, D. B. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers surface applied to no-till corn. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, n.4, p.1060-1063, 1986.

KISS, S.; SIMIHAIAN, M. Improving efficiency of urea fertilizers by inhibition of soil urease activity. Norwell: **Kluwer Academic**, 341p, 2002.

KISSEL, D. E.; CABRERA, M. L.; VAIO, N.; CRAIG, J. R.; REMA, J. A.; MORRIS, L. A. Rainfall timing and ammonia loss from urea in a loblolly pine plantation. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, n.5, p.1744-1750, 2004.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.3, p.489-496, 1997.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura de milho, em sistema de plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.363-376, 2000.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semiaberto estático na quantificação de N-NH<sub>3</sub> volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.14, n.3, p.345-352, 1990.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.21, n.3, p.481-487, 1997b.

LONGO, R.M.; MELO, W.J.; PAVAN, S.A.; CHELLI, R.A. & LEITE, S.A.S. Efeito da secagem, tempo e condições de armazenamento, concentração de uréia, temperatura, pH e tempo de incubação na atividade da urease em dois solos do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Porto Alegre, 1991. Porto Alegre, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1991. p.206.

MATHEIS, H. A. S. M. **Efeitos de diferentes coberturas mortas obtidas a partir do manejo mecânico com roçadeira lateral na dinâmica populacional de plantas daninhas em citros**. 2004. 68p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

McCULLOUGH, D. E.; GIRARDIN, P. H.; MIHAJLOVIC, M.; AGUILERA, A.; TOLLENAAR, M. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and a new maize hybrid. **Canadian Journal Plant Science**, Ottawa, v74, p.471-477, 1994.

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

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

MELGAR, R. J.; ELGAR, R.J.; SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S. & SÁNCHEZ, P.A. Rates and dates of nitrogen fertilizer application for maize on a latossol in the central Amazonia region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 289-296, 1991.

MELO, W.J. **Matéria orgânica, nitrogênio e enxofre: curso de atualização em fertilidade do solo**. Jaboticabal: ANDA, 66p, 1978.

MENEGATI, G. B. Adequação da densidade de plantas de híbridos de milho à disponibilidade hídrica e à época de semeadura. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo. 29. 2012., **Anais...** Águas de Lindóia. 2012.

MIYAZAWA, M.; TISKI, I. Teores de  $N-NH_4^+$  no solo em função de fontes nitrogenadas: Uréia e Uréia revestida por policote. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32, 2011., **Anais...** Uberlândia 2011.

NÖMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. **Plant and Soil**. The Hague, v.39, n.2, p.309 - 318, 1973.

PAULSON, K. N.; KURTZ, L. T. Locus of urease activity in soil. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.33, n.6, p.897-901, 1969.

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**, v.33, n.6, p.1685-1694, 2009.

PÖTTKER, D.; WIETHÖLTER, S. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1015-1020, 2004.

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

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. How a corn plant develops. **Ames, Iowa State University of Science and Technology**, 1993. 26p. (Special Report, 48).

RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; PARR, J.F.; PAPENDICK, R.I. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. **Fertilizer Research, The Hague**, v.33, n.3, p.209- 217, 1992.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; CHANTIGNY, M.H.; MACDONALD, J.D.; BISSONNETTE, N. & BERTRAND, N. Ammonia volatilization following surface application of urea to tilled and no-till soils: A laboratory comparison. **Soil and Tillage Research**, v.103, p.310-315, 2009.

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**. Campinas, v.10, n.1, p.37-43, 1986.

ROZAS, H. N. S.; ECHEVERRIA, H. N. E.; STUDDERT, G. A.; ANDRADE, F. H. No-till maize nitrogen uptake and yield: Effect of urease inhibitor and application time. **Agronomy Journal**, v.91, n.6, p.950-955, 1999.

SANGOI, L.; ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; MINETTO, T.J.; BISOTTO, V. Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico-econômica. **Ciência Rural**, v.33, n.6, p.1021-1029, 2003.

SANGOI, L.; HERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 687-692, 2003.

SANGOI, L.; Schmitt, A.; Vieira, J.; Picoli Jr. G. J.; Souza, C. A.; Casa, R. T.; Schenatto, D. E.; Giordani, W.; Boniatti, C. M.; Machado, G. C.; Horn, D. Variabilidade na distribuição de plantas na linha e rendimento de grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, p.268-277, 2012.

SCIVITTARO, W. B.; GONÇALVES, D. R. N.; VALE, M. L. C.; RICORDI, V. G. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e resposta do arroz irrigado à aplicação de ureia tratada com o inibidor de urease NBPT. **Ciência Rural**, v.40, n.6, p.1283-1289, 2010.

SUBBARAO, G.V. et al. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems - challenges and opportunities. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.25, p.303-335, 2006.

STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.C.D. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER RS, 2008. 222p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

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

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS. 1995. 174 p.

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**, Berlin, v.159, n.1, p.157- 163, 1995.

WATSON, C.J.; MILLER, H.; POLAND, P.; KILPATRICK, D.J. ; ALLEN, M.B.D.; GARRET, M.K.; CHRISTIANSON, C.B. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide (nBTPT) to reduce

ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 26, p. 1165-1171, 1994.

.

## 7 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Resumo da análise de variância dos quarto experimentos das perdas de N por volatilização. Eldorado do Sul-RS, 2012/13 e 2013/14.

Experimento	Causas de variação			
	Sistema de Irrigação	Fonte x Dose	Interação	CV (%)
	Grau de liberdades			
	2	3	6	
Quadrados médios				
I	20.718.883	144.752.350	5.694.132	46,9
II	248.494.843	227.785.491	111.598.458	47,4
III	858.158.177	539.116.688	160.807.118	28,47
IV	207.188.883	144.752.350	45.686.373	46,9

<sup>1</sup>CV: Coeficiente de Variação. Ns: não significativo. \*\* Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade. \*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 2. Resumo da análise de variância do Experimento I das características avaliadas na cultura do milho irrigado. Eldorado do Sul-RS, 2012/13.

Parâmetros	Causas de variação				
	Blocos	Sistema de Irrigação	Fonte x Dose	Interação	CV (%)
	Grau de liberdades				
	3	2	3	6	
	Quadrados médios				
Rendimento de grãos	3.88859*	10.39353**	13.21144*	2.30644 ns	15.32
Nº de espigas m <sup>-2</sup>	0.38122 ns	5.25170*	3.83436*	1.13162 ns	12.52
Nº de grãos por espiga	1000.01639 ns	587.86424 ns	1511.14122 ns	412.83340 ns	12.08
Peso do grão	423.71759 ns	107.66714 ns	1100.59709**	260.72616 ns	7.92
MS florescimento	276.90972*	46314.06250*	1557.46528 ns	5739.75694 ns	18.25
N acumulado em R <sub>4</sub>	1112.1123 ns	17605.07141*	8720.89396**	356.26784 ns	26,3

<sup>1</sup>CV: Coeficiente de Variação. Ns: não significativo. \*\* Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

\*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 3. Resumo da análise de variância do Experimento II das características avaliadas na cultura do milho irrigado. Eldorado do Sul-RS, 2012/13.

Parâmetros	Causas de variação				
	Blocos	Sistema de Irrigação	Fonte x Dose	Interação	CV (%)
	Grau de liberdades				
	3	2	3	6	
	Quadrados médios				
Rendimento de grãos	0.49091 ns	0.46276 ns	1.86478**	0.29109 ns	4.39
Nº de espigas m <sup>-2</sup>	0.12007 ns	0.38600 ns	0.04923 ns	0.21215 ns	6.66
Nº de grãos por espiga	615.63059 ns	893.74531 ns	780.15342 ns	488.65131 ns	4.33
Peso do grão	51.27894 ns	78.89109 ns	480.58755**	91.82089 ns	1.98
MS florescimento	12714.58333 ns	32641.14583 ns	8503.47222 ns	16892.53472 ns	15.10
N acumulado em R <sub>4</sub>	10768.90199 ns	108.75557*	10886.54969*	3061.63736 ns	30,6

<sup>1</sup>CV: Coeficiente de Variação. Ns: não significativo. \*\* Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.

\*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 4. Resumo da análise de variância do Experimento III das características avaliadas na cultura do milho irrigado. Eldorado do Sul-RS, 2013/14.

Parâmetros	Causas de variação				CV (%)
	Blocos	Sistema de Irrigação	Fonte x Dose	Interação	
	Grau de liberdades				
	3	2	3	6	
	Quadrados médios				
Rendimento de grãos	1.05447 ns	5.79691*	14.28792**	1.13215 ns	11.04
Nº de espigas m <sup>-2</sup>	0.21704 ns	1.59913*	3.40621**	0.56394ns	8.34
Nº de grãos por espiga	4406.62498 ns	598.97778 ns	3134.444864 ns	2208.71374 ns	7.79
Peso do grão	2103.59295 ns	929.390415 ns	3242.09831**	288.10247 ns	8.55
MS florescimento	4323.10056 ns	81628.13583 ns	12275.22500 ns	6458.87667 ns	19.49
N acumulado em R <sub>4</sub>	10252.90911**	7228.322529*	7072.9835*	855.30686 ns	41.11

<sup>1</sup>CV: Coeficiente de Variação. Ns: não significativo. \*\* Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.  
\*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE 5. Resumo da análise de variância do Experimento IV das características avaliadas na cultura do milho irrigado. Eldorado do Sul-RS, 2013/14.

Parâmetros	Causas de variação				
	Blocos	Sistema de Irrigação	Fonte x Dose	Interação	CV (%)
	Grau de liberdades				
	3	2	3	6	
	Quadrados médios				
Rendimento de grãos	1.82013*	0.68435 ns	2.06778**	0.65909 ns	4.16
Nº de espigas m <sup>-2</sup>	1.04860*	033.379 ns	0.27511 ns	0.20713 ns	5.11
Nº de grãos por espiga	2900.22218 ns	208603.52807 ns	4600.99714ns	5419.86019 ns	9,21
Peso do grão	1389.40514 ns	449.68786 ns	2629.58931ns	1929.99759 ns	13.93
MS florescimento	28313.60051 ns	73356.48507 ns	5019.52015 ns	11629.65453 ns	16.41
N acumulado em R <sub>4</sub>	-***	-	-	-	-

<sup>1</sup>CV: Coeficiente de Variação. Ns: não significativo. \*\* Significativo pelo F-teste ao nível de 1% de probabilidade.  
\*Significativo pelo F-teste ao nível de 5% de probabilidade \*\*\* Dados perdidos