

# Fluxos de óxido nitroso e de metano do solo afetados por fontes de nitrogênio

JOSILÉIA ACORDI ZANATTA<sup>(1)</sup>, CIMÉLIO BAYER<sup>(2)</sup>, NILO JOÃO KUNH<sup>(3)</sup> & TIAGO PEDROSO<sup>(3)</sup>

**RESUMO** – A adubação nitrogenada pode influenciar as emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e metano (CH<sub>4</sub>) do solo, importantes gases de efeito estufa, porém poucas informações são disponíveis no Brasil. Sete fontes de N foram aplicadas à cultura do milho e as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O do solo foram avaliadas durante 15 dias. Amostras de ar foram coletadas com câmaras estáticas e a concentração de N<sub>2</sub>O e de CH<sub>4</sub> determinada por cromatografia gasosa. As maiores taxas de emissão de N<sub>2</sub>O ocorreram no 3º dia após a aplicação, sendo mais intensas nas fontes com N nítrico em relação às fontes com N amoniacal ou amídico. A menor emissão de N<sub>2</sub>O ocorreu no solo adubado com N de liberação lenta. A aplicação de N reduziu a absorção de CH<sub>4</sub> pelo solo, o qual foi mais intenso nas fontes com N amoniacal e amídico. Uma semana após a adubação nitrogenada, as taxas de absorção de CH<sub>4</sub> foram similares à testemunha. O potencial de aquecimento global das fontes de N indicou que 90% deste índice foi definido pela emissão de N<sub>2</sub>O. Nas condições deste estudo é necessário acúmulo de carbono no solo equivalente a 0,5 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para contrabalancear as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O do solo oriundas de fontes nítricas, enquanto 1/5 deste valor é suficiente para as fontes amoniacais e amídicas.

**Palavras-Chave:** (aquecimento global, gases de efeito estufa, milho)

## Introdução

Os solos agrícolas, raramente são auto-suficientes no suprimento de N às plantas cultivadas, principalmente quando se deseja atingir altos níveis de produtividade, sendo necessário o uso de fertilizantes. Na última década, o consumo de fertilizantes nitrogenados no Brasil ultrapassou dois milhões de toneladas e tem aumentado, em média, 5% ao ano [1]. Apesar da crescente demanda no uso deste insumo agrícola, poucos estudos investigaram os efeitos de fontes de N sobre as emissões de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e de metano (CH<sub>4</sub>) do solo no Brasil, os quais são importante gases de efeito estufa (GEE) [2,3,4].

A aplicação de nitrogênio no solo aumenta a concentração de N mineral no solo, o qual é substrato para os processos de nitrificação e desnitrificação, responsáveis pela produção de N<sub>2</sub>O no solo [3], com

reflexos também na emissão de CH<sub>4</sub>. A emissão de CH<sub>4</sub> do solo é o resultado líquido do processo de produção, a metanogênese, e de absorção de CH<sub>4</sub>, a metanotrofia. A desnitrificação e a metanogênese são processos de decomposição da matéria orgânica do solo, predominantes em ambientes com baixo suprimento de oxigênio, e originam N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, respectivamente, a partir da redução do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e de compostos de carbono. A nitrificação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, além de produzir N<sub>2</sub>O como produto intermediário na transformação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em NO<sub>2</sub><sup>-</sup> compete enzimaticamente com o processo de metanotrofia, reduzindo drasticamente as taxas de absorção de CH<sub>4</sub> dos solos [2].

Desta forma, a aplicação de fertilizante nitrogenado pode contribuir para a emissão de N<sub>2</sub>O e de CH<sub>4</sub> em diferentes magnitudes, dependendo da forma química predominante do adubo, R-NH<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ou NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Outro aspecto que parece ser relevante na magnitude das emissões de N<sub>2</sub>O e de CH<sub>4</sub> do solo pela adubação nitrogenada é a adição de inibidores da atividade microbiana e fertilizantes de liberação lenta. Utilizadas para evitar perdas de N por volatilização de NH<sub>3</sub>, os fertilizantes de liberação lenta e os inibidores da urease, por retardarem temporariamente a transformação do N fertilizante à NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, podem reduzir o potencial de emissão de CH<sub>4</sub> e de N<sub>2</sub>O.

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos do uso de fontes nítricas, amoniacais, amídicas e com inibidores da enzima urease e de liberação lenta sobre as emissões de N<sub>2</sub>O e de CH<sub>4</sub> do solo e identificar as variáveis que controlam a emissão desses gases em solos adubados.

## Material e Métodos

### A. Local e tratamentos

O estudo foi conduzido na Faculdade de Agronomia da UFRGS. O clima local é subtropical úmido, com verões quentes e invernos frios e chuvosos (tipo *Cfa*, segundo Köppen). A temperatura média anual é de 19,4 °C, e a precipitação anual de aproximadamente 1299 mm. O solo é um Gleissolo com 25 g kg<sup>-1</sup> de C na camada 0-5 cm e pH 5,0.

O milho foi semeado manualmente em linhas espaçadas de 70 cm e 25 cm entre plantas na linha. Antes da implantação da cultura do milho, a área experimental foi dessecada com herbicida a base de glifosato (3,5 L ha<sup>-1</sup>). A adubação nitrogenada em cobertura do milho foi realizada

<sup>(1)</sup> Pesquisadora da Embrapa Agropecuária Oeste, BR 163, km 253,6 Dourados, MS CEP 79804-970. E-mail: josileia@cpao.embrapa.br

<sup>(2)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Ciências do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, CEP 90540-000. E-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br.

<sup>(3)</sup> Estudantes de graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Bolsista de Iniciação Científica do CNPq. Apoio financeiro: CNPq.

no estágio fenológico V5, com dose equivalente a 150 kg N ha<sup>-1</sup>, sob as formas de: 1) nitrato de amônio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>); 2) nitrato de cálcio (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>); 3) sulfato de amônio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); 4) uréia (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>); 5) uréia com inibidor de urease (produto comercial Super N); 6) N de liberação lenta (produto comercial Sulfammo) e 7) uran. Cada fonte foi utilizada para adubar uma área de 16 m<sup>2</sup>, considerando também uma área de igual dimensão para a testemunha.

#### B. Amostragem e análise dos fluxos de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> do solo

A amostragem do ar e análise de N<sub>2</sub>O e de CH<sub>4</sub> foi realizada aos 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 12 e 15 dias após a aplicação de N no milho com a metodologia da câmara estática [5]. Foram utilizadas três câmaras por tratamento, instaladas nas entrelinhas do milho. Amostras do ar do interior da câmara foram coletadas aos 0, 15, 30 e 45 minutos após o fechamento das câmaras, com seringas de polipropileno de 20 mL, iniciando-se o procedimento sempre às 9:00 h. Imediatamente antes de cada tempo de coleta, o ar no interior da câmara foi homogeneizado pelo acionamento de um ventilador interno de 12 V durante 30 segundos. A temperatura interna da câmara foi monitorada em todos os tempos de coleta.

As análises de N<sub>2</sub>O e de CH<sub>4</sub> nas amostras foram procedidas no mesmo dia da coleta em cromatógrafo Shimadzu GC 2014 modelo "Greenhouse", equipado com detector de captura de elétrons (ECD) e de ionização de chama (FID). Os fluxos de N<sub>2</sub>O e de CH<sub>4</sub> foram calculados pelo aumento gradativo da concentração do gás no interior da câmara, considerando as correções de temperatura e pressão. As emissões médias diárias foram obtidas pelo valor médio das três câmaras instaladas em cada tratamento a campo. A emissão total do período foi obtida pela integração da área sob a curva, a qual foi estabelecida pela interpolação dos valores diários de emissão de N<sub>2</sub>O e de CH<sub>4</sub> do solo.

O equivalente em C emitido por cada fonte nitrogenada foi calculado com base na emissão acumulada de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, considerando o potencial de aquecimento global de cada gás, em relação ao CO<sub>2</sub>.

## Resultados

### A. Fluxos de N<sub>2</sub>O

A aplicação de N aumentou as emissões de N<sub>2</sub>O do solo, em no mínimo, 20 vezes em relação ao tratamento testemunha, o qual foi sempre inferior a 26,1±2,2 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 1). Para todas as fontes ocorreu um pico de emissão de N<sub>2</sub>O aos três dias após a fertilização nitrogenada. Apesar de intenso, este pico de emissão de N<sub>2</sub>O foi de curta duração, observando-se emissões de N<sub>2</sub>O significativamente menores em todos os tratamentos um dia após o pico máximo (média: 71,1±12,2 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), embora se mantendo acima dos valores médios observados para a testemunha (15,0±0,8 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). No restante do período avaliado, foi observado o aumento das emissões de

N<sub>2</sub>O aos nove dias somente para o solo fertilizado com uréia (67,48±17,8 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>; Figura 1).

A aplicação de nitrato de amônio e nitrato de cálcio resultou nos maiores picos de emissão de N<sub>2</sub>O (8587,4±1062,7 e 3485,8±942,6 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente; Figura 1). Sulfato de amônio e uréia produziram picos de emissão de N<sub>2</sub>O de 1435,3±172,3 e de 859,1±197,6 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 1). As menores emissões de N<sub>2</sub>O foram observadas nos fertilizantes de liberação lenta (187,8±61,6 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) e na uréia com inibidor de urease (346,4±32,9 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>). O fertilizante uran, que é composto por uma mistura física de nitrato de amônio e uréia, apresentou emissões de N<sub>2</sub>O intermediárias entre as fontes originais (2050,7±427,7 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>).

A aplicação de fontes com N nítrico resultou na emissão acumulada de N<sub>2</sub>O através do solo de 3,7 kg N ha<sup>-1</sup> para nitrato de amônio e 1,5 kg N ha<sup>-1</sup> para nitrato de cálcio (Tabela 1). Estas perdas correspondem a 2,5 e 1,1% do N aplicado no solo, respectivamente. Por outro lado, a aplicação de sulfato de amônio e uréia resultou na emissão de 0,45 e 0,32% do N aplicado, respectivamente. As emissões de N<sub>2</sub>O pelo uso de fontes com inibidores da atividade microbiana foram da ordem de 0,22 (0,38±0,1 kg N ha<sup>-1</sup>) e 0,13% (0,25±0,1 kg N ha<sup>-1</sup>) do N aplicado, na forma de uréia + inibidor de urease e N de liberação lenta, respectivamente.

### B. Fluxos de CH<sub>4</sub>

Os fluxos de CH<sub>4</sub> do solo influenciados pelas fontes de N, aplicadas ao milho em cobertura, variaram entre -30,1 (absorção) e +32,5 (emissão) µg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> (Figura 2). O fluxo de CH<sub>4</sub> do solo foi significativamente influenciado pelas fontes de N, principalmente, na primeira semana após a aplicação de N (Figura 2), quando foi observada a redução das taxas de absorção líquida de CH<sub>4</sub> do solo e em alguns casos até mesmo a emissão líquida de CH<sub>4</sub> à atmosfera.

Três dias após a aplicação de N, verificou-se a redução da absorção líquida de CH<sub>4</sub> do solo inclusive no tratamento sem N. Todavia, uma semana após a aplicação de N, as diferenças na taxa de absorção/emissão de CH<sub>4</sub> do solo, entre as fontes, foram minimizadas, predominando a absorção de CH<sub>4</sub> em taxas que variaram de -4,4 a -10,1 µg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>.

Neste estudo, a aplicação de N, na média das fontes nitrogenadas, reduziu em 60% a absorção acumulada de CH<sub>4</sub> do solo em relação ao tratamento sem N, o qual apresentou, para o período, absorção -43,2 g C ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). Porém, as maiores reduções foram observadas nas fontes sulfato de amônio (100%), uran e N de liberação lenta (75%) (Figura 3).

## Discussão

Picos intensos, seguidos de rápido declínio nas emissões de N<sub>2</sub>O do solo é uma característica peculiar observada por vários estudos a campo [3,4]. Isto, provavelmente, está relacionado ao fato de que as aplicações de fertilizantes nitrogenados ocorrem em momentos em que a demanda por N pela planta adubada é

alta, o que rapidamente reduz o substrato mineral que alimenta os processos de perda de N.

As emissões observadas neste estudo foram ligeiramente maiores do que àquelas verificadas na literatura [2,3,4,6], provavelmente devido à coincidência do aumento do conteúdo de N mineral e umidade no solo. A precipitação, que ocorreu no segundo dia após a adubação nitrogenada, promoveu aumento da porosidade do solo preenchida com água (PPA) para 65% (dados não apresentados), e provavelmente, contribuiu para um ambiente favorável a desnitrificação. A evidência de que a emissão de N<sub>2</sub>O tem origem no processo de desnitrificação é obtida pela relação positiva entre umidade do solo e disponibilidade de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo e o fluxo diário de N<sub>2</sub>O (N<sub>2</sub>O = -2026,9 + 19,5NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + 34,4PPA, R<sup>2</sup> = 0,25, n = 80, P<0,01). Em decorrência das condições favoráveis a desnitrificação verificadas no período, as fontes com N nítrico (nitrato de amônio e nitrato de cálcio) resultaram nas maiores emissões de N<sub>2</sub>O, em comparação as demais.

Por outro lado, as fontes amoniacais e amídicas, que dependem da nitrificação para a produção de N<sub>2</sub>O, possivelmente foram desfavorecidas pela PPA maior que 65%, a qual preponderou após a adubação nitrogenada. Apesar das fontes amoniacais reduzirem as emissões de N<sub>2</sub>O do solo, estas também reduziram consideravelmente as taxas de absorção de CH<sub>4</sub> pelo solo. As reduções na absorção de CH<sub>4</sub> do solo foram relacionadas ao teor de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do solo (Figura 3). A presença de N amoniacal no solo tem sido responsável pela redução da absorção de CH<sub>4</sub> devido a competição enzimática criada entre a nitrificação do amônio e a metanotrofia [2].

O efeito da redução na absorção de CH<sub>4</sub> pelos solos devido ao aumento dos teores de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, geralmente é de curta duração, e completamente reversível [2]. Neste trabalho, apesar da recuperação das taxas de absorção de CH<sub>4</sub> do solo a partir de uma semana após a adubação nitrogenada, essas são consideradas reduzidas se comparadas às taxas obtidas em solos de florestas. Cardoso et al. [7] investigaram o potencial de absorção de CH<sub>4</sub> do solo em sistemas naturais no Brasil e verificaram taxas ao redor de 50 µg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>. Estes resultados presumem que sob condições de elevada umidade do solo e freqüentes fertilizações, o efeito inibitório do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sobre a absorção do CH<sub>4</sub> pode tornar-se irreversível por ocasionar alterações na população metanotrófica [2].

Mas, apesar da adubação nitrogenada aumentar a emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O do solo, esta prática é muito eficiente em aumentar a adição de resíduos vegetais, o que contribui para o acúmulo de carbono no solo [8], contrabalanceando as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O do solo (Tabela 1). Observa-se que apesar da redução da absorção do CH<sub>4</sub> do solo, o potencial de aquecimento global (PAG) das fontes de N é comandado pela emissão de N<sub>2</sub>O, representando mais de 90% do PAG. Para contrabalancear as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O do

solo é necessário atingir taxas mínimas de seqüestro de C na ordem de 0,5 Mg ha<sup>-1</sup>. Levando-se em consideração o PAG da uréia (Tabela 1), as fontes com inibidores da atividade da enzima urease e aquelas com liberação mais lenta no solo podem representar alternativas menos impactantes do ponto de vista ambiental.

## Conclusões

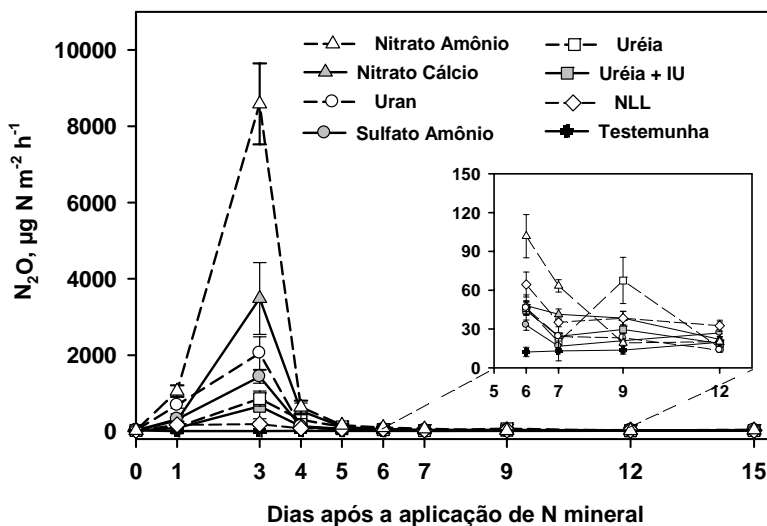
Nas condições deste estudo, os fertilizantes aumentaram a emissão de N<sub>2</sub>O e reduziram a absorção de CH<sub>4</sub> do solo. As maiores emissões de N<sub>2</sub>O ocorreram nas fontes com N nítrico, e estiveram relacionadas aos teores de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e PPA. A emissão de CH<sub>4</sub> do solo foi dependente da concentração de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo, e atingiu valor máximo após a aplicação de sulfato de amônio. O PAG das fontes de N indicou que o N<sub>2</sub>O é relativamente mais importante do que o CH<sub>4</sub> na composição deste índice. Desta forma, as fontes nítricas causam maior impacto no aquecimento global do que fertilizantes amoniacais e amídicos, os quais representaram boas alternativas para reduzir o PAG das fontes de N.

## Referências

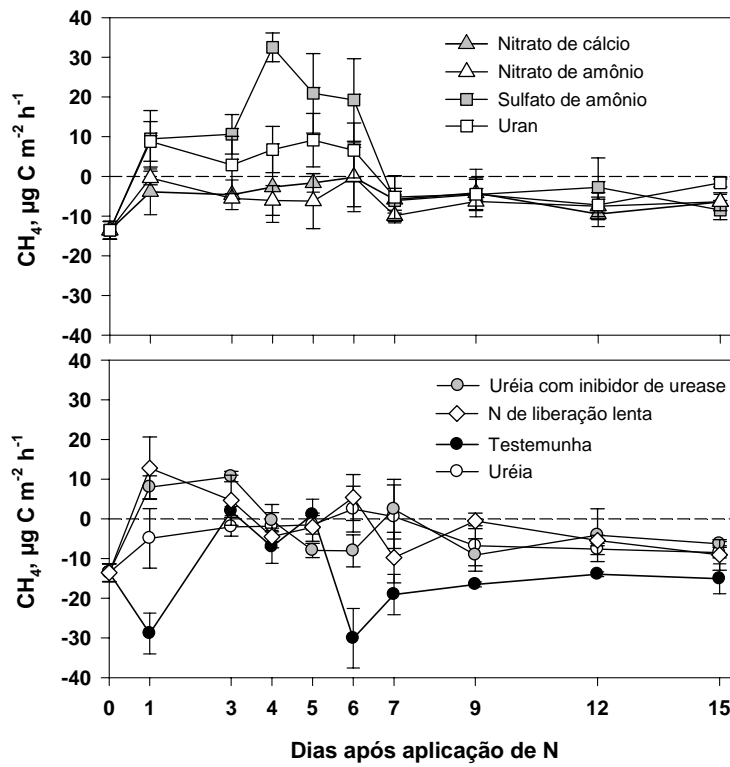
- [1] LOPES, A.S.; BASTOS, A.R.R. 2007. Fertilizantes nitrogenados no Brasil: um problema de escassez. *Informações Agronômicas*, 120: 4-5. Disponível em: <[http://www.inpofos.org/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/\\$FILE/Jornal120.pdf](http://www.inpofos.org/ppiweb/brazil.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/d20fb44d85259bf7032572530062870e/$FILE/Jornal120.pdf)>. Acesso em: 5 junho 2008.
- [2] HUSTCH, B.W. 2001. Methane emissions in non-flooded soils as affected by crop production. *European Journal of Agronomy*, 14: 237-260.
- [3] CLAYTON, H.; MCTAGGART, I.P.; PARKER, J.; SWAN, L. & SMITH, K.A. 1997. Nitrous oxide emissions from fertilised grassland: a 2-year study of the effects of N fertiliser form and environmental conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 25: 252-260.
- [4] CARVALHO, A.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; KOZOVITS, A.R.; MIRANDA, L.N.; VIVALDI, L.J. & SOUSA, D.M. 2006. Emissões de óxidos de nitrogênio associada à aplicação de uréia sob plantio direto e convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41: 679-685.
- [5] PARKIN, T.; MOSIER, A.; SMITH, J.; VENTEREA, R.; JOHNSON, J.; REICOSKY, D.; DOYLE, G.; MCCARTY, G. & BAKER, J. 2003. *Chamber-based trace gas flux measuring protocol*. [S.l.]: USDA-ARS, Trace Gas Protocol Development Committee. 28p. Disponível em: <<http://www.gracenet.usda.gov/GRACEnetTraceGasProtocol.pdf>>. Acesso em: 4 maio 2009.
- [6] GOMES, J. 2006. *Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo*. 2006. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [7] CARDOSO, A.N.; SAMINEZ, T.C. & VARGAS, M.A. 2001. *Fluxo de gases-traço de efeito estufa na interface solo/atmosfera em solos de cerrado*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 23p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 17).
- [8] LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. & VEZZANI, F.M. 2004. Adições de C e N e a sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistema de manejo no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 175-187.

**Tabela 1.** Emissões acumuladas de N<sub>2</sub>O e de CH<sub>4</sub> do solo durante 15 dias após a aplicação de fontes de nitrogênio a cultura do milho e o potencial de aquecimento global (PAG) das fontes calculado em relação ao tratamento sem N (I) e ao tratamento uréia (II)

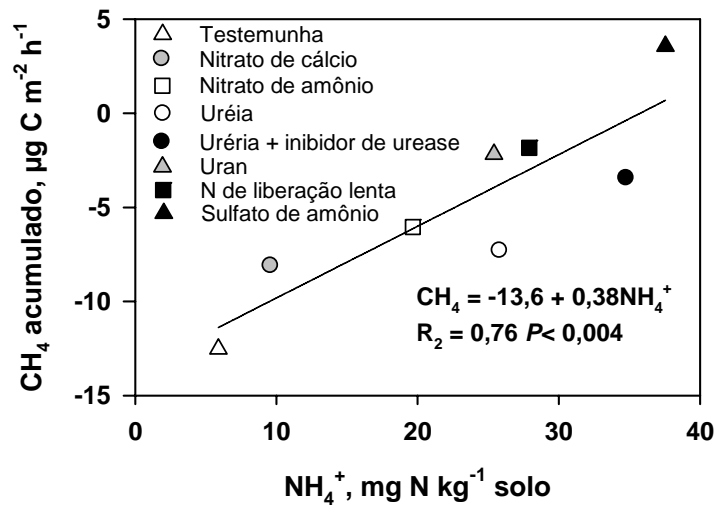
Fontes de nitrogênio	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	PAG I	PAG II
	---- kg N ha <sup>-1</sup> ----	----- g C ha <sup>-1</sup> -----	---- kg C equivalente ha <sup>-1</sup> ----	
Sem N	0,0±0,0	-45,1±0,9	-	-60,7-
Uréia	0,5±0,1	-26,3±9,1	60,7	-
Uréia + Inibidor Urease	0,3±0,1	-12,4±1,2	41,6	-19,0
N liberação lenta	0,2±0,0	-6,6±6,2	25,4	-35,4
Sulfato amônio	0,7±0,1	12,8±1,1	85,7	25,1
Uran	1,0±0,1	-7,8±9,4	131,3	70,7
Nitrato cálcio	1,5±0,4	-29,2±3,2	195,2	134,6
Nitrato amônio	3,7±0,4	-21,8±3,6	469,5	408,9



**Figura 1.** Fluxos diários de N<sub>2</sub>O (µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) do solo após a aplicação de fontes de N ao milho. Barras verticais indicam erro padrão da média (*n*=3). IU = inibidor de urease; NLL = nitrogênio de liberação lenta.



**Figura 2.** Fluxo diário de CH<sub>4</sub> (µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) após a aplicação de fontes de nitrogênio no milho. Barras verticais indicam erro padrão da média (*n*=3).



**Figura 3.** Relação do fluxo acumulado de CH<sub>4</sub> e os teores de amônio do solo afetados por fontes de nitrogênio.