

Emissão de N₂O de pomar citrícola em função da fonte e da dose de N, distribuídos via fertirrigação

Acácio Agostinho Martins^(1,2); Heitor Cantarella^(1,3); Vitor Paulo Vargas^(1,4); José Antonio Quaggio^(1,3); Johnny Rodrigues Soares^(1,4); Rafael de Melo Sousa^(1,2)

⁽¹⁾ Instituto Agronômico, IAC, Centro de Solos e Recursos Ambientais. Av. Barão de Itapira, 1481, 13020-902, CP 28, Campinas – SP; ⁽²⁾ Estudantes de mestrado, Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, IAC ⁽³⁾ Pesquisador, IAC; ⁽⁴⁾ Estudantes de doutorado, Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, IAC.

RESUMO: Dos gases de efeito estufa relacionados com a agricultura, N₂O é o que tem chamado mais atenção em função do seu potencial de aquecimento global ser quase 300 vezes maior que o CO₂. O objetivo do trabalho foi avaliar as emissões de N₂O em condições de campo em função da aplicação de fontes (nitrato de amônio (NA) e nitrato de cálcio (NC)) e doses (160 e 320 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) via fertirrigação. Um experimento foi instalado em um pomar de citros com 13 anos de idade com os seguintes tratamentos: 1-controle G; 2-NA160 G; 3-NA320 G; 4-NC160 G; 5-NC320 G; 6-controle EG; 7-NA160 EG; 8-NA320 EG; 9-NC160 EG e; 10-NC320 EG (Duas posições de amostragem, G - gotejador e EG - entregotejador). Durante 105 dias de avaliações, foram feitas 28 fertirrigações e aplicado o equivalente a 56 % da dose total anual de N. Os fluxos de N₂O foram relativamente baixos (variando de -0,3 a 4,3 mg N-N₂O m⁻² dia⁻²). A emissão acumulada em 105 dias foi significativamente menor no tratamento controle (0,54 kg N-N₂O ha⁻¹), porém, não houve diferença entre doses e fontes de N (média dos tratamentos de 0,8 kg N-N₂O ha⁻¹). Os baixos fluxos de N₂O observados neste estudo indicam que o sistema de fertirrigação em solos com alta capacidade de drenagem pode ser uma boa estratégia para mitigar as emissões desse gás à atmosfera independente se o fertilizante usado é NA ou NC.

Termos de indexação: Gases de efeito estufa, Nitrato de amônio e Nitrato de cálcio.

INTRODUÇÃO

O N₂O é um importante gás de efeito estufa (GEE) com potencial de aquecimento global (PAG) 298 vezes maior que o CO₂ (IPCC, 2007) e é a principal substância depletora da camada de ozônio atualmente (Ravishankara et al., 2009).

As reações de nitrificação e desnitrificação, ambas mediadas por microrganismos, contribuem diretamente para a emissão de N₂O e são reguladas por inúmeros fatores, entre eles a disponibilidade de N e de água (Martín et al., 2010). O manejo adequado desses recursos por meio da fertirrigação (distribuição simultânea de água de

irrigação e fertilizantes) pode reduzir a magnitude das emissões de N₂O (Schellenberg et al., 2012; Kennedy et al., 2013). Isso porque esse tipo de manejo aumenta a eficiência de uso do N em até 25% (Quaggio et al., 2006) reduzindo a quantidade de N (substrato) suscetível às emissões como GEE. No entanto, resultados controversos têm sido também obtidos. Scheer et al., (2008), verificaram que em sistemas irrigados, as perdas N₂O podem expressivas em decorrência da redução da pressão de O₂ no solo que gera um aumento no processo de desnitrificação.

Na fertirrigação do citros, o nitrato de amônio (NA) é a fonte de N mais usada, em virtude do baixo custo. Contudo, problemas sérios de acidificação do solo na região do bulbo úmido e redução da produtividade de laranja têm sido relatados ao se aplicar NA via fertirrigação (Quaggio et al., 2013 no prelo). O mesmo problema não ocorre quando fontes não acidificantes, como o nitrato de cálcio (NC), são utilizadas.

A literatura tem sido controversa em demonstrar ou não o efeito de fontes de N na emissão de N₂O. Tenuta & Beauchamp (2003) observaram em condições de sequeiro maiores emissões com o uso de NA em comparação ao NC. Por outro lado, em condições irrigadas, Scheer et al. (2008) obtiveram resultados opostos. Outros autores não verificaram diferenças entre fontes (Schellenberg et al., 2012). É provável que os efeitos da quantidade de N aplicada e, sobretudo, do tipo de fonte escolhida dependam de condições locais (clima, solo, etc).

As informações disponíveis sobre emissão de N₂O em culturas perenes são escassas e até o momento, nenhum trabalho foi encontrado na literatura que quantificasse as emissões de N₂O a partir de solo cultivado com citros, tampouco, que relacionasse fontes e doses de N aplicados via fertirrigação. Em função disso, um experimento foi conduzido com os seguintes objetivos: i) determinar qual a fonte de N (NA ou NC) utilizada na fertirrigação dos pomares que promove menor emissão de N₂O e; ii) avaliar se a emissão de N₂O aumenta com o aumento da dose de N aplicada; iii) avaliar o comportamento espacial das emissões desse GEE.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em uma fazenda comercial de produção de laranja localizada no município de Reginópolis - SP, situada a 21°53'26" S, 49°08'12" O e aproximadamente 400 m de altitude. A temperatura média durante o período do experimento (105 dias) variou de 21 a 30 °C e a precipitação total foi de 423 mm (Figura 1).

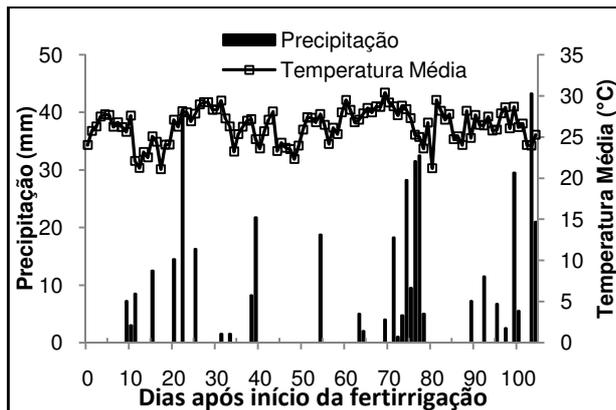


Figura 1: Precipitação (barras verticais) e temperatura média (linha) durante o período do experimento (105 dias).

A área é cultivada com laranja Valência sobre porta-enxerto citrumelo *Swingle* em um Argissolo vermelho-amarelo (EMBRAPA, 2006) de textura arenosa (< 15% argila). O pomar foi instalado em 1999 e há 10 anos vem sendo conduzido um experimento de fertirrigação com NA e NC aplicados em doses crescentes. As unidades experimentais constituem de uma linha de cultivo de citros com 16 plantas e espaçamento de 3,0 x 7,5 m. O sistema de irrigação é composto por duas linhas de tubogotejadores, distantes 0,70 m do tronco da planta (uma de cada lado da planta) e com 0,90 m entre emissores. Os emissores têm vazão média de 3,5 L h⁻¹.

Os tratamentos consistiram de um controle (sem N), duas fontes de N (NA e NC), duas doses (160 e 320 kg N ha⁻¹ ano⁻¹), e duas posições de amostragem. A amostragem foi feita no bulbo úmido (gotejador - G) e entre dois gotejadores, ou seja, fora do bulbo úmido (entregotejador - EG). Dessa maneira, os tratamentos foram: 1-controle G; 2-NA160 G; 3-NA320 G; 4-NC160 G; 5-NC320 G; 6-controle EG; 7-NA160 EG; 8-NA320 EG; 9-NC160 EG e; 10-NC320 EG. Em todos os tratamentos a quantidade de nutrientes foi a mesma, com exceção apenas para o N. Em cada tratamento foram distribuídas oito câmaras para coleta de gases, sendo quatro na posição G e quatro na posição EG.

Um tratamento adicional foi instalado entre duas fileiras de plantas (corredor). Isso foi necessário para amostrar diferentes locais e representar da melhor maneira possível a área total do pomar. Para o cálculo de emissão em área total, foi estimado que

a posição do gotejador, entregotejador e corredor ocupam 8,4; 34,3 e 57,3% da área total do pomar, respectivamente.

A fertirrigação foi realizada de 01 de outubro de 2012 à 20 de abril de 2013. Porém, os resultados apresentados neste trabalho correspondem apenas as amostragens de gases realizadas até a primeira quinzena de janeiro de 2013. Durante este período foram feitas 28 fertirrigações com 56,5% da dose total de N foi aplicada (Tabela 1). Cada operação de fertirrigação teve duração média de duas horas e foram realizadas de uma até no máximo quatro fertirrigações por semana.

Tabela 1: Quantidade de N aplicada nas duas doses (160 e 320 kg ha⁻¹ ano⁻¹) em cada uma das 28 operações de fertirrigação realizadas em 105 dias de experimento.

Dias após início da fertirrigação	Dose de N aplicada (kg N ha ⁻¹)	
	Dose 160	Dose 320
1, 3, 8, 10, 15, 16, 17, 18, 23, 24, 25, 29, 30, 31	3,28	6,56
44, 45, 46, 57, 58, 59	3,29	6,58
65, 71	4,93	9,86
79, 80, 94, 95, 99, 100	2,47	4,94
Total de 28 aplicações	90,3	180,6

A amostragem de gases no campo foi feita pelo método da câmara estática. As câmaras são de PVC de formato cilíndrico, com 0,3 m de diâmetro e 0,2 m de altura. As coletas de gases foram realizadas diariamente durante semanas intercaladas. Desta maneira, amostragens foram realizadas em dias com e dias sem fertirrigação para melhorar a representatividade temporal das coletas. A amostragem de gases foi realizada sempre no período da manhã e as fertirrigações no período da tarde. No total foram feitas 40 amostragens de gases em 105 dias de avaliação.

A amostragem dos gases consistiu na coleta de três amostras de gás durante o intervalo de 30 minutos, sendo a primeira amostra coletada um minuto após o fechamento da câmara e as outras duas aos 15 e 30 minutos. As amostras de gás coletadas foram transferidas para frascos de vidro (20 mL) previamente vedados com septo de borracha e evacuados. A análise dos gases foi realizada em um cromatógrafo de gás (GC modelo 2014, Shimadzu Co.).

Os fluxos foram calculados a partir do aumento ou diminuição linear da concentração de N₂O em função dos três intervalos de tempo e corrigidos de acordo com a Lei dos Gases Ideais. A estimativa da emissão acumulada de N₂O foi feita por meio da interpolação dos fluxos diários para cada semana de avaliação. Nas semanas que não foram feitas as amostragens, a média dos fluxos entre a semana anterior e posterior foi utilizada no cálculo da emissão cumulativa.

Análise de variância foi realizada por meio do *software* Sisvar 5.3. Todas as comparações estatísticas foram feitas por meio de contrastes ortogonais ($p < 0.1$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo dos 105 dias de avaliações tanto fluxos positivos (emissão) quanto fluxos negativos (consumo) de N_2O foram observados (**Figuras 2A e 2B**). Os menores fluxos diários foram na primeira semana de fertirrigação. A partir da terceira semana, os fluxos de $N-N_2O$ aumentaram nas duas posições, provavelmente em função do início da estação das chuvas e do maior número de fertirrigações nesta semana (**Figura 1 e Tabela 1**).

Os menores fluxos ao longo de todo o período avaliado foram observados no tratamento sem N. Neste tratamento, os fluxos variaram de $-0,1$ a $1,1$ $mg\ N-N_2O\ m^{-2}\ dia^{-1}$ no gotejador e de $0,1$ a $1,9$ $mg\ N-N_2O\ m^{-2}\ dia^{-1}$ no entregotejador. Nos tratamentos com N, a partir da terceira semana, os fluxos foram semelhantes nas duas posições avaliadas. Considerando todos os tratamentos com N, médias de quatro repetições variaram de $0,1$ a $4,3$ $mg\ N-N_2O\ m^{-2}\ dia^{-1}$ no gotejador e $-0,3$ a $3,7$ $mg\ N-N_2O\ m^{-2}\ dia^{-1}$ no entregotejador (**Figuras 2A e 2B**).

A emissão acumulada no tratamento sem N foi menor do que nos tratamentos com N nas duas posições avaliadas ($p < 0,05$) (**Tabela 2**). A média de emissão acumulada de $N-N_2O$ das duas posições no tratamento sem N foi de $56\ mg\ N\ m^{-2}$ enquanto que nos tratamentos com N foi de $123,5\ mg\ N\ m^{-2}$.

Considerando as doses e fontes de N juntas, não houve diferença entre as duas posições amostradas (gotejador e entregotejador) para o fluxo de $N-N_2O$ acumulado (**Tabela 2**). Esse efeito pode ser atribuído a movimentação horizontal do íon NO_3^- (extremamente móvel no solo) que segue a frente de umedecimento (Kennedy et al., 2013).

O efeito de dose de N aplicada na emissão de N_2O foi verificado apenas no gotejador (**Tabela 2**). Independentemente da fonte de N, maior emissão acumulada de $N-N_2O$ na posição do gotejador foi observada nas parcelas que irão receber, ao final do período de fertirrigação, $160\ kg\ N\ ha^{-1}$. No entregotejador não houve diferença significativa entre doses. A menor emissão na maior dose deve ter ocorrido, provavelmente, pelo excesso de NO_3^- no bulbo úmido que reduz a atividade microbiana responsável pela produção de N_2O . Esse efeito foi mais severo no NC, onde as emissões foram significativamente menores do que no NA nas duas doses para a posição do gotejador. No entregotejador as duas fontes foram iguais independentemente da dose de N aplicada.

A emissão cumulativa de $N-N_2O$ estimada para área total do pomar foi baixa em todos os tratamentos. Isso provavelmente ocorreu em função

da alta capacidade de drenagem (Jantalia et al., 2008) do solo arenoso e do sincronismo entre aplicação do fertilizante e demanda de N das plantas (Kennedy, 2012).

O controle (sem N) emitiu menos $N-N_2O$ comparado aos tratamentos com N, contudo, não houve diferença significativa entre fontes e nem entre doses de N. No tratamento controle a emissão cumulativa em 105 dias foi equivalente a $0,54\ kg\ N-N_2O\ ha^{-1}$ e nos tratamentos com N, NA160; NA320; NC160 e NC320 a média foi igual a $0,78$; $0,81$; $0,84$ e $0,77\ kg\ N-N_2O\ ha^{-1}$, respectivamente.

CONCLUSÕES

Em nosso estudo, a aplicação fracionada de N em um solo com alta capacidade de drenagem de água resultou em baixos fluxos diários de N_2O .

O nitrato de amônio aumentou os fluxos de N_2O na região do bulbo úmido, mas não houve diferença entre as fontes na emissão acumulada de 105 dias. Do mesmo modo, não foram observadas diferenças entre as doses 160 e $320\ kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ na emissão cumulativa.

AGRADECIMENTOS

Aos funcionários da fazenda Santa Lucia I, Samuel, Valmir e Ronilson que auxiliaram na execução desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. The physical Science basis: Contribution on working group I to the fourth assessment report of the intergovernment Panel on Climate Change. Paris, 2007.
- JANTALIA, C. P.; SANTOS, H. P.; URQUIAGA, S. BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage system in south of Brazil. *Nutr, Cycl Agroecosyst*, 82: 161-173, 2008.
- KENNEDY, T. L.; SUDDICK, E. C.; SIX, J.; Reduced nitrous oxide emissions and increase yields in California tomato croppings systems under drip irrigation and fertigation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 170: 16-27, 2013.
- MARTÍN, L. S.; MEIJIDE, A.; TORRES, L. G.; VALLEJO, A. Combination of drip irrigation and organic fertilizer for mitigating emissions of nitrogen oxides in semiarid climate. *Agric., Eco and Env.* 133: 199-207, 2010.
- QUAGGIO, J. A.; SILVA, G. O.; SOUZA, T. R.; MATTOS, D. Jr; KROTAL, Y. Dinâmica de íons no solo e ganhos de eficiência fertilizante devido a irrigação e fertirrigação na citricultura. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, 27, 2006. Bonito. Anais... Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR, D; SILVA, G.; SOUZA, T. R.; KRONTAL, Y.; BOARETTO, R. M. Enhanced nutrient use efficiency in citrus orchard under irrigation and fertigation (2013, no prelo).

RAVISHANKARA, A.R.; DANIEL, J.S.; PORTMANN, R.W. Nitrous oxide (N₂O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science*, 326:123-125, 2009.

SCHEER, C.; WASSMANN, R.; KIENZLER, K.; IBRAGIMOV, N.; ESCHANOV, R. Nitrous oxide emissions from fertilized, irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in the Aral Sea Basin, Uzbekistan: Influence

of nitrogen applications and irrigation practices. *Soil Biology and Biochemistry*. 40: 290-301, 2008.

SCHELLENBERG, D. A.; ALSINA, M. M.; MUHAMMAD, S.; STOCKERT, M. W. W.; SANDEN, B. L. BROWN, P. H.; SMART, D. R. Yield-scaled global warming potential from N₂O emissions and CH₄ oxidation for almond (*Prunus dulcis*) irrigated with nitrogen fertilizers on arid land. *Agric., Eco., and Env.* 155: 7-15, 2012.

TENUTA, M.; BEAUCHAMP, E. G. Nitrous oxide production from granular nitrogen fertilizers applied to a silt loam soil. *Can. J. Soil Sc.*, 83:521-532, 2003.

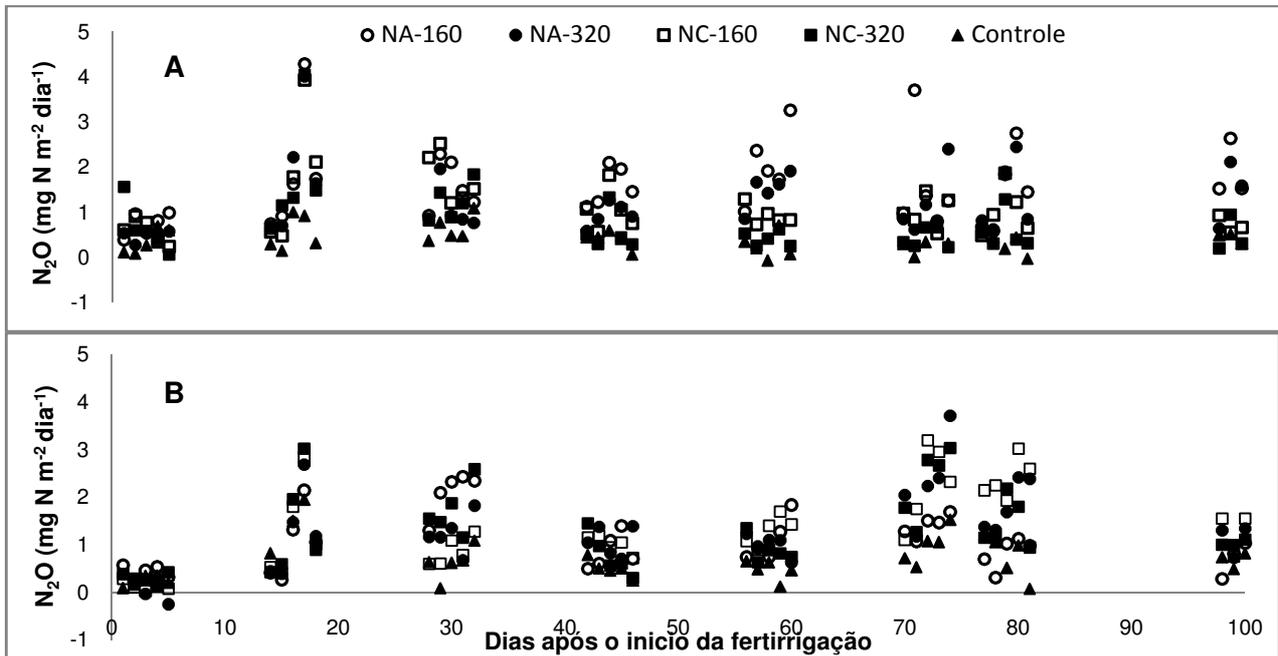


Figura 2 – Fluxos diários de N-N₂O ao longo de 105 dias de avaliações em função da aplicação de duas fontes de N (nitrito de amônio (NA) e nitrito de cálcio (NC)) e duas doses (160 e 320 kg ha⁻¹ ano⁻¹). A- Posição do gotejador; B- Posição entregotejadores.

Tabela 2: Emissão cumulativa de N₂O após 105 dias de avaliações com aplicação de diferentes doses (160 e 320 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e fontes de N (nitrito de amônio (NA) e nitrito de cálcio (NC)) e medições de fluxos em duas posições distintas (gotejador (G) e entregotejador (EG)).

Tratamentos	Emissão acumulada - 105 dias (mg N-N ₂ O m ⁻²)	Contrastes ortogonais		Pr>Fc
1 - Controle G	42 ± 7	Controle G X com N G	(1) X (2+3+4+5)	0.0004
2 - NA-160 G	164 ± 11	Controle EG X com N EG	(6) X (7+8+9+10)	0.0085
3 - NA-320 G	127 ± 16	G X EG	(1+2+3+4+5) X (6+7+8+9+10)	ns
4 - NC-160 G	117 ± 9	160 G X 320 G	(2+4) X (3+5)	0.0471
5 - NC-320 G	70 ± 10	160 EG X 320 EG	(7+9) X (8+10)	ns
6 - Controle EG	70 ± 8	NA 160 G X NC160 G	(2) X (4)	0.0713
7 - NA-160 EG	111 ± 18	NA320 G X NC 320 G	(3) X (5)	0.0708
8 - NA-320 EG	129 ± 27	NA 160 EG X NC 160 EG	(7) X (9)	ns
9 - NC-160 EG	141 ± 17	NA 320 X NC 320 EG	(8) X (10)	ns
10 - NC-320 EG	129 ± 35			
Corredor	44 ± 3			

Ns: Contraste não significativo