Medidas de óxido nitroso (N_2O) emitido por culturas de mamona e girassol para produção do agro diesel e potencial contribuição para as mudanças climáticas

Tania Mascarenhas Tavares
Rodolfo Rojas Guarín
Carolina L. Wilches Arciniegas
Sergio Telles de Oliva

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

TAVARES, T.M., GUARÍN, R.R., ARCINIEGAS, C.L.W., and OLIVA, S.T. Medidas de óxido nitroso (N_2O) emitido por culturas de mamona e girassol para produção do agro diesel e potencial contribuição para as mudanças climáticas. In: FERNANDES, R.C.P., LIMA, M.A.G., and ARAÚJO, T.M., comps. *Tópicos em saúde, ambiente e trabalho: um olhar ampliado* [online]. Salvador: EDUFBA, 2014, pp. 291-311. ISBN: 978-65-5630-012-2. <https://doi.org/10.7476/9786556300122.0015>.

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Medidas de óxido nitroso (N_2O) emitido por culturas de mamona e girassol para produção do agro diesel e potencial contribuição para as mudanças climáticas

Tania Mascarenhas Tavares
Rodolfo Rojas Guarín
Carolina L. Wilches Arciniegas
Sergio Telles de Oliva

Introdução

As emissões atmosféricas resultantes das atividades antrópicas constituem um fator decisivo para o aquecimento global e as mudanças climáticas. As relações homem e meio ambiente são complexas e se refletem diretamente na saúde. Os efeitos do desequilíbrio climático estão estreitamente associados com o surgimento de doenças infecciosas e a diminuição da disponibilidade e da qualidade de recursos vitais para o homem – água, alimento e ar. (IPCC, 2007a)

Entre os gases emitidos pelas atividades industriais, urbanas e agropastoris, alguns têm a capacidade de absorver radiação infravermelha (calor) e, quando presentes na troposfera, absorvem o calor emitido, principalmente, pela superfície terrestre, aquecendo a atmosfera. Esses gases são denominados de gases estufa. Entre os principais gases estufa de longa permanência na atmosfera encontra-se o óxido nitroso (N_2O) e sua principal fonte antrópica é a agricultura adubada. Esse gás está presente na atmosfera terrestre em nível de traços, na ordem de partes por bilhão (ppb) e sua concentração vem aumentando linearmente durante as últimas décadas. (CRUTZEN; MOSIER; SMITH; WINIWATER, 2007)

A importância do óxido nitroso no meio ambiente decorre de duas características distintas. Primeira, é a sua capacidade de absorver radiação infravermelha, 300 vezes mais alta do que o gás carbônico (CO_2), que atualmente, é o principal gás de estufa, pois é responsável por cerca de 50% do aquecimento global. Embora a concentração de N_2O seja cerca de mil vezes menor do que a do CO_2 , sua contribuição é significativa para o efeito estufa, e conseqüentemente, para a mudança climática. Segundo – o N_2O atinge a estratosfera e contribui, junto com alguns gases halogenados, para a destruição da camada de ozônio, a qual atua como uma barreira impedindo a penetração de radiação ultravioleta na superfície da terra, com conseqüências danosas para a saúde humana. (CRUTZEN; MOSIER; SMITH; WINIWATER, 2007, IPCC 2007a, IPCC 2007b)

O Brasil almeja tornar-se líder na produção de agrodiesel, com expansão de produção de oleaginosas no nordeste do país. No entanto, existe uma preocupação internacional sobre a real vantagem da adoção do agrodiesel como combustível, uma vez que há o risco da produção agrícola de oleaginosas emitirem mais N_2O do que as equivalentes às emissões evitadas de CO_2 , e portanto, contribuirão mais para o aquecimento global do que o diesel fóssil. (CRUTZEN; MOSIER; SMITH; WINIWATER, 2007)

O objetivo do estudo aqui descrito foi determinar os fluxos de emissão de óxido nitroso emitido pelo solo em culturas de algumas oleaginosas utilizadas na produção de agrodiesel no nordeste, comparando-os com os fluxos das emissões correspondentes de vegetação nativa, de forma a avaliar se a adoção do agrodiesel nordestino apresenta ou não vantagem para a redução da contribuição do transporte terrestre para o aumento do efeito estufa. Além disso, foram medidas as emissões de N_2O da produção familiar de mandioca, utilizada na subsistência de populações economicamente desfavorecidas, de forma a verificar se essa prática contribui mais ou menos para o aumento do efeito estufa do que a cobertura vegetal original, ou do que as culturas de oleaginosas usadas para produção de agrodiesel. Os fluxos de N_2O emitidos foram medidos em culturas de mamona, girassol e soja utilizadas para a produção do agrodiesel, e nas matas Atlântica e de cerrado, para fins de comparação. Esse estudo, de forma comparativa, é pioneiro no Brasil

e no mundo, tendo sido financiado pela FAPESB, CNPQ e CAPES, essa última na forma de bolsa.

O óxido nitroso e ciclo global do nitrogênio

O óxido nitroso é muito pouco reativo quimicamente, mas é formado ou transformado em outras formas químicas por microorganismos, fazendo parte do ciclo biogeoquímico do nitrogênio. O ciclo global do nitrogênio representa um dos mais importantes ciclos de nutrientes que sustenta a vida na terra e está intimamente relacionado ao ciclo do carbono. Na sua forma mais comum no estado gasoso (N_2), o nitrogênio compõe 78% de nossa atmosfera. No entanto esse gás não reativo, por meio de fixação, converte-se em formas reativas (Nr) tais como: amônia, aminoácidos e proteínas antes de estar disponível para a maior parte de formas de vida. (GALLOWAY; ABER; ERISMAN; SEITZINGER; HOWARTN; COWLING; COSBY, 2003)

Antes do século XX, a fixação de nitrogênio ocorria apenas por meio de um grupo limitado de micro-organismos e por descargas elétricas durante tempestades (raios). Com o rápido crescimento populacional do último século, as fontes naturais de nitrogênio reativo já não eram suficientes para a produção de alimento. Tal demanda levou à descoberta de uma forma de conversão do nitrogênio gasoso não reativo (N_2) em formas reativas para fins agrícolas, principalmente por meio da produção industrial de fertilizantes, resultando em uma modificação do ciclo global do nitrogênio. (GALLOWAY; ABER; ERISMAN; SEITZINGER; HOWARTN; COWLING; COSBY, 2003)

Devido às ineficiências do uso do nitrogênio na agricultura, a maior parte do nitrogênio que é fixado industrialmente para produção de fertilizante químico para fins de produção de alimento, é lançada no meio ambiente. Essas perdas, acopladas à queima de combustível fóssil, aumentaram o aporte de nitrogênio antrópico muito acima do obtido com as taxas naturais observadas na maior parte do mundo. (GALLOWAY; ABER; ERISMAN; SEITZINGER; HOWARTN; COWLING; COSBY, 2003, IPCC, 2007a)

Estima-se que a emissão de gases efeito estufa provenientes da agricultura corresponde a 5.1-6.1 gigatoneladas equivalentes a CO_2 (Gt de CO_2 -equivalente) por ano. Segundo o IPCC, a estimativa global

de emissão de N_2O para o setor agrícola é de 2,8 GtCO₂-eq/ano devido principalmente ao uso de fertilizantes e à expansão da agricultura. Parte do impacto se deve ao aumento das áreas de lavoura em cerca de 20%, desde 1960, nos países em desenvolvimento. (IPCC, 2007a)

O nitrogênio é geralmente o maior fator limitante na produção de uma série de produtos agrícolas. Atualmente a ação humana adiciona 150% mais nitrogênio no meio ambiente do que o envolvido em processos naturais por meio da combinação da agricultura e uso de combustível fóssil. Na agricultura o adubo – orgânico ou sintético – é constituído de formas quimicamente reativas que aumentam a produtividade agrícola. No entanto devido ao seu uso ineficiente, parte do nitrogênio é perdida para o meio ambiente, principalmente para a atmosfera. Dentre as formas químicas emitidas está o óxido nitroso, que é emitido essencialmente pela agricultura, seguido da produção animal. Entre as outras formas de nitrogênio reativo lançadas no meio ambiente estão a amônia e seus sais, os óxidos de nitrogênio e os nitratos que causam chuva ácida e acidificação dos ecossistemas, eutroficação de corpos de água, contaminação de recursos hídricos para consumo humano e o *smog* fotoquímico atmosférico, os dois últimos com efeitos diretos sobre a saúde humana.

Recentemente o Prêmio Nobel, Paul Crutzen, alertou para as suas novas descobertas sobre a liberação de óxido nitroso proveniente do uso de adubo em plantações que pode ser três a cinco vezes mais altas do que estimado originalmente. Esse fato coloca o óxido nitroso no foco das atenções no fenômeno do aquecimento global (CRUTZEN; MOSIER; SMITH; WINIWATER, 2007) e as vantagens para as mudanças de clima dos programas de agrocombustíveis em questionamento.

Raros são os estudos no Brasil sobre o ciclo de nitrogênio que envolvem a atmosfera e particularmente a emissão de óxido nitroso. No nordeste tais estudos são inexistentes, exceto o que será descrito adiante. Esses estudos são da maior importância para a elaboração de planos adequados de desenvolvimento e sustentabilidade do país, para o gerenciamento adequado da expansão agrícola da região e para o programa de agrocombustível assim como para os estudiosos da mudança de clima.

Fatores que afetam a emissão de N_2O de solo

Muitos fatores associados com tipo de cultura, solo, teor de água e adição de fertilizante influenciam as condições e processos do solo, e consequentemente as emissões de N_2O .

Os processos bacterianos de desnitrificação e nitrificação são as fontes dominantes de N_2O e NO na maioria dos sistemas de solo, ao tempo em que a desnitrificação é também um sumidouro de N_2O . A nitrificação é um processo aeróbico que ocorre em todos os ecossistemas. O fator mais importante controlando a nitrificação é a disponibilidade de íon amônio (NH_4^+) e de oxigênio (O_2). A desnitrificação é um processo anaeróbico, cujas taxas variam enormemente ao longo do tempo e do espaço. Os principais fatores controlando a desnitrificação biológica incluem a disponibilidade de carbono e de nitrato (NO_3^-) além de outros óxidos de nitrogênio e o suprimento de oxigênio. O óxido nítrico pode ser também produzido pela decomposição de ácido nítrico (HNO_2) em pH baixo e condições limitadas de O_2 . O ciclo de nitrogênio está representado na Figura 1.

Figura 1 - Ciclo de Nitrogênio

Fonte: (TAVARES; GUARIN; AREINIEGAS; OLIVA, 2010)

Os outros parâmetros que controlam a emissão de N_2O do solo são:

- O pH do solo, com valor médio favorável a emissão de N_2O por nitrificação entre 6 e 8, mas variando com a espécie e idade do microorganismo assim como a concentração de NO_3^- . Solos com pH ácido - como em grande parte do Brasil e que é encontrado em culturas de baixa renda onde a correção química não é feita - contribuem com emissão de N_2O em valores consideráveis devido a microrganismos ácido tolerantes. (YAMULKI et al., 1997; HOU et al., 2000)
- A umidade do solo, uma vez que o teor de água no solo influencia o processo de desnitrificação direta ou indiretamente, disponibilizando C e N, atuando como um meio de difusão através do qual os substratos são disponibilizados aos microorganismos e restringindo a quantidade de O_2 nos microssítios ocupando os poros do solo e produzindo condições anaeróbicas. É preciso esclarecer que, no solo, as condições físicas são heterogêneas, particularmente a distribuição de lâminas d'água que atuam como barreira de difusão gasosa e que resultam no desenvolvimento de condições parcialmente anaeróbicas em meio de uma matriz aeróbica. Deste modo, os processos de nitrificação e desnitrificação podem acontecer simultaneamente, resultando em interpretações muito variáveis dos mecanismos responsáveis pela produção de N_2O . Estudos têm evidenciado um aumento das taxas de desnitrificação, após eventos de irrigação e precipitação, no inverno e em regiões com ciclos de congelamento/descongelamento. (LEFFELAAR, 1986)
- A disponibilidade do oxigênio, uma vez que inibe as enzimas envolvidas no processo de desnitrificação, variando o limite crítico com as diferentes espécies bacterianas. O teor de O_2 depende do espaço poroso saturado de água (EPSA), do tipo de solo e do grau de compactação. Durante a nitrificação o N_2O produzido tem uma correlação inversa com a con-

centração de O_2 dissolvido (MOSIER; DUXBURY; FRENEY; HEINEMEYER; MINAMI, 1998).

- O teor de matéria orgânica, onde se observa que a diferença de níveis de matéria orgânica no perfil do solo é provavelmente causada pelo carbono orgânico facilmente degradável, utilizado como fonte energética para a desnitrificação, o qual promove a atividade microbiana, resultando em maior consumo de oxigênio e conseqüentemente o favorecimento das condições anaeróbias. A incorporação de resíduos de plantas, a fertilização verde e aplicação de adubos incrementam as taxas de desnitrificação. Quando o teor de N é o fator limitante, a desnitrificação pode ser reduzida, devido à imobilização de N causada por decomposição dos resíduos pelos microrganismos e a sua incorporação na biomassa microbiana. (MOSIER; DUXBURY; FRENEY; HEINEMEYER; MINAMI, 1998; PARRON; BUSTAMANTE; PRADO, 2003)
- A temperatura do solo, que ao aumentar, amplia a emissão de N_2O , sendo a faixa de máxima emissão entre 60-70 °F, ou seja, 16-21°C. (MOSIER; DUXBURY; FRENEY; HEINEMEYER; MINAMI, 1998; CHAPIN; MATSON; MOONEY, 2002)
- A textura fina do solo e a compactação resultam em maiores emissões de N_2O . A compactação, principalmente em situação de umidade, conduz à redução na porosidade do solo, retardando a infiltração de água e a difusividade dos gases, provocando a diminuição da concentração de O_2 e gerando uma anaerobiose parcial. (MOSIER; DUXBURY; FRENEY; HEINEMEYER; MINAMI, 1998; SITAULA; HANSEN; SITAULA; BAKKEN, 2000)
- A presença, densidade e tipo de plantas afetam a emissão de N_2O através da assimilação de carbono e nitrato, ficando este último indisponível para a desnitrificação. No caso de matéria orgânica proveniente das raízes observa-se um efeito indireto, já que se pode dar origem a mais nitrato que continua a via da desnitrificação. Estudos mostram que, algumas plantas

podem constituir uma via de emissão de N_2O . Em campos alagados de arroz a emissão de N_2O acontece predominantemente através da planta. O trigo é outro exemplo, onde se encontrou emissão de N_2O através da folhagem. Já no caso particular de culturas de leguminosas, onde associações simbióticas de nitrificação se localizam nas raízes, a emissão de N_2O é alta. (MOSIER; DUXBURY; FRENEY; HEINEMEYER; MINAMI, 1998)

Parâmetros influenciando as emissões de n_2o em plantações de mamona, girassol, aipim e área de reserva da mata atlântica

Este foi o primeiro estudo no nordeste brasileiro determinando emissões de óxido nitroso do solo e focalizou as plantações de oleaginosas, uma vez que há previsão de grande expansão dessas culturas nas extensas áreas semiáridas do cerrado, da catinga e do sertão. Para comparação determinou-se os fluxos de emissões do solo de plantação familiar de aipim de baixa tecnologia e da cobertura vegetal original, ou seja, resquícios de Mata Atlântica. (GUARÍN, 2010)

Na falta de campos experimentais de oleaginosas na região semiárida, com controle dos principais parâmetros agrícolas, selecionou-se o campo experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no município de Cruz das Almas-BA, (12°40'19"S, 39°06'23"W), a uma altura de 220 m, onde haviam plantações controladas de duas oleaginosas, mamona e girassol. Próximo a esse campo experimental havia uma plantação familiar de aipim e uma reserva de floresta nativa da Mata Atlântica, que foram tomadas como referência. A temperatura média anual da região é de 24,1 °C e a precipitação média anual de 1170 mm. O clima é do tipo tropical quente e úmido, mas já classificado como zona de transição devido aos longos períodos de estiagem que por vezes apresenta. O estudo foi realizado nas seguintes áreas:

- Campo experimental de mamona (*Ricinus communis* L.) adubado com 60 kg ha⁻¹ de uréia, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O;

- Campo experimental de girassol (*Helianthus annuus L.*) adubado com 60 kg ha⁻¹ de uréia, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O.
- Como referência e fins de comparação foram feitas medidas nas seguintes áreas presentes na mesma região, e com as mesmas características de solo e meteorologia das áreas de plantação das oleaginosas:
- Cultura familiar de aipim (*Manihot esculenta Crantz*) sem uso de fertilizante, uma vez que é a cultura de subsistência dominante no nordeste;
- Área natural (remanescente do corredor central da Mata Atlântica), caracterizada por ser floresta tropical de transição subperenifólia/subcaducifólia, com área aproximada de 1,2 hectares, localizado na EMBRAPA-CNPME, Cruz das Almas.

Nas quatro áreas foram realizadas medidas de fluxo de óxido nítrico. A coleta de gases na interface solo-atmosfera foi feita *in situ* em períodos semanais durante o verão, entre os meses de novembro e dezembro de 2009, compreendendo a época entre o pós-plantio até a pós-colheita. Utilizou-se o método de câmara estática, que é o método mais utilizado em estudos desse tipo. As câmaras foram construídas localmente de acordo com o modelo descrito por Saggar e colaboradores (2004). Anéis metálicos foram inseridos de forma permanente no solo a uma profundidade de 0,10 m e retirados somente ao final do período de coleta. Nos campos plantados, foram identificadas duas subáreas principais: a área de fileira onde se dá a semeadura e a área de entrelinha, na qual circulam pessoas e tratores e se observa uma maior compactação. Como a compactação do solo influencia a taxa de formação e emissão de gases, amostrou-se simultaneamente nas fileiras e nas entrelinhas em cada cultura. A Figura 2 apresenta o desenho amostral adotado nas três culturas estudadas. A floresta foi considerada homogênea em termos de compactação resultando em coleta em um só ponto.

Figura 2 - Esquema da localização espacial das câmaras estáticas no campo de girassol na amostragem simultânea nas fileiras e entrelinhas, Cruz das Almas-BA.

Fonte: (TAVARES; GUARIN; AREINIEGAS; OLIVA, 2010)

No momento de amostragem foi colocada uma câmara cilíndrica de PVC sobre cada anel metálico de 0,30 cm altura, 25 cm de diâmetro, adaptadas com termômetro, ventilador e septo de borracha pelo qual foram retiradas as amostras. Para selar a câmara, adicionou-se 200 mL de água no anel, impedindo a troca gasosa entre o interior da câmara e o ambiente externo.

As coletas foram realizadas entre 06h00 e 18h00. Duas amostras de gás de 100 mL foram coletadas, a primeira no tempo zero (t_i) e a segunda 90 minutos depois (t_f). O tempo selecionado de 90 minutos provou ser suficiente para evitar perturbações no gradiente de emissão e mistura de gases no interior da câmara de acordo com ensaios prévios realizados em laboratório. Para coleta e transporte das amostras foram usadas ampolas de vidro de 100 mL, equipadas com torneira e previamente evacuadas.

As amostras foram analisadas em tempo máximo de 24 horas usando-se um cromatógrafo de gás Varian® equipado com detector por captura de elétrons de ^{63}Ni . A coluna utilizada foi Hayesp-D, 80/100 mesh de 3,0 m x 3 mm. Para a calibração analítica foram preparados padrões secundários utilizando-se mistura padrão de N_2O de 20 ppmv,

por meio de diluição por pressão em linha de vácuo implementada no LAQUAM. (OLIVA, 1998)

Foi determinada a variabilidade diurna dos fluxos para o estabelecimento do perfil de emissão e identificação dos períodos de emissões máxima e mínima em cada uma das subáreas, conforme pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Variação diurna dos fluxos de N_2O de plantações de mamona, girassol e aipim na fileira e entrelinha de plantação e da temperatura média. A floresta é a de referência em todos os casos e considerada como única área homogênea.

Fonte: (TAVARES; GUARIN; AREINIEGAS; OLIVA, 2010)

Todas as áreas tiveram seus solos analisados para os parâmetros físico-químicos do solo.

Foram coletadas amostras compostas homogêneas de cada área na camada de 0-10 cm de profundidade, próximo a cada câmara e independente para cada subárea (Tabela 1). As características físicas determinadas foram: umidade gravimétrica (%), por meio de secagem da amostra durante 24h a 105 $^{\circ}C$ e densidade aparente (kg/dm^3), mediante a técnica de anel volumétrico; macroporosidade e microporosidade (%), por meio de mesa de tensão e estrutura não deformada. As características químicas analisadas foram: pH por meio de suspensão solo-água (1:5 v/v); matéria orgânica por ignição (550 $^{\circ}C$, 8h) (%); carbono orgânico total por método titulométrico (%); NO_3^- e NH_4^+ por analisador de fluxo contínuo (mg/kg) e nitrogênio total pelo método de Kjeldahl. Os resultados dessas análises podem ser visto nas Tabelas 1 e 2 abaixo.

Tabela 1 - Características físico-químicas do solo nas fileiras de plantio das culturas de mamona, girassol e aipim e de uma área de reserva da Mata Atlântica, Cruz das Almas, Bahia, nov.-dez. 2010.

Área	Subárea Fileira			
	Mamona	Girassol	Aipim	Floresta
Umidade (%)	4,03	2,52	1,94	6,02
Textura	F r a n c o arenoso	F r a n c o arenoso	F r a n c o arenoso	F r a n c o arenoso
Porosidade Total (%)	36,41	36,76	39,99	42,91
Macroporosidade (%)	20,07	20,94	22,24	21,7
Microporosidade (%)	16,34	15,79	17,75	21,22
Densidade do solo (kg/dm ³)	1,39	1,60	1,44	1,36
EPSA (%)	15,39	12,08	6,99	19,05
Nitrogênio Total (%)	0,04	0,06	0,04	0,06
Carbono (%)	0,72	0,90	0,68	0,88
Matéria Orgânica (%)	1,24	1,56	1,17	1,42
C/N*	18	15	17	15
Amônia-NH ₄ ⁺ (mg/kg)	4,60	6,40	3,30	5,14
Nitrato-NO ₃ ⁻ (mg/kg)	5,10	8,40	5,10	8,19
pH	6,21	6,12	6,27	4,80

Razão C/N, calculado com base nos valores de concentrações de N e C.

Fonte: : (TAVARES; GUARIN; AREINIEGAS; OLIVA, 2010)

Tabela 2 - Características físico-químicas do solo nas entrelinhas de plantio das culturas de mamona, girassol e aipim Cruz das Almas, Bahia, nov.-dez. 2010.

Área	Subárea Entrelinha		
	Mamona	Girassol	Aipim
Umidade (%)	4,52	3,54	3,86
Textura	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco arenoso
Porosidade Total (%)	35,05	33,39	33,05
Macroporosidade (%)	15,39	10,54	15,96
Microporosidade (%)	19,66	22,85	17,09
Densidade do solo (kg/dm ³)	1,59	1,65	1,63
EPSA (%)	20,50	15,90	19,04

Nitrogênio Total (%)	0,14	0,06	ND
Carbono (%)	2,10	0,82	0,80
Matéria Orgânica (%)	3,63	1,41	1,38
C/N*	15	14	ND
Amônia-NH ₄ ⁺ (mg/kg)	6,40	6,29	ND
Nitrato-NO ₃ ⁻ (mg/kg)	5,10	7,42	5,00
pH	5,45	4,76	6,40

Fonte: (TAVARES; GUARIN; AREINIEGAS; OLIVA, 2010)

Uma maior porosidade total predominou na subárea fileira em todas as culturas, condizente com o da zona preparada para o plantio e crescimento das plantas. A umidade na zona da fileira é mais baixa devido à evaporação e ao consumo da água pelas plantas. O solo das fileiras é mais arejado o que favorece a troca gasosa, à atividade de microorganismos do solo e à decomposição aeróbia da matéria orgânica. Na mata nativa a maior porosidade encontra-se também como um indicativo de ambiente pouco perturbado e protegido das intempéries tais como insolação, chuva e ventos excessivos.

A maior compactação foi encontrada na subárea entrelinha indicada pelos valores de densidade aumentada e macroporosidade reduzida (Tabela 2). A condição de adensamento está diretamente relacionada com as práticas de manejo do solo, tais como: o tráfego de trator no preparo do solo, a criação de zonas desprotegidas (sem cobertura vegetal, como é o caso das entrelinhas) e o trânsito dos agricultores para realizar as atividades próprias. Uma vez reduzida a porosidade total, a difusão de gases pelos poros diminui e os microhabitats do solo sofrem modificação devido à redução da concentração de O₂. Este efeito resulta no incremento de locais anaeróbicos, especialmente em áreas detendo maiores teores de umidade. Como consequência se produzem mudanças na transformação do N e aumento nas taxas de produção de N₂O. (SITAUULA; HANSEN; SITAUULA; BAKKEN, 2000)

A condição de compactação do solo reduz as perdas de água, devido à redução da macroporosidade, favorecendo sua conservação e localizando-se predominantemente na microporosidade. Isso explica a diferença na porcentagem do Espaço Poroso Saturado de Água (EPSA) encontrado na entrelinha e na fileira.

Os conteúdos elevados de amônia (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) indicam uma alta taxa de oxidação de N no solo. A oxidação se dá através dos processos de amonificação e nitrificação associados a teores suficientes de matéria orgânica no solo (C disponível), promovendo a atividade geral microbiana e resultando em maior consumo de O_2 .

O teor de matéria orgânica e de carbono (C) no solo foi maior na subárea de entrelinha nas culturas de mamona (3,63% e 2,10%) e aipim (1,38% e 0,80%). Este resultado pode-se associar à ciclagem de nutrientes. Nas culturas de mamona e girassol a queda gradativa das folhas à medida que avançam os estádios fenológicos representa um aporte importante de nutrientes (N e C) ao solo. Na cultura de aipim também existe à incorporação contínua de resíduos vegetais que o agricultor familiar acumula na plantação.

Na cultura de mamona os teores de N total e C na fileira são baixos (0,40 e 0,72%). Essa variação pode estar diretamente relacionada com uma alta taxa de oxidação destes nutrientes e seu consumo pelas plantas. Em todas as culturas – e inclusive na floresta – a razão C/N foi inferior a 20, o que sugere uma lenta decomposição da matéria orgânica. A ciclagem de nutrientes se reflete na baixa quantidade de N disponível. (PARRON; BUSTAMANTE; PRADO, 2003; VAN SCHÖLL; NIEUWENHUIS, 2003)

Estima-se que a quantidade total de N acumulada nas folhas de mamona até a colheita possa alcançar cerca de 24 kg de N por hectare. (SCHMALZ, 2007) Dessa forma, um maior conteúdo de matéria orgânica nos solos conduz ao aumento da respiração microbiana (decomposição aeróbica), favorecendo a formação de micro-locais anaeróbicos (decomposição anaeróbica) que por sua vez leva à acumulação de elevadas quantidades de NH_4^+ e NO_3^- no solo.

Na floresta o carbono disponível pode ter influenciado a rápida transformação de N, efeito que pode explicar o baixo teor de N (0,06%), a baixa concentração de amônia (5,14 mg/kg) e o maior teor de nitrato (8,19 mg/kg.). Estas características podem indicar duas situações: primeira, que em solos naturais a reciclagem e entrada de pequenas quantidades de N (por deposição e/ou fixação biológica) incrementam a competição entre microorganismos e plantas pelo N disponível (NH_4^+ e NO_3^-); segunda, que a amônia esteja sendo oxidada rapidamente a nitrato e, portanto, nas condições de pH encontrada (4,80), a produ-

ção de N_2O pelos processos de nitrificação e desnitrificação acontecem pela adaptação das comunidades microbianas a ambientes ácidos. (YAMULKI et al., 1997)

Na cultura de mamona o conteúdo de NH_4^+ na fileira (4,60 mg/kg) foi menor que na entrelinha (6,40 mg/kg). A explicação mais provável é que, na fileira, a oxidação da amônia foi realizada mais rapidamente por bactérias que produzem a enzima amônia monooxigenase (AMO) em presença de O_2 . Na cultura de girassol a disponibilidade de N inorgânico (NH_4^+ e NO_3^-) é alta na fileira, sugerindo que a emissão de N_2O pode estar acontecendo simultaneamente pelos processos de nitrificação e desnitrificação. Na cultura de aipim a fileira apresentou uma baixa concentração de amônia (3,30 mg/kg) em relação à concentração de nitrato (5,10 mg/gk), o que indica que existe uma rápida atividade oxidativa da amônia pelos microorganismos nitrificadores.

O baixo pH do solo é frequentemente associado a baixa nitrificação. Em solos ácidos a oxidação microbiológica de NH_4^+ a NO_3^- é mínima e a emissão de N_2O é então favorecida por baixo pH e altas concentrações de NO_3^- . Embora tenha sido realizada a correção do pH do solo na parcela de mamona, o pH encontrado na fileira era moderadamente ácido e na entrelinha ácido. Apesar dessas leves diferenças, os teores de NO_3^- foram similares e as emissões de N_2O foram maiores na entrelinha. Não obstante, Parron, Bustamante e Prado (2003) consideraram que o pH do solo tem efeito pequeno na taxa de nitrificação em solos tropicais. Por outro lado Granli e Bockman (1994), afirmam que a emissão de N_2O é influenciada por fatores químicos e favorecida por pH baixo e altas concentrações de NO_3^- . Na área estudada os valores de nitrato foram baixos e as emissões de N_2O poderiam estar associadas a outros fatores físico-químicos.

Emissões de N_2O das culturas de mamona e girassol e contribuição para mudanças climáticas

As taxas médias de emissão de N_2O determinadas em cada uma das áreas avaliadas, no período de verão (novembro-dezembro de 2009) se observam na Tabela 3. No cálculo dessas taxas levou-se em conside-

ração a variação diurna assim como as diferentes áreas ocupadas por fileiras e entrelinhas no caso das culturas e o ciclo do plantio.

Tabela 3 - Taxa média de emissão de N_2O do solo das fileiras e entrelinhas de plantio das culturas de mamona, girassol e aipim e de uma área de reserva nativa da Mata Atlântica, Cruz das Almas-BA, nov.-dez 2009.

Área	N_2O ($\mu g\ m^{-2}h^{-1}$)		
	Fileira	Entrelinha	Meio de cultura
Mamona	5,85	7,12	7,09
Girassol	5,26	3,99	5,53
Aipim	8,24	11,58	7,6
Floresta	--	--	10,45

Fonte: ((TAVARES; GUARIN; AREINIEGAS; OLIVA, 2010)

Um fato digno de nota é que a emissão média de N_2O estimada para o remanescente do bioma Corredor Central de Mata Atlântica foi maior do que os das áreas cultivadas, com valor de fluxo de $10,45\ \mu g\ N_2O\ m^{-2}h^{-1}$. O segundo fluxo mais alto foi encontrado na cultura de aipim, com valor de $7,60\ \mu g\ N_2O\ m^{-2}h^{-1}$. O aipim é a cultura tradicional de subsistência da região e que historicamente, vem substituindo pequenas áreas da vegetação original.

Na plantação de mamona encontrou-se uma taxa média de $7,09\ \mu g\ N_2O\ m^{-2}h^{-1}$. O fluxo de emissão médio de N_2O para a cultura de mamona inclui uma incerteza maior do que a das outras culturas, uma vez que a subárea de entrelinha não é homogênea em relação a compactação, havendo uma maior compactação na rota dos pneus do trator e menor na área entre os pneus. A cultura de girassol apresentou a menor emissão, com valor médio de $5,33\ \mu g\ N_2O\ m^{-2}h^{-1}$.

Os fluxos de N_2O foram influenciados possivelmente pelas propriedades do solo, práticas de manejo e pela estação seca. O estudo não permitiu uma avaliação específica da influência direta do uso dos fertilizantes químicos nitrogenados, nas emissões deste gás, uma vez que as medidas iniciaram numa época em que a aplicação de fertilizante já tinha acontecido. Na cultura de girassol, a última adubação havia ocorrido um mês antes, e na cultura de mamona, cinco meses antes.

A cultura de girassol apresentou a emissão mais baixa de N_2O e pode ser explicada pelo fato dessa planta ser considerada uma grande extratora de nitrogênio, fósforo e potássio do solo, inclusive em camadas mais profundas do solo, incorporando-os no fruto e demais estruturas vegetais – folhas, caule, capítulos, entre outros. (CARVALHO; OLIVEIRA; LIMA, 2007)

Comparando-se os fluxos médios de N_2O das culturas de mamona e girassol com as da floresta original ou com as de cultura de subsistência adotada localmente, verificamos que não há um aumento da emissão desse gás estufa por substituição da vegetação original pela plantação dessas oleaginosas nas condições estudadas. Embora esse estudo seja apenas o primeiro focalizando emissões de gases estufa de plantações nordestinas, os resultados apontam para uma viabilidade do programa brasileiro de biodiesel.

Em outras partes do mundo existem medidas de emissão de N_2O obtidas em florestas e plantações diversas, em diferentes tipos de solo, condições climáticas e formas de manejo de solo, e os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 4.

Observa-se que as maiores emissões se encontraram em culturas de girassol, trigo, milho e batata na Alemanha, em florestas da Venezuela e feijão no Brasil. Os resultados obtidos no estudo acima descrito, foram incluídos na tabela de forma destacada em negrito. Verifica-se que os valores encontrados para cultura de mamona, girassol e aipim, assim como de floresta tropical são compatíveis com a faixa mais baixa de valores encontrados em outras partes do mundo. Embora comparações entre os dados obtidos nos diferentes estudos devam ser feitas com cautela, uma vez que envolvem diferenças metodológicas nos diferentes estudos, existe uma indicação forte que a cultura de oleaginosas em condições semelhantes às de Cruz das Almas, não contribuirá com emissões de N_2O mais altas do que outras coberturas vegetais em outras partes do país e do mundo.

Tabela 4 - Emissões de N₂O em diversos países de acordo com o uso do solo.

Cultura	Fertilização	Fluxo (kgN ₂ O ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Localidade	Referência
Floresta	---	7,89	Venezuela	Donoso, 1993
Floresta	---	1,99	Mayombo (Kongo)	Serca, 1994
Floresta	---	0,75	Costa Rica (La Selva)	Keller, 1994
Floresta	---	0,34	Brasil (Oriente da Amazônia)	Verchot, 1999
Floresta	---	0,66	Brasil (Fazenda Vitoria – Pará)	Cattannio, 2002
Floresta	---	1,83	Austrália (Bellenden Ker)	Kiese (2002)
Floresta	---	0,64-0,79	Áustria (SW)	Kitzler, 2006
Floresta	Solo tropical	0,92	Brasil - Cruz das Almas, remanescente do corredor central de mata atlântica.	Este estudo
Girassol	Adubo	9,4	Alemanha	Flessa, 1995
Girassol	Uréia 30 kg/há	0,47	Brasil - Cruz das Almas	Este estudo
Trigo	Nitrato de amônio 30 kg ha ⁻¹ Uréia 160 kg ha ⁻¹	9,6	Alemanha	Flessa, 1995
Pastagens	Nenhuma	0.15	USA	Mosier, 1996
Gramado-prado	Uréia 360 kg ha ⁻¹	1.6 – 5.2	Escócia	Clayton, 1997
Beterraba doce	---	3,5	Alemanha	Kaiser, 1998
Milho	Adubo	5,3	Alemanha	Mogge, 1999
Aipim	---	0,010	Indonésia	Hadi, 2000
Batata	(Ca(NO ₃) ₂) 75 kg ha ⁻¹	4,03 ^Δ 6,77 [*]	Alemanha	Flessa, 2002
Feijão	Sulfato de amônio 32gN/parcela	3,5-78,1	Brasil (UNITAU-SP)	Gonçalves, 2002

Feijão	Uréia 20 kg ha ⁻¹	1,77	Brasil - Embrapa Arroz e Feijão	Madari, 2007
Feijão	Uréia 20 kg ha ⁻¹	1,10 ^(d) 0,46 ^(e)	Brasil - Embrapa Arroz e Feijão	Melo, 2008
Cevada	---	1,5-7,5	Finlândia	Syväsalo E, 2004
Soja (inoculada)	Uréia 30 kg ha ⁻¹	1,32 ^(a)	Argentina	Ciampitti, 2005
Arroz	Sulfato de amônio 0,3gNkg ⁻¹ solo	1,07-5,2 ^(b) 0,46-3,9 ^{1(c)}	China	Shuhui, 2007
Ervilha	Uréia 100 kg ha ⁻¹	0.71	Canadá (semi-árido)	Dusenbury, 2008
Mamona	Resíduo cultural de aveia e uréia	0,31-0,64	Brasil - UFSM	Santos, 2009
Mamona	Uréia 100 kg/há	0,62	Brasil - Cruz das Almas	Neste estudo
Aipim	Sem adubação	0,67	Brasil-Cruz das Almas	Neste estudo

* Área compactada ^Δárea não compactada. ^{a)}O estudo faz referência unicamente à máxima emissão obtida num dia. ^{b)} arroz alagado ^{c)} arroz com irrigação intermitente. ^(d) (com palhada) ^(e) (sem palhada) As unidades foram modificadas em alguns casos para obter as mesmas unidades do presente estudo. A tabela mostra valores na maioria de estudos em época seca.

Fonte: (TAVARES; GUARIN; AREINIEGAS; OLIVA, 2010)

Considerações finais

O presente trabalho estimou o possível impacto ambiental das emissões de óxido nitroso (N₂O) a partir de medidas na interface solo-atmosfera, em áreas agrícolas destinadas à produção de matéria prima para agrodiesel. Comparando-se as emissões de N₂O, as culturas de mamona e girassol apresentam fluxos cerca de 30 e 49% inferiores aos de floresta e um pouco inferiores aos de produção familiar de aipim sem fertilização química. Concluiu-se que as emissões de N₂O na produção agrícola das oleaginosas estudadas não prejudicam a contribuição pretendida de emissões evitadas de gases estufa pela substituição do óleo

combustível fóssil pelo agrodiesel. Essas conclusões são importantes para o Brasil, pois dificultam que barreiras ambientais ou sociais sejam utilizadas para dificultar a importação de agrodiesel brasileiro por outras nações.

Referências

- CARVALHO, B. C. L.; OLIVEIRA, E. A. S.; LIMA, F. J. **Girassol: recomendações técnicas para o cultivo e utilização do girassol no Estado da Bahia**. Salvador: EBDA. 2007. 53p.
- CHAPIN, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A. **Principles of terrestrial ecosystem ecology**. New York: Springer Science, 2002.
- CRUTZEN, P. J. et al. N₂O release from agro-bifuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. **Atmos. Chem. Phys**, v. 8, p. 389-395, 2007.
- GALLOWAY, J. N. et al. The nitrogen cascade. **BioScience**, n. 53, p. 341-356, 2003.
- GRANLI, T.; BOCKMAN, O. C. Nitrous oxide from agriculture. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, n. 12, p. 1-128, 1994.
- GUARÍN, R. R. **Medidas de óxido nitroso (N₂O) emitido por culturas de mamona e girassol para produção do agrodiesel e potencial contribuição para as mudanças climáticas**. 2010. 120f. il. Dissertação (Mestrado de Saúde, Ambiente e Trabalho) Faculdade de Medicina da Bahia, UFBA, Salvador, 2010.
- HOU, A. X. et al. Methane and nitrous oxide emission from a rice field in relation to soil redox and microbiological process. **Soil Sci. Soc. Am. J**, n. 64, p. 2180-2186, 2000.
- IBIO - Instituto Bio Atlântica. **GeoAtlântica ambiente para o conhecimento; Corredor central da Mata Atlântica**, 2010. Disponível em: <<http://www.bioatlantica.org.br/mata>>. Acesso em: 13 mar. de 2010.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE. **FOURTH ASSESSMENT REPORT. AR4**. IPCC 2007a. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>. Acesso em: 12 mar 2010.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE. **FOURTH ASSESSMENT IPCC AR4 SYR**. PACHAURI, R. K; REISINGER, A. **Climate Change 2007: Synthesis Report**, Contribution of

Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007b.

LEFFELAAR P. A. Dynamics of partial anaerobiosis, denitrification, and water in a soil aggregate: experimental. **Soil Science**. n. 142, p. 352-366. 1986.

MOSIER, A. R. et al. Assessing and Mitigating N₂O Emissions From Agriculture Soils. **Climatic Changes**, n. 40 p. 7-38, 1998.

OLIVA, S. T. **Determinação de metanol e etanol na atmosfera urbana de Salvador por CG-DCE**. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais – Química) Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.

PARRON, L. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PRADO, C. L. C. **Mineralização de nitrogênio e biomassa em solos de Mata de Galeria: efeito do gradiente topográfico**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2003. 25p.

SAGGAR, S. et al. Modelling nitrous oxide emissions from dairy-grazed pastures. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 68, p. 243–255, 2004.

SCHMALZ, C. R. et al. **Produção e Decomposição de Folhas de Mamona Durante o Ciclo da Cultura**. Santa Maria- RS: UFSM, 2007. p. 5

SITAULA, B. K. et al. Effects of soil compaction on N₂O emission in agricultural soil. **Chemosphere - Global Change Science**, v. 2, p. 367-371, 2000.

SMITH, K. **Nitrous Oxide and Climate Change**. London: Earthcan, 2010.

YAMULKI, S. et al. N₂O, NO and NO₂ fluxes from a grassland: effect of soil pH. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 8, p. 1199-1208, 1997.

VAN SCHÖLL, L.; NIEUWENHUIS, R. **Manejo da fertilidade do solo**. 1 Wageningen: Fundação Agromisa, 2003. 93 p.