



EMISSÕES DE N₂O EM SISTEMAS AGRÍCOLAS

Larissa Borges de Lima

Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil
lima.larissab@gmail.com

Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013

RESUMO

Os sistemas agrícolas são responsáveis por boa parte das emissões de gases de efeito estufa (GEEs). Dentre esses, destaca-se o óxido nitroso (N₂O), que é um importante gás causador do efeito estufa. Devido sua capacidade de absorver energia, estabilidade na atmosfera e alta capacidade de reagir com a camada de ozônio, esse gás tem sido alvo de pesquisas recentes. No entanto, as pesquisas têm demonstrado resultados divergentes quanto às emissões de N₂O do solo, o que, pode estar associado às metodologias de coleta. Diante da eminente necessidade em mitigar as emissões desse gás para a atmosfera, alguns trabalhos têm sido publicados visando demonstrar os efeitos de diferentes manejos e tecnologias, para melhor entendimento da dinâmica das emissões, e então poder propor formas mitigadoras. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo realizar um compilado dos trabalhos mais recentes sobre as emissões de N₂O em sistemas agrícolas.

PALAVRAS-CHAVE: Óxido nitroso, adubação nitrogenada, sistemas agrícolas.

N₂O EMISSIONS IN AGRICULTURAL SYSTEMS

ABSTRACT

The agricultural systems are responsible for much of the emissions of greenhouse gases (GHGs). Among these, we highlight nitrous oxide (N₂O), which is an important gas causer the greenhouse effect. Because of its ability to absorb energy, atmosphere stability and high capacity to react with the ozone layer, this gas has been the subject of recent research. However, studies have shown conflicting results regarding the emissions of N₂O soil, which may be associated with collection methodology. Faced with the imminent need to mitigate emissions of this gas into the atmosphere, some papers have been published aiming to demonstrate the effects of different management systems and technologies to better understand the dynamics of emissions, and then be able to propose ways mitigation. Thus, this study aimed to perform a compiled the most recent work about N₂O emissions in agricultural systems.

KEYWORDS: Nitrous oxide, nitrogen fertilization, farming systems.

INTRODUÇÃO

O óxido nitroso (N_2O) está entre os três gases de maior importância dentre os causadores do efeito estufa. Apesar de sua baixa concentração na atmosfera, possui alta capacidade de absorver energia ultravioleta e, possui alta estabilidade na atmosfera, sendo considerado muito ativo no processo de aquecimento global (JANTALIA et al., 2006). Possui ainda, alta capacidade de reagir com a camada de ozônio, provocando sua destruição. De acordo com ROBERTSON & GRACE (2004) as concentrações de N_2O na atmosfera vem aumentando significativamente nas últimas décadas, devido principalmente ao maior uso de adubações nitrogenadas, conversão de áreas de floresta em agricultura e pastagem e ao aumento das queimadas.

As atividades agrícolas têm grande participação nas emissões de N_2O para atmosfera, sendo a nitrificação e desnitrificação os principais processos responsáveis pela emissão do solo. Esses processos são altamente dependentes da disponibilidade de oxigênio, umidade, temperatura do solo e do ar e, da disponibilidade de nitrogênio (N). A nitrificação ocorre em condições aeróbicas, e a desnitrificação ocorre em condições inversas, ou seja, em condições de anaerobiose (JANTALIA et al., 2006). Esses mesmos autores ainda ressaltam que a desnitrificação é um processo dependente da disponibilidade de carbono (C) no solo, logo, a presença de matéria orgânica também é importante para sua ocorrência.

O manejo do solo é uma ferramenta importante para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEEs). Estudos têm mostrado que as maiores taxas de emissão de N_2O do solo, têm sido observadas quando há deposição de resíduos com baixa relação C:N, em sistemas perturbados, associado à ocorrência de chuva, e logo após a adubação nitrogenada (JANTALIA et al., 2006).

Uma das maneiras de quantificar as emissões de N_2O das atividades agrícolas para a atmosfera é quantificando o quanto do fertilizante nitrogenado é liberado para atmosfera na forma de N_2O . Esse cálculo é chamado de fator de emissão, e é utilizado para elaboração de inventários nacionais de emissão de gases de efeito estufa (GEEs) (JANTALIA et al., 2006). Atualmente tem-se utilizado um fator de emissão obtido em condições temperadas, e que, não condiz com as condições tropicais. Diante do exposto, vários estudos têm sido realizados, a fim de verificar um fator de emissão mais adequado para as condições brasileiras, visando a elaboração dos inventários da emissão de N_2O de solos agrícolas mais reais e precisos (ALVES et al., 2010).

Tendo em vista que o N utilizado na agricultura corresponde em grande parte da emissão antrópica de N_2O , é de grande valia aprofundar os conhecimentos na dinâmica desse nutriente no sistema solo-planta-atmosfera, para prover com ações mitigadoras, a fim de minimizar os danos causados para a atmosfera, diante do eminente crescimento da emissão desse gás (COSTA et al., 2009).

EMISSÃO DE N_2O EM FUNÇÃO DO MANEJO E CULTURAS

O manejo do solo e das culturas influencia diretamente nas emissões de N_2O em sistemas agrícolas, sendo essas associadas ao tipo de manejo e à composição do material. Alguns trabalhos na literatura têm abordado os fluxos de

emissão de N_2O em função do manejo adotado nos sistemas agrícolas. No trabalho realizado por GOMES et al., (2009), em cultivo de milho com leguminosas, verificou-se que os fluxos de N_2O estão diretamente relacionados aos teores de nitrogênio no material vegetal, ou seja, relação Carbono/Nitrogenio (C/N) presente nas estruturas vegetativas. Segundo esses autores as emissões são maiores em sistemas manejados com culturas leguminosas (<C/N), e que, as emissões são maiores em condições de umidade adequada e elevada temperatura do solo e do ar. Nessas condições há intensa atividade microbológica no solo, acelerando o processo de decomposição da matéria orgânica, afetando conseqüentemente a dinâmica do N. Ainda de acordo com esses autores é necessário maximizar o crescimento das plantas e evitar períodos de pousio, a fim de sincronizar a mineralização e a disponibilidade de N com a capacidade das plantas de absorverem esse nutriente disponível.

Outro aspecto que pode contribuir para a redução nas emissões de N_2O do solo é a adoção de manejos que proporcionam a manutenção da palhada ou das plantas de coberturas sobre a superfície do solo. ZSCHORNACK et al., (2011), verificaram que a incorporação das plantas de cobertura proporcionaram maiores emissões de N_2O comparado ao manejo sem incorporação. Ainda de acordo com esses autores, as emissões desse gás, independem da relação C/N no material vegetal caso o mesmo não seja incorporado. Entretanto, as emissões são bem maiores quando há incorporação de leguminosas comparada às gramíneas.

Adicionalmente, SOUZA et al., (2011), também verificaram aumento nas emissões de N_2O em um Planossolo Hidromórfico Eutrófico arênico após a incorporação dos restos culturais de arroz irrigado. Este aumento se manteve por 160 dias após a colheita da cultura, onde posteriormente se manteve estável, não diferindo dos demais manejos. Possivelmente, o arroz apesar de gramínea, possui metabolismo C3 de fixação do carbono, apresentando baixa relação C/N, o que favorece a decomposição dos restos culturais. Nesse sentido, esses autores constataram que o plantio de azevém após a colheita do arroz reduz as emissões durante a entressafra, apresentando-se como uma boa alternativa para a mitigação na emissão de N_2O nesses sistemas de manejo.

Avaliando ainda a presença de palhada nas emissões de N_2O , CARVALHO et al., (2008), verificaram maiores fluxos de N_2O na presença de cobertura vegetal formada por palhada de braquiárias comparado ao tratamento sem palhada na cultura do feijoeiro comum. Esse fato pode ser justificado pelo favorecimento da decomposição da palhada de braquiária, diante do aumento da disponibilidade de N após a fertirrigação. O aumento da decomposição de resíduos vegetais está associado ao aumento da atividade microbiana, que conseqüentemente aumenta a emissão de gases, inclusive N_2O , justificando a maior emissão nesse tratamento.

Os diferentes tipos de cultivo proporcionam ao solo diferentes condições físicas, afetando a compactação, densidade, porosidade, disponibilidade de oxigênio, carbono, sendo que essas afetam diretamente a emissão de N_2O pelo solo. Outros fatores como, a manutenção na superfície ou a incorporação da palhada, a umidade, e a temperatura do solo, também influenciam nas emissões desse gás, e, são diretamente afetados pelo tipo de manejo do solo. Nesse sentido, ESCOBAR et al., (2008), conduziram um experimento em um Latossolo Vermelho distrófico, nas condições do Sul brasileiro, avaliando o plantio convencional e o

plantio direto sob a palhada de soja e milho, na emissão de N_2O . As maiores emissões foram observadas no tratamento de plantio direto sob a palhada de soja, com os maiores fluxos observados logo após a colheita da cultura (Figura 1). Os autores atribuem esse resultado devido a maior disponibilidade de C lábil, advindos dos restos de nódulos e raízes da soja, que favorecem a atividade das bactérias nitrificadoras e desnitrificadoras, além do material vegetal que foi triturado no momento da colheita, ficando assim, prontamente disponível para a degradação microbiana. O tratamento sob plantio convencional apresentou baixas emissões durante todo o período de amostragem.

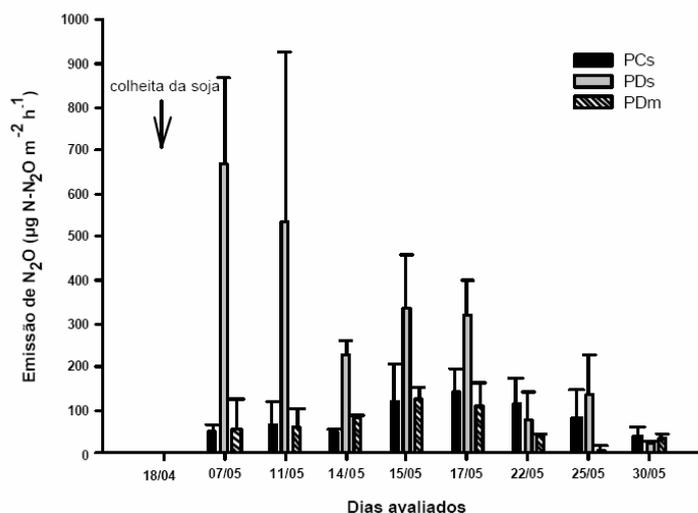


FIGURA 1. Emissões de óxido nitroso (N_2O) de um Latossolo Vermelho no período de outono (07 a 30 de maio) no Sul do Brasil afetada por sistemas de preparo (convencional-PC e plantio direto-PD) sobre resíduos de soja (PCs e PDs) e de milho (PDm), cultivados no sistema de rotação de culturas. As barras verticais representam o desvio padrão da média. (Fonte: ESCOBAR et al., 2008).

Ainda comparando o plantio convencional com o plantio direto, os trabalhos de ALVES et al., (2010) e CARVALHO et al., (2006), compararam os dois sistemas de cultivo nas emissões de N_2O , na cultura do milho. No estudo conduzido por CARVALHO et al., (2006), não foi possível observar diferença significativa entre os tratamentos. Os autores ainda ressaltam que as medidas apresentaram fluxos muito baixos, além de que a variabilidade dos dados obtidos foram muito acentuados. Acredita-se que o tempo de amostragem foi muito curto (cinco dias), não sendo possível observar as reais situações de emissão no decorrer do desenvolvimento da cultura. Já, no trabalho de ALVES et al., (2010), as emissões sob cultivo convencional foram menores que no plantio direto, corroborando com os resultados de ESCOBAR et al., (2008). Os autores ainda ressaltam que os fluxos de N_2O acompanharam as sazonalidades climáticas, efeito esse já esperado, uma vez

que as emissões de N_2O são influenciadas pela temperatura e umidade do solo.

Outro fator importante na emissão de GEEs é a mudança do uso do solo, como a conversão de áreas naturais em pastagem ou em áreas de cultivo de grãos. Nesse contexto, CARDOSO et al., (2001), avaliaram as emissões de N_2O sob diferentes tipos de uso do solo (cerrado preservado, área de cultivo de grãos de soja em rotação com milho e pastagem solteira e consorciada com leguminosa). Os autores verificaram que durante o período de amostragem, em vários momentos as emissões foram muito baixas, exceto nos períodos chuvosos. Em todos os tratamentos houve um aumento das emissões no período chuvoso, decrescendo posterior a esse período. Na área de cerrado foi onde houve menor variação nas emissões (Figura 2). Segundo os autores essa sazonalidade é devido ao favorecimento na nitrificação com o início das chuvas. As áreas de cultivo de soja tiveram a maior emissão seguida das áreas de pastagem.

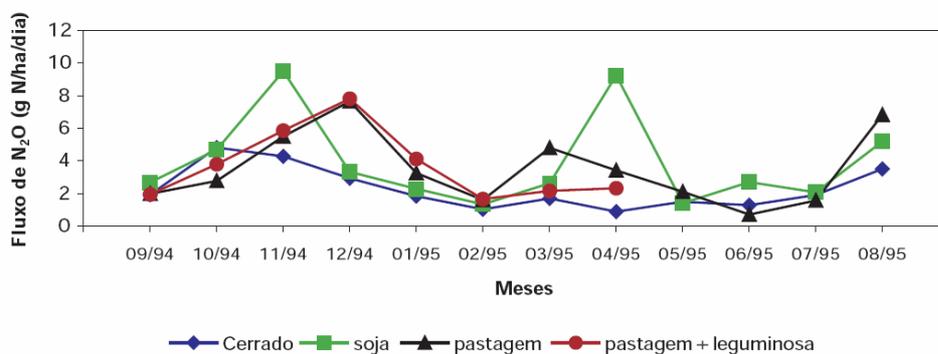


FIGURA 2. Comportamento dos fluxos médios diários de N_2O para cada mês, durante o período estudado. (fonte: CARDOSO et al., 2001).

Resultados semelhantes também foram verificados por ZANATTA et al., (2011) em estudo com diferentes tipos de uso (preparo convencional, plantio direto e integração lavoura pecuária) de um Latossolo Vermelho distrófico. Esses autores verificaram que as emissões permaneceram baixas durante as avaliações, exceto na condição de alta umidade proporcionada pelas intensas chuvas (Figura 3). Esse evento está possivelmente relacionado ao efeito combinado de alta disponibilidade de N e alta umidade, proporcionando o pico das emissões. Nesse estudo, o preparo convencional foi o que proporcionou os maiores picos de emissão.

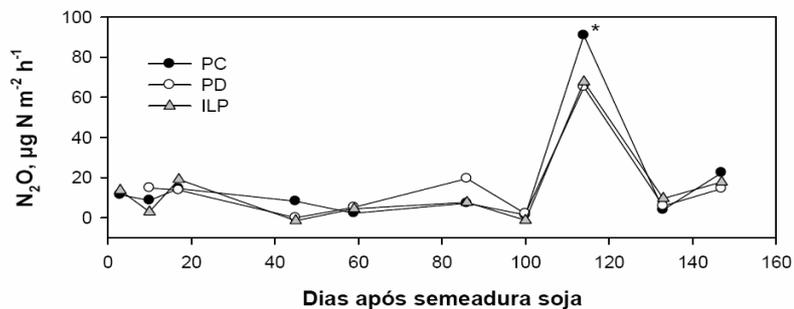


FIGURA 3. Fluxos de N_2O do solo medidos durante o período de desenvolvimento da cultura da soja cultivada sob três sistemas de manejo. PC: Plantio Convencional, PD: Plantio Direto e ILP: Integração Lavoura-Pecuária. *Diferença estatística a 10% pelo teste de Tukey. (fonte: ZANATTA et al., 2011).

Outro aspecto a ser considerado é a cultura. Nesse sentido, a cultura da cana-de-açúcar ocupa grandes extensões de terra em todo país, e, identificar o tipo de manejo do solo que minimize as emissões de N_2O no solo tem grande importância, uma vez que essa cultura que está diretamente ligada à produção de biocombustíveis e que é uma tecnologia que visa à mitigação da emissão de GEEs e a sustentabilidade ambiental. Por se tratar de uma cultura em que o revolvimento do solo é quase que prática comum do ponto de vista operacional, MORO et al., (2011), avaliaram a emissão de N_2O em sistema de preparo convencional, solo escarificado, plantio direto e solo em plantio direto compactado. As maiores emissões foram observadas no plantio direto compactado, seguido do solo escarificado e plantio convencional, tendo esses dois últimos comportamentos estatisticamente semelhantes. Os autores justificam a maior emissão do plantio direto compactado, à maior ocorrência de microporos, podendo ocorrer nessa situação um aumento dos sítios anaeróbicos favorecendo a ocorrência da desnitrificação. Houve redução de 72% e 56% nas emissões de N_2O no sistema de plantio direto comparado ao plantio direto compactado e convencional e escarificado respectivamente.

Trabalhos em diversas áreas e com diferentes culturas, têm sido realizados para contribuir com o conhecimento das reais emissões de N_2O nas diferentes situações da agricultura brasileira, sendo os dados ainda bastante controversos.

MANEJO DE ADUBAÇÃO: DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO NA EMISSÃO DE N_2O

Além do manejo do solo e das culturas, as emissões de N_2O dos solos estão diretamente associadas à disponibilidade de N. Diferentes fontes de adubo nitrogenado possuem diferentes comportamentos no solo, havendo maior ou menor emissão de N_2O , dependendo da fonte. Recentemente, alguns trabalhos têm demonstrado o efeito de doses e fontes de nitrogênio na emissão de N_2O em grandes culturas. BRAGA et al., (2011), verificaram maiores emissões com a aplicação de maiores doses de N (140 kg ha^{-1} de N) e aplicação de vinhaça (Figura 4). Esses autores verificaram que doses abaixo de 120 kg ha^{-1} tiveram emissão de N_2O semelhante à testemunha.

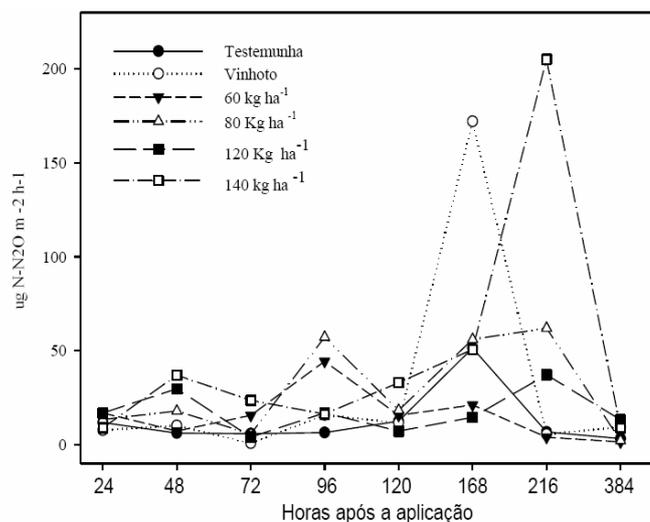


FIGURA 4. Quantidade de N-N₂O emitido do solo em função dos tratamentos. (fonte: BRAGA et al., 2011).

SANT'ANNA et al., (2011), também estudaram o efeito da adubação com ureia e vinhaça na cultura da cana-de-açúcar, na emissão de N₂O. Porém, nesse estudo os autores avaliaram também a presença da palha da cana-de-açúcar. Os fluxos foram baixos em todas as observações. No tratamento sem palha e com aplicação de vinhaça, apresentou fluxo três vezes maior do que a testemunha e o tratamento com ureia. O mesmo não foi observado no tratamento com palha e vinhaça. Logo, a presença da palha, não alterou significativamente as emissões de N₂O, independente do tratamento (ureia ou vinhaça). Os autores atribuem esse efeito ao impedimento físico que a palha pode ter causado na difusão do gás, e que também serviu como impedimento para que a ureia e a vinhaça entrassem em contato com os sítios anaeróbicos do solo. Ainda ressaltam que a presença de palha sobre o solo contribuiu para a manutenção da temperatura mais baixa, podendo ter também contribuído para as menores emissões desse tratamento.

Adicionalmente aos estudos na cultura da cana-de-açúcar, BASTOS et al., (2011), avaliaram diferentes doses de ureia, sob cultivo convencional, nas emissões de N₂O. Os fluxos variaram entre os tratamentos nos primeiros 40 dias após a aplicação do adubo nitrogenado em cobertura. Os autores concluíram que as emissões de N₂O aumentam linearmente, com o aumento das doses utilizadas na adubação de cobertura, e os fatores de emissão para as doses 60 kg de N ha⁻¹ e 100 kg de N ha⁻¹ foram superiores ao sugerido pelo IPCC (Intergovernmental Panel Climate Change) que é de 1%. É necessário que se estabeleça, qual a quantidade de nitrogênio necessária para o pleno desenvolvimento da cultura, e então passar a utilizar doses adequadas, evitando o uso desnecessário de N e conseqüentemente o aumento das emissões de N₂O.

A posição de aplicação do fertilizante nitrogenado também pode influenciar nas emissões de N₂O do solo. No trabalho de FERRÃO et al., (2011), em cana-de-açúcar, a aplicação de fertilizante nitrogenado na linha de plantio proporcionou os maiores fluxos de N₂O comparado à entrelinha. Os autores atribuem esse resultado a maior compactação e densidade da entrelinha, devido à ausência de revolvimento e ao trânsito de máquinas e, ausência de sistema radicular; e na linha tem-se a decomposição de raízes da cana

cortada, e melhores condições para o desenvolvimento de micro-organismos.

Assim como as doses, épocas e formas de aplicação, as fontes de fertilizantes nitrogenados interferem significativamente nas emissões de N_2O do solo. FRACETTO et al., (2011), em estudo a fim de verificarem as emissões de N_2O em diferentes fontes de N (sulfato de amônio, nitrato de amônio; ureia, ureia encapsulada com cobre e boro e ureia com inibidor de uréase), observaram maiores emissões nos tratamentos com nitrato de amônio, ureia e ureia encapsulada (Figura 5). O fator de emissão para esses tratamentos foi de 2% de $N-N_2O$. As menores emissões foram observadas nos tratamentos com sulfato de amônio e ureia com inibidor de uréase, tendo um fator de emissão de 1% de $N-N_2O$.

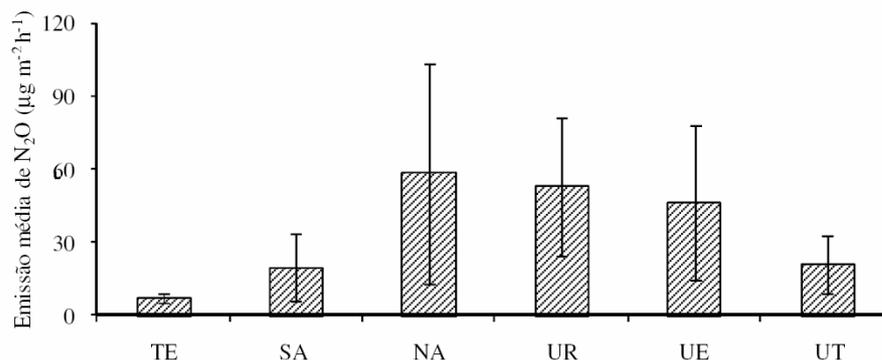


FIGURA 5. Emissões médias de N_2O ($\mu g m^{-2} h^{-1}$) proveniente da aplicação de uma dose equivalente a $100 kg ha^{-1}$ de N na forma de: sulfato de amônio (SA); nitrato de amônio (NA); uréia (UR); uréia encapsulada (UE) e, uréia tratada com inibidor de urease (UT) e o tratamento sem N (TE – testemunha) em laboratório simulando o solo cultivado com cana-de-açúcar. As barras representam a média ($n=6$) \pm erro padrão. (fonte: FRACETTO et al., 2011).

Adicionalmente, CARVALHO et al., (2010), verificaram que as emissões nas culturas do milho e feijão em sistema de plantio direto foram maiores quando se utilizou ureia como fonte de N comparado a nitrato e sulfato de amônio.

Além da cultura da cana-de-açúcar, outras culturas como arroz, milho e feijão exigem grandes quantidades de adubo nitrogenado. A demanda aumenta com a demanda na produção, logo, com a agricultura intensiva espera-se um aumento nas emissões de N_2O para a atmosfera, em função do aumento do uso de fertilizantes nitrogenados. Seguindo essa linha de pensamento diversos trabalhos têm avaliado as emissões nessas culturas. Em estudo realizado por ALVES et al., (2010), na cultura de milho, sob preparo convencional e plantio direto, observaram aumento linear na emissão de N_2O com o aumento das doses de ureia. As perdas de N na forma de N_2O foram de: 0,05%, 0,32% e 0,44%, para as doses $50 kg ha^{-1}$, $100 kg ha^{-1}$ e $150 kg ha^{-1}$ de N respectivamente. Os autores também constataram nesse estudo uma menor emissão nos tratamentos sob cultivo convencional comparado ao plantio direto.

Em outro trabalho realizado por ALVES et al., (2010), foi possível verificar na cultura de capim-elefante que as porcentagens de N emitidas na forma de N_2O

foram de 0,18%, 0,22%, 0,22% e 0,37% para as doses 40 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹, 120 kg ha⁻¹ e 160 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

FERTILIZAÇÃO COM DEJETOS DE ANIMAIS E A EMISSÃO DE N₂O

Muitos trabalhos têm evidenciado o uso de dejetos na agricultura, todavia ainda são escassos e recentes os dados sobre as emissões de N₂O advindas desse material. Os dejetos de animais normalmente são ricos em nutrientes, inclusive de N, podendo ser uma fonte de emissão de N₂O para a atmosfera. É comum a utilização desse material em agricultura orgânica, ou em propriedades agropecuárias próximas a criadouros de animais. Em pastagens tem-se a deposição de dejetos de animais (fezes e urina), durante todo o tempo de pastejo. Considerando que as pastagens ainda ocupam grande parte do território brasileiro, e que, com o sistema de integração lavoura-pecuária a tendência é de crescimento desse sistema, torna-se cada vez mais importante a investigação da contribuição nas emissões de N₂O pela deposição de dejetos animais no solo.

Nesse sentido COUTO et al., (2009) avaliaram a emissão de N₂O com a adição de fezes e urina de gado leiteiro, em duas situações: pastagem de braquiária roçada (área vegetada) e, totalmente revolvida incorporada ao solo (área de solo nu). Os autores constataram que a presença ou a ausência de vegetação não influenciou na emissão de N₂O, e que, a urina é fonte mais importante de emissão na pastagem, quando comparado com as fezes em condições de chuvas de pouca intensidade. Os autores atribuem esse efeito à alta concentração de N na forma solúvel na urina. Ressaltam ainda que a liberação de N pelas fezes é um processo lento, não ultrapassando de 5% do valor total contido nesse material. Resultados semelhantes foram observados por LESSA et al., (2010), que também verificaram maior emissão de N₂O oriundas de urina, comparado às fezes.

O mesmo comportamento foi constatado por SORDI et al., (2011), que também verificaram maior emissão de N₂O no tratamento com urina quando comparado com as fezes, os autores ainda observaram emissões altas até o 23º dia após a aplicação dos tratamentos. O fator de emissão da urina foi de 1,54% de N-N₂O, e do esterco de 0,46% de N-N₂O. Os autores atribuem o maior fator de emissão da urina devido às formas de N de cada um, sendo N-protéico no esterco e N-uréia na urina.

Já em trabalho com a aplicação de dejetos em culturas, SCHIRMANN et al., (2011), avaliaram durante 62 dias, o efeito da aplicação de dejetos de suínos de forma única ou parcelada, na emissão de N₂O, na cultura de milho. Os autores verificaram aumento das emissões de N₂O nos tratamentos que receberam adubação logo na primeira amostragem. O efeito da aplicação dos dejetos foi observado até o 40º dia. A aplicação parcelada não diferiu da aplicação de dose única, quando comparada aos valores totais de emissão (Figura 6). De acordo com os autores, as emissões nos tratamentos com aplicação parcelada foram beneficiadas pela maior ocorrência de chuvas na segunda aplicação. Logo, para essas condições experimentais a aplicação parcelada ou em dose única não difere quanto às emissões de N₂O.

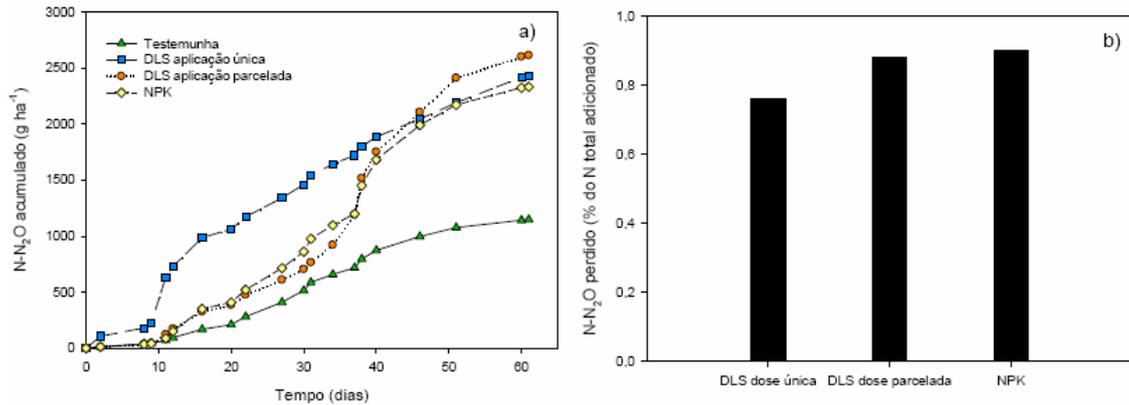


FIGURA 6. Emissão acumulada de N-N₂O (a) e porcentagem do N-N₂O perdido em relação ao N total adicionado (b). (fonte: SCHIRMANN et al., 2011).

UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS CONDICIONANTES PARA MITIGAÇÃO DA EMISSÃO DE N₂O

Novas tecnologias vêm sendo testadas, na tentativa de encontrar mecanismos eficientes para minimização das emissões de N₂O provenientes da ação antrópica, sem causar outros danos ao meio ambiente. Nesse sentido o biocarvão aparece como alternativa para a mitigação de N₂O. Oriundo da carbonização parcial da madeira ou de compostos vegetais carbonizados em ambiente com temperatura e concentrações de O₂ controladas, esses materiais apresentam alta superfície específica, alta porosidade e uma grande quantidade de sítios ativos, podendo garantir a esse material mitigar as emissões de N₂O, principalmente as emissões oriundas das adubações nitrogenadas (PETTER, 2010).

Os resultados ainda são escassos e muito divergentes quanto à capacidade do biocarvão em mitigar as emissões de N₂O. Enquanto que FREITAS et al., (2011), verificaram maior emissão em solos com a aplicação de biocarvão e N, ALHO et al., (2012), verificaram que a aplicação de biocarvão apresentou potencial mitigador na emissão de N₂O, com valores de emissão 29% e 49% menores do que o controle (tratamento sem a aplicação do carvão) (Figura 7). Em ambos os trabalhos, os autores verificaram efeitos positivos da aplicação de biocarvão na produtividade das culturas. Para ALHO et al., (2012), o efeito do biocarvão pode estar associado à capacidade do carvão de criar condições que aumentem os processos de desnitrificação no solo.

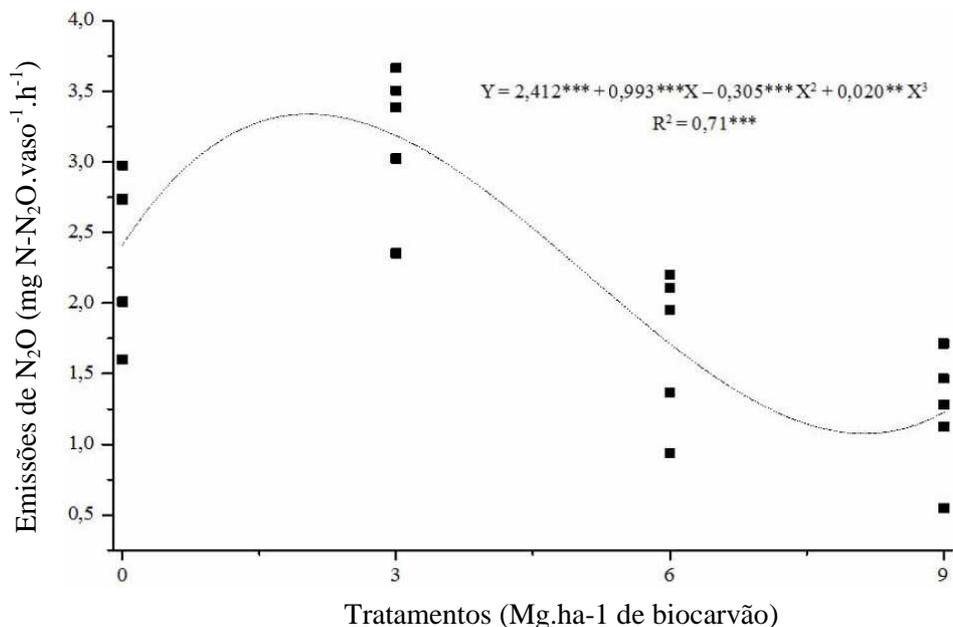


FIGURA 7. Emissões de N₂O em função dos tratamentos, sendo ** significativa a 1% e *** significativa a 0,1%. (fonte: ALHO et al., 2012).

Outros estudos têm sido conduzidos com os inibidores da nitrificação. Os inibidores de nitrificação é uma tecnologia também que pode mitigar as emissões de N₂O para a atmosfera, por diminuir a ação das bactérias nitrificantes do solo. Como reportado anteriormente, as emissões de N₂O do solo é altamente dependente do processo de nitrificação. Entretanto, há ainda uma grande necessidade de testar essa tecnologia disponível em diferentes condições, para avaliar sua eficiência na redução da emissão de N₂O. Nesse sentido VARGAS et al., (2012), em condição de laboratório, avaliou as emissões no uso de inibidor de nitrificação (Dicianodiamida - DCD), em um solo com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar e adubação nitrogenada. Foi observado um incremento na emissão na maior dose de palha quando houve aplicação de nitrogênio sem a DCD (Figura 8). Os autores ainda relatam que a emissão de N₂O foi significativamente e positivamente correlacionada com a quantidade de carbono orgânico dissolvido (COD). A utilização de DCD proporcionou a redução de até 74% das emissões, para o tratamento com maior quantidade de palha de cana-de-açúcar.

Adicionalmente, MIOLA et al., (2011), visaram avaliar a eficiência de um produto comercial contendo 81% do inibidor de nitrificação, a dicianodiamida (DCD), aplicado juntamente com dejetos líquidos de suínos (DLS). Os dejetos foram aplicados em parcelas já semeadas com milho, e os tratamentos foram: DLS; Palha de aveia preta; DLS+palha de aveia preta; DLS+palha de aveia preta+DCD. As maiores emissões foram observadas quando foi aplicado o DLS juntamente com a aveia preta (Figura 9). Devido à ausência de chuvas, as emissões foram quase zero, 98 horas após o início do experimento. O efeito do produto contendo DCD foi observado apenas na quarta e na quinta coleta, e as emissões totais desse tratamento, ao contrário do observado no trabalho anteriormente citado de VARGAS et al., (2012), não diferiram significativamente do tratamento sem a adição da DCD.

Logo, a aplicação de DLS juntamente com a palhada de aveia preta estimula a emissão de N_2O , e a utilização do produto contendo DCD juntamente com DLS, não foi eficiente para minimizar as emissões.

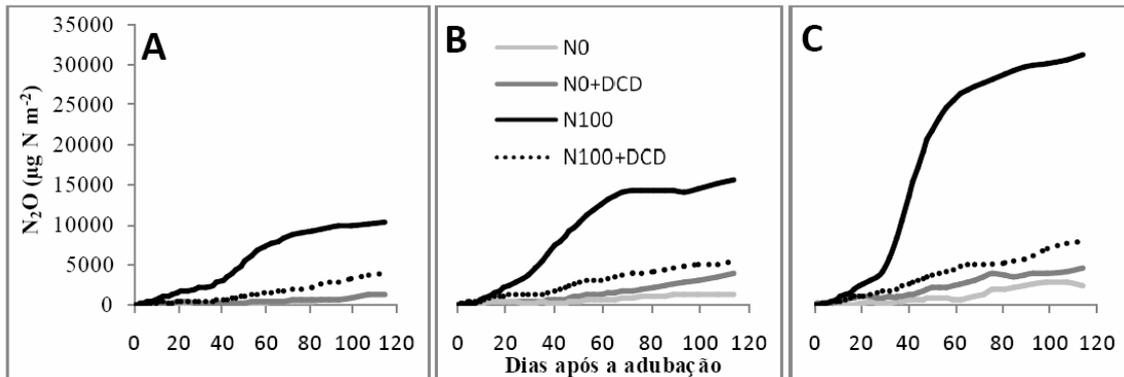


FIGURA 8. Emissão cumulativa de N_2O após 120 dias a partir de um solo incubado com três doses de palha de cana-de-açúcar e em função da aplicação de N e dicianodiamida. A: sem palha sobre a superfície do solo. B: 8 Mg palha ha^{-1} ; C: 16 Mg palha ha^{-1} . Os tratamentos N0, N0 + DCD, N100 e N100 + DCD correspondem, respectivamente, dose 0 kg de N ha^{-1} , dose 0 kg de N ha^{-1} com aplicação de DCD, dose 100 kg de N ha^{-1} (N100) e dose 100 kg de N ha^{-1} com aplicação de DCD. (fonte: VARGAS et al., 2012).

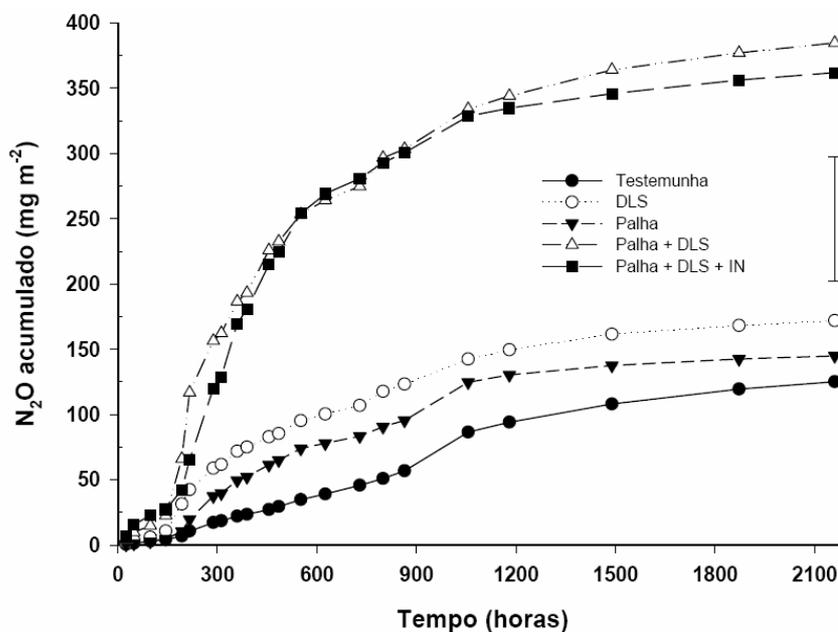


FIGURA 9. Emissão acumulada de N_2O após aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) com e sem adição de inibidor de nitrificação (IN) Agrotain Plus. Barras verticais indicam diferença mínima significativa (DMS) (Tukey 5%). (fonte: MIOLA et al., 2011).

MANEJOS DE IRRIGAÇÃO E A EMISSÃO DE N₂O

Diversos trabalhos citados anteriormente relatam a importância da umidade do solo na emissão de N₂O. Diante disso, a variação de métodos de irrigação podem influenciar na quantidade de água no solo, e conseqüentemente na dinâmica de nitrificação e desnitrificação do solo, podendo assim, influenciar diretamente nas emissões de N₂O do solo. Trabalhos como o de BUSS et al., (2012) têm mostrado esse efeito. De acordo com esses autores, o sistema por aspersão potencializa as emissões de N₂O, comparado com o sistema de inundaçãO. O sistema de irrigação por inundaçãO proporciona ambiente anaeróbico, o que desfavorece a nitrificação e conseqüentemente a emissão de N₂O. No mesmo contexto, SCIVITTARO et al., (2012), avaliaram a emissão de N₂O em dois tratamentos de irrigação (irrigação por inundaçãO contínua e intermitente). No tratamento de irrigação contínua a emissão de N₂O foi praticamente nula, já a irrigação intermitente a interrupçãO da irrigação proporciona condições de aeraçãO do solo, favorecendo os processos de desnitrificaçãO e conseqüente liberaçãO de N₂O na atmosfera (Figura 10). Logo, o manejo de irrigação por inundaçãO intermitente potencializa as emissões de N₂O, comparado com a irrigação por inundaçãO contínua.

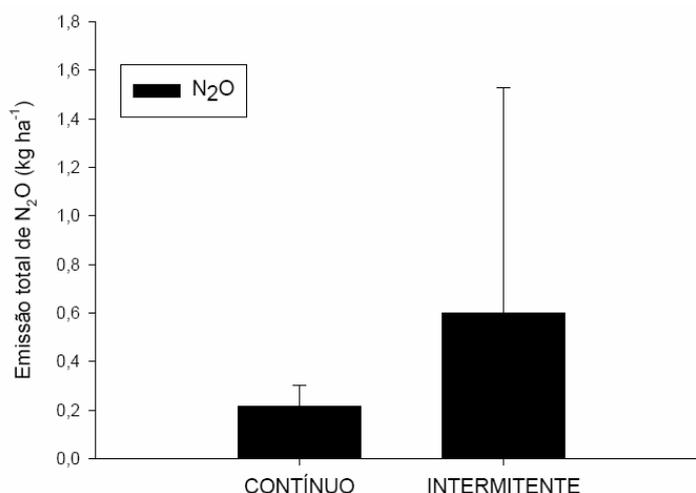


FIGURA 10. Emissão total de N₂O em Planossolo cultivado com arroz irrigado por inundaçãO contínua e intermitente. Barras verticais representam o desvio padrão da média. (fonte: SCIVITTARO et al., 2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados de pesquisa, pode-se considerar que as emissões de solos agrícolas, apesar da grande gama de estudos ainda é uma incógnita, visto que, ainda há grandes contradições, e que nem todos os sistemas agrícolas foram verificados. Fica evidente que as emissões de N₂O são muito

variáveis de acordo com as condições climáticas, manejo do solo, sistemas de cultivo, culturas, fertilização nitrogenada (fontes e doses) aumentando assim a variabilidade entre os estudos.

As novas tecnologias que vêm sendo estudadas, ainda apresentam resultados com muita variabilidade, o que torna os dados de mitigação das emissões de N₂O ainda pouco confiáveis. Nesse sentido, torna-se necessário maior investimento em novas tecnologias, estudos visando opções de manejo, adubação e culturas capazes de minimizar as emissões de N₂O, e quanto às metodologias de medições a campo, estabelecendo-se protocolos que tenham representatividade nas amostragens em solos de clima tropical.

REFERÊNCIAS

ALHO, C. F. B. V.; CARDOSO, A. da S.; ALVES, B. J. R.; NOVOTNY, E. H. Biochar and soil nitrous oxide emissions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 5, p. 722-725, mai/2012.

ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; FRANCHINI, J. C.; SANTOS, H. P. dos; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Emissões de óxido nitroso de solos pelo uso de fertilizantes nitrogenados em áreas agrícolas. **Comunicado técnico**, 126, Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. 6 p.

BASTOS, L. M.; MORO, V. J.; LUDKE, W. H.; SCHMATZ, R.; BINOTTO, I.; PILECCO, G. E.; GIACOMINI, S. J. Emissão de óxido nitroso afetada por diferentes doses de nitrogênio em cobertura na cultura da cana-de-açúcar In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

BRAGA, D. M. ; COSTA, M.K.L. ; PONTES, T.L. ; ALVES, B.J.R. ; SHIGAKI, F. . Volatilização de Amônia e Emissão de Óxido Nitroso em Função da Adubação com Uréia e Vinhoto em Cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

BUSS, G. L.; SONCINI, M. M.; SEHN, C. F. S.; ROSA, C. M. da.; SCIVITTARO, W. B.; SAOUSA, R. O de. Influência de sistemas de irrigação sobre a emissão de metano e de óxido nitroso em solo cultivado com arroz. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA CLIMA TEMPERADO, 4., 2012, Pelotas. **Ciência e inovação para 2050: qual o futuro que queremos? Resumos e palestras**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 1 CD-ROM.

CARDOSO, A. N.; SAMINEZ, T. C.; VARGAS, M. A. Fluxo de gases-traco de efeito estufa na interface solo/atmosfera em solos de cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 17, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 23 p.

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

CARVALHO, M. T. de M.; MADARI, B. E.; ALVES, B. J. R.; LEAL, W. G. O.; LANNA, A. C.; MOREIRA, J. A. A.; MACHADO, P. L. O. de A.; COSTA, A. R. da; SILVA, J. H. da; SOUZA, D. M. de. Emissão de N₂O e volatilização de NH₃ em sistema de produção de feijoeiro comum irrigado em Latossolo no Cerrado. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, 32, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 23 p.

CARVALHO, A. M. de; ALVES, B. J. R.; PEREIRA, L. L. Emissão de óxido nitroso do solo com aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em sistema de plantio direto no Cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 281, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 14 p.

COSTA, A. R.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. M.; MACHADO, P. L. O. M.; BERNADES, T. G.; SILVEIRA, P. M. Uso do nitrogênio na agricultura e suas implicações na emissão de gás do efeito estufa óxido nitroso (N₂O). **Documentos** 249, Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2009, 47 p.

COUTO, F. A.; RODRIGUES, A. S. F.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; ALVES, B. J. R. Emissões de óxido nitroso derivadas de excretas bovinas em Argissolo de Seropédica, RJ. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 51, Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2009. 19 p.

ESCOBAR, L. F.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CHÁVEZ, L. F.; ZANATTA, J. A.; FIORIN, J. Emissões de curto prazo de óxido nitroso em sistemas de manejo do solo no Rio Grande do Sul. In: XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2008, Rio de Janeiro. **XVII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água: anais**, 2008.

FERRÃO, G. DA E.; ROCHA, J. A. B.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; SIQUEIRA NETO, M. Emissões de N₂O na cana-de-açúcar em função da distância de aplicação do fertilizante nitrogenado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

FRACETTO, F. C.; ROCHA, J. A. B.; FERRÃO, G. E.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; SIQUEIRA NETO, M. Emissões de N₂O do fertilizante nitrogenado na cana-de-açúcar (incubações em laboratório). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

FREITAS, F. C.; GONÇALVES, L. G. V.; MORAIS, L. A.; CARVALHO, M. T. de M.; PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; MATSUSHIGE, I.; LEAL, W. G. de O.; SANTOS, R. C. G. dos. Effect of biochar and nitrogen management on nitrous oxide emissions
ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 1012 2013

in the Brazilian savanna (cerrado). In: SEMINÁRIO JOVENS TALENTOS, 5., 2011, Santo Antônio de Goiás. **Resumos apresentados**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2011. p. 45.

GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F. de S.; PICCOLO, M. de C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; SIX, J. Soilnitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. **Soil & Tillage Research**, v. 106, n. 1, p. 36-44, 2009.

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

LESSA, A. C. da R.; SILVA, E. B.; PAREDES, D. da S.; OTONI, R. de F.; SAMPAIO, G. de C.; MADARI, B. E.; ALVES, B. J. R. Emissões de N₂O e volatilização de NH₃ de excretas bovinas em latossolo sob pastagem no Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8., 2010, Guarapari. **Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro: anais**. Viçosa, MG: SBCS, 2010. 1 CD-ROM.

MIOLA, E. C. C.; AITA, C. ; DONEDA, A.; DESSBESELL, A.; BLASI, A. V.; ALMEIDA, T. C. DE; GIACOMINI, D. A.; OLIVEIRA P. D. Emissão de óxido nitroso após aplicação ao solo de dejetos de suínos e inibidor de nitrificação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

MORO, V. J.; FREITAS, L. L. DE; SKOLAUDE, A. C.; DIETRICH, G.; LEÃO, R.; VENDRUSCOLO, V. B.; GIACOMINI, S. J. Emissão de óxido nitroso na cultura da cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de preparo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

PETTER, F. A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agrônômicos e ambientais do seu uso em solos de cerrado**. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

ROBERTSON, G. P.; GRACE, P. R. Greenhouse gas gasses in tropical and temperate agriculture: the need for a full cost accounting of global warming potentials. **Environment, Development and Sustainability**, v. 6, p. 51-63, 2004.

ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 1013 2013

SANT'ANNA, S. A. A. DE; ZUCHELLO, F.; BOLONHEZI, D.; ALVES, B. J. R. Fluxos de N₂O e CH₄ do solo em área de cana-de-açúcar após a aplicação de ureia e vinhaça. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

SCIVITTARO, W. B.; BUSS, G. L.; SOUSA, R. O. de.; BAYER, C.; ROSA, C. M. da.; WOLTER, R. C. D.; SEHN, C. F. S.; SONCINI, M. M. Emissões de metano e óxido nitroso em um Planossolo cultivado com arroz sob alagamento contínuo e intermitente. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 30.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 14.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 12.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 9., SIMPÓSIO SOBRE SELÊNIO NO BRASIL. Maceio. **A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola: resumos**, Vicoça: SBCS, p. 1-4, 2012.

SCHIRMANN, J.; AITA, C.; GIACOMINI, D. A.; OLIVEIRA, P. D. DE; SOARES, E. M.; OLIVO, J.; ALMEIDA, T. C. DE; DESSBESELL, A. Emissão de óxido nitroso após aplicação de dejetos líquidos de suínos em dose única e parcelada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

SOUZA, E. L. DE; DIETRICH, G.; LEÃO, R.; PILECCO, G. E.; VENDRUSCOLO, V. B.; MARCHESAN, E.; GIACOMINI, S. J. Emissão de óxido nitroso na entressafra da cultura do arroz irrigado afetada por sistemas de manejo da palha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

SORDI, A.; DIECKOW, J.; PIVA, J. T.; ALBUQUERQUE, M. A.; BAYER, C.; TOMAZI, M. Emissão de óxido nitroso a partir de urina e esterco de bovinos em pastagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

VARGAS, V. P.; CANTARELLA, H.; MARTINS, A. A.; SOARES, J. R.; SOUZA, R. M. de; HACKBARTH, C.; ANDRADE, C. A. de. Dicianodiamida (DCD) diminui emissão de N₂O de solo incubado com diferentes níveis de palha de cana-de-açúcar e N mineral. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 30.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 14.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 12.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 9.; SIMPÓSIO SOBRE SELÊNIO NO BRASIL, 1., 2012, Maceió. **A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola: anais**. Viçosa, MG: SBCS, 2012. 1 CD-ROM.

ZANATTA, J. A.; SALTON, J. C.; BAYER, C.; TOMAZI, M.; COLMAN, I.; LOPEZ, **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 1014 2013

A. Emissão de óxido nitroso em sistema de manejo para produção de soja em Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. Uberlândia: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

ZSCHORNACK, T.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; ANGHINONI, I. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from flood-irrigated rice by no incorporation of winter crop residues into the soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 2, p. 623-634, Mar./Apr. 2011.