

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**VARIAÇÃO DIURNA DA EMISSÃO DE N₂O EM DIFERENTES USOS DO
SOLO**

ANDREA BERTOZZO ALMEIDA GONÇALVES

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri

Coorientador: Dr. Abmael da Silva Cardoso

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

VARIAÇÃO DIURNA DA EMISSÃO DE N₂O EM DIFERENTES USOS DO SOLO

ANDREA BERTOZZO ALMEIDA GONÇALVES

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri

Coorientador: Dr. Abmael da Silva Cardoso

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal, para graduação em ZOOTECNIA.

Jaboticabal - SP

2º Semestre/2024

G635v Gonçalves, Andrea Bertozzo Almeida
Variação diurna da emissão de N₂O em diferentes usos do solo /
Andrea Bertozzo Almeida Gonçalves. -- Jaboticabal, 2024
35 f. : tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Zootecnia) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Dra. Ana Cláudia Ruggieri
Coorientador: Dr. Abmael da Silva Cardoso

1. Óxido nitroso. 2. Gases estufa. 3. Solo uso. I. Título.

ANDREA BERTOZZO ALMEIDA GONÇALVES

VARIAÇÃO DIURNA DA EMISSÃO DE N₂O EM DIFERENTES USOS DO SOLO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri

Coorientador: Dr. Abmael da Silva Cardoso

Área de Concentração:

Data da defesa: 30/10/2024

(x) Aprovado

() Reprovado

Banca Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
ABMAEL DA SILVA CARDOSO
Data: 12/11/2024 01:01:36-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. Abmael da Silva Cardoso (Presidente)

UW – University of Wisconsin – Madison

 Documento assinado digitalmente
FRANCISCO PAULO AMARAL JUNIOR
Data: 06/11/2024 14:19:08-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Me. Francisco Paulo Amaral Junior (Membro)

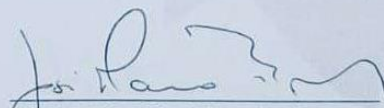
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

 Documento assinado digitalmente
GILMAR COTRIN DE LIMA
Data: 12/11/2024 15:35:21-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. Gilmar Cotrin de Lima (Membro)

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: / /


Prof. Dr. José Maurício Barbanti Duarte
Chefe do Departamento

Oferecimentos

*Aos meus filhos João Mário e Pedro
Henrique e ao meu marido Mário,
pelo incentivo, pelo amor e pela ajuda
constante.*

Agradecimentos

Agradeço à minha orientadora profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri, por todo apoio e orientação. Ao meu coorientador, prof. Dr. Abmael da Silva Cardoso pelo apoio e dedicação ao meu trabalho e a todos os professores, meu sincero agradecimento!

Agradeço ao meu pai por me ensinar o valor dos estudos, aos meus familiares, que me apoiaram quando da decisão de iniciar um curso aos 46 anos de idade. Foi fundamental, nesta decisão, o incentivo do meu marido, Mário, dos meus filhos, João Mario e Pedro Henrique, meu filho mais novo, que foi meu maior incentivador, pois frequentamos juntos a faculdade, onde ele cursava agronomia. Foi uma experiência maravilhosa! Agradeço a todos os meus amigos de turma, especialmente a Jussara, Bruno, Larissa e Isabella, pelo apoio, pelos ensinamentos, pelo carinho e respeito que sempre tiveram por mim. Amo vocês! Enfim, obrigada a todos que passaram por mim neste período, onde aprendi tanto, não só com o curso, mas com as pessoas maravilhosas que me cercaram!

“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade!”

Albert Einstein

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1 Formação de Óxido Nitroso	6
2.2 Emissão de N ₂ O em áreas agricultáveis e pecuária.....	9
2.3 Emissão de N ₂ O em áreas de floresta.....	11
2.4 Meios de mitigação do Óxido Nitroso	12
3. OBJETIVO	14
4.1 Caracterização do local de origem dos dados	14
4.2 Delineamento experimental e tratamentos do experimento	15
4.3 Amostragem e análise	15
4.4 Análise estatística.....	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5.1 Floresta.....	18
5.2 Milho	20
5.3 Pasto.....	21
6. CONCLUSÃO	22
7. REFERÊNCIAS	23

Variação diurna da emissão de N₂O em diferentes usos de solo.

RESUMO: O experimento foi conduzido entre os dias 02 e 06 de Fevereiro de 2021, no setor de Forragicultura e Pastagem da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil. A preocupação crescente com a emissão de gases de efeito estufa (GEE), que causam o aquecimento global e provocam as mudanças climáticas, tem gerado interesse por estudos que visam quantificar essas emissões. O objetivo do presente estudo foi avaliar a variação da emissão do óxido nitroso (N₂O) durante o dia, em três diferentes usos de solo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 5 repetições. Os tratamentos principais foram 3 tipos de uso da terra: floresta, lavoura e pastagem. Os tratamentos secundários foram os horários do dia: 00h00, 03h00, 06h00, 09h00, 12h00, 15h00, 18h00, 21h00. A emissão dos gases foi quantificada durante 5 dias consecutivos em cada avaliação. A metodologia de determinação dos gases foi a da câmara estática e quantificação por cromatografia gasosa. Foi observado variações entre os três usos do solo, sendo verificado influência da temperatura na emissão de N₂O na pastagem e plantação de milho, que tiveram maior média diária de emissão em horários de temperatura mais elevada. Na área de floresta, com maiores médias de emissão diária, o que determinou a variação da emissão foi a umidade do solo. As análises de regressão entre o fluxo médio diário (variável dependente) e os fluxos medidos ao longo do dia (variável independente), determinaram que os melhores horários para coleta de dados ocorreram entre 07h00 e 11h00 e das 16h00 às 21h00.

Palavras-chave: emissão de gases, efeito estufa, óxido nitroso, pastagens, agricultura, floresta.

Diurnal variation of N₂O emissions in different land uses.

ABSTRACT: The experiment was conducted between February 2nd and 6th, 2021, at the Forage and Pasture Sector of the São Paulo State University "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal campus, São Paulo, Brazil. The growing concern over greenhouse gas (GHG) emissions, which contribute to global warming and climate change, has generated interest in studies aimed at quantifying these emissions. The objective of the present study was to evaluate the variation in nitrous oxide (N₂O) emissions throughout the day in three different land uses. The experimental design was completely randomized, with 5 replications. The main treatments were three land use types: forest, cropland, and pasture. The secondary treatments were time of day: 00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, and 21:00. Gas emissions were quantified over 5 consecutive days for each evaluation. The gas determination method used was static chambers and gas chromatography for quantification. Variations were observed among the three land uses, with temperature influencing N₂O emissions in pasture and maize fields, which showed higher daily average emissions at times of higher temperatures. In the forest area, where the highest daily emission averages were observed, soil moisture was the determining factor for emission variation. Regression analysis between the daily mean flux (dependent variable) and the fluxes measured throughout the day (independent variable) showed that the best times for data collection were between 07:00 and 11:00 and from 16:00 to 21:00.

Keywords: gas emissions, greenhouse effect, nitrous oxide, pastures, agriculture, forest.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura teve início a cerca de 10.000 anos a. C., quando a população era de pouco mais de 1 milhão de pessoas (MAZOYER *et al.*, 2010). Nos tempos atuais, a população é em torno de 7,6 bilhões de habitantes (ONU, 2019), e com isso traz uma preocupação muito grande com a produção de alimentos, e, também, a pergunta de como produzir alimentos de forma sustentável, mitigando as mudanças do clima. As facilidades da vida moderna trouxeram como problema as emissões de gases do efeito estufa (GEE), que ocorrem em vários setores, de diferentes atividades.

No Brasil, a maior parcela das emissões provém das atividades agropecuárias. Ao considerarmos o tamanho do rebanho nacional com cerca de 172 milhões de cabeças de gado, e mais de 160 milhões de hectares de pastagem (IBGE, 2017), temos que a agropecuária contribui com 35% das emissões de GEE, onde 18% das emissões são oriundas do N_2O (óxido nitroso), através de emissões diretas e indiretas, como a fertilização nitrogenada e as excretas dos animais (fezes e urina) liberados nas pastagens (CARDOSO *et al.*, 2001). De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas (IPCC), as excretas somam 2% das emissões N_2O e a fertilização, ou decomposição de resíduos vegetais, 1% (IPCC, 2007).

O N_2O é considerado um dos principais gases do efeito estufa, e sua capacidade de reter calor na atmosfera é, aproximadamente, 300 vezes maior que do CO_2 . É, também, um dos responsáveis pela destruição da camada de ozônio. As concentrações deste gás têm aumentado principalmente em função da utilização de fertilizante nitrogenados, que apresentam três formas básicas de nitrogênio: amida, amônio e nitrato, à queima de biomassa, ao desmatamento e às emissões de combustíveis fósseis.

Apesar de se perceber a importância do N na emissão do N_2O , estudos se fazem necessário, pois muitas dúvidas ainda existem, já que há diferenças em emissões com diferentes fontes de N, diferentes respostas onde N é aplicado em culturas diversas, onde o teor de matéria orgânica existente no solo estudado e a interação entre todos os nutrientes também podem apresentar resultados diferentes (SIGNOR, 2013).

Para a correta estimativa de emissões de GEE é necessário conhecer o fluxo médio diário que corresponde ao momento ideal para amostragem dos gases. Em função de limitações metodológicas, de custo ou mão de obra, se opta, geralmente, por amostrar uma vez ao dia, neste horário que melhor representa o fluxo médio. No entanto, estudos recentes (REEVES, 2015; RIVERA *et al.*, 2018) demonstraram variações no horário que ocorre o fluxo médio diário, diferindo do encontrado por Alves *et al.*, (2012) que foi entre 9 e 10h da manhã.

A coleta de dados em vários horários ao longo do dia é crucial para compreender com maior precisão o comportamento dos fluxos de GEE, como o óxido nitroso (N_2O), e para estimativas mais realistas das emissões diárias. A variação diurna desses fluxos pode ser influenciada por diversos fatores ambientais, como temperatura, umidade do solo, radiação solar e atividade biológica no solo, que podem mudar significativamente ao longo do dia. Os fluxos podem ser mais altos em horários de maior temperatura ou maior umidade, ou ainda em períodos de baixa atividade microbiana no solo. Esses padrões diurnos de emissão, se não forem devidamente considerados, podem levar a subestimações ou superestimações das emissões médias diárias, caso apenas uma amostra por dia seja coletada.

A coleta de dados em vários horários ao longo do dia ajuda a capturar a variabilidade temporal dos fluxos de GEE, fornecendo uma estimativa mais precisa e confiável da emissão diária total. Estudos como o de Reeves (2015) e Rivera *et al.* (2018) indicam que o fluxo médio diário pode ocorrer em momentos diferentes do dia, dependendo do local e das condições ambientais. Em função disso, amostrar apenas uma vez por dia pode não refletir adequadamente o padrão de emissão ao longo de 24 horas, gerando estimativas distorcidas.

Coletar dados em vários horários do dia é uma prática importante para a quantificação precisa das emissões de N_2O e de outros GEE. Isso permite entender as variações temporais no comportamento dos fluxos, aumentando a representatividade das estimativas de emissões diárias. Além disso, fornece informações valiosas sobre como as condições ambientais e os diferentes usos do solo influenciam as emissões, o que é essencial para se formular estratégias de mitigação mais eficazes e para a implementação de políticas ambientais mais adequadas.

Segundo Yang *et al.*, (2018) a variação diurna da temperatura no interior da floresta é diferente das de áreas com pastagens ou agricultura, justificando a investigação da variação diurna da emissão dos gases em diferentes sistemas de uso da terra. Este estudo buscou avaliar e quantificar as variações de emissão do N_2O durante o dia, fazendo medições de 3 em 3 horas, durante 5 dias em áreas de pastagem, floresta e agricultura.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Formação de Óxido Nitroso

A emissão de N_2O na atmosfera tem se tornado um tema de crescente preocupação devido ao seu potencial como um dos principais gases de efeito estufa. Nesta revisão bibliográfica, serão exploradas as principais causas da emissão de N_2O na atmosfera, como se dá sua emissão, bem como as medidas de mitigação propostas pela literatura científica.

O N_2O foi descoberto no ano de 1772 pelo inglês Joseph Priestley, que utilizava esse composto, junto com outros gases, para tentar curar algumas doenças, como problemas do sistema gástrico até tuberculose (ATKINS et al, 2006). Alguns anos depois, em 1844, o dentista americano Horace Wells começou a aplicar esse gás como anestésico, após observar que, durante uma festa, alguns convidados haviam inalado o óxido nitroso e não sentiram dor ao se machucarem.

O N_2O é um gás incolor, não inflamável, de odor agradável, atóxico, com baixos pontos de fusão e ebulição e baixa solubilidade. Ele pode ser produzido naturalmente pelas florestas e oceanos. Seu processo de emissão ocorre durante a desnitrificação do ciclo do nitrogênio. O nitrogênio (N_2) da atmosfera é capturado, através do processo de nitrificação, gerando nitratos. E, por meio do processo de desnitrificação, os microrganismos presentes no solo podem transformar os nitratos em nitrogênio gasoso (N_2) e óxido nitroso (N_2O), emitindo-os para a atmosfera (ROSSI, 2013).

O N_2O , assim como o CO_2 e o CH_4 são gases do efeito estufa, que representam grande preocupação quando o assunto é aquecimento global e destruição da camada de ozônio. O N_2O é considerado um gás mais agressivo,

pois mesmo em concentrações baixas na atmosfera, ele absorve a luz ultravioleta do sol e a irradia, potencializando o efeito estufa. (ALAGIA, 2006).

Na década de 1970, estudos apontaram que mesmo o N_2O sendo um gás de baixa liberação, haveria um aumento de $1^\circ C$ no aquecimento do planeta se sua emissão duplicasse (KUENEN, 1994). A preocupação com o tema é constante, assim, vários estudos apontam mudanças preocupantes no clima devido às emissões de GEE. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), publicou, em seu último relatório, que até 2030 o planeta vai testemunhar mudanças irreversíveis com o aumento da temperatura, como incêndios, secas, inundações, desaparecimento de espécies. Outro documento, elaborado pelo Word Meteorological Organization (WMO), em 2021, alertou que o aumento da temperatura deste ano foi maior que a do início da pré industrialização (ARORA, 2021).

A concentração do N_2O na atmosfera está aumentando a uma taxa de 0,25% ao ano (GUILBAUL, 1998). No Brasil, grande parte do volume da emissão deste gás é devido ao uso de fertilizantes nitrogenados, o que pode ser amenizado adotando-se práticas agrícolas que envolvem avanços em tecnologias, como os inibidores da urease, ou adubos não ureicos (MAZZETTO *et al.*, 2020). Estudos recentes e projeções indicam uma probabilidade de 90% de exceder a temperatura máxima registrada em 2016, que foi a mais elevada até então, além de uma probabilidade de 80% de que a média de temperatura para o período de 2021-2025 seja superior à média dos últimos cinco anos. Tais informações são consideradas atualizadas e mais precisas devido ao avanço das tecnologias utilizadas em sua coleta e análise (HERMANSON *et al.*, 2022).

Fatores como a umidade, a temperatura, textura do solo, o pH, podem interferir na emissão de N_2O . Deste modo, aferir tais valores requer muitos estudos, pois tais fatores tanto podem agir sozinhos, como interagir com outros, tornando difícil a determinação exata de agentes influenciadores (FARQUHARSON, 2007).

O ciclo do nitrogênio é um processo fundamental que ocorre na biosfera, desempenhando um papel de suma importância na disponibilidade de nitrogênio (N) para os organismos vivos. Esse ciclo envolve um complexo de transformações bioquímicas que ocorrem na atmosfera, nos solos, na água e organismos, regulando a circulação e a utilização do nitrogênio. A compreensão das etapas e interações nesse ciclo é essencial para o manejo ambiental e a mitigação de impactos decorrentes das ações humana.

A fixação do nitrogênio atmosférico (N_2) é uma etapa fundamental no ciclo do nitrogênio, onde bactérias diazotróficas, como as do gênero *Rhizobium* em simbiose com leguminosas, e as cianobactérias, apresenta a capacidade de converter N_2 em amônia (NH_3) ou íons amônio (NH_4^+), tornando o nitrogênio atmosférico biologicamente disponível (SMIL, 1997).

A nitrificação é a etapa seguinte, em que bactérias oxidantes de amônia convertem o NH_4^+ em nitrito (NO_2^-) e após, em nitrato (NO_3^-). Isso ocorre em duas etapas diferentes, sendo a primeira realizada por bactérias oxidantes de amônia (ex: Nitrosomonas) e a segunda por bactérias oxidantes de nitrito (ex: Nitrobacter) (STEIN e KLOTZ, 2016).

A desnitrificação é um processo de redução que converte os nitratos em nitrogênio molecular (N_2) ou outros compostos nitrogenados gasosos, liberando nitrogênio para a atmosfera. Bactérias desnitrificantes (ex.: Pseudomonas,

Paracoccus) executam esse processo em ambientes anaeróbicos, contribuindo para a reciclagem do nitrogênio no ecossistema (ZUMFT, 1997).

A nitrificação e a desnitrificação são os principais caminhos para a emissão de N_2O pelo solo (DRISHYA, *et al.*, 2021). Estudos mostraram que a nitrificação se dá quando a umidade do solo é baixa, enquanto a desnitrificação ocorre em solos com alto teor de umidade (SKIBA *et al.*, 1993).

Resultados de pesquisa mostram a grande influência da umidade na elevação da emissão do N_2O . Em solos com umidade menor, a formação do gás se dá pelo processo de nitrificação, já com a umidade acima de 60% - 70% de poros preenchidos por água (PPA), o processo de desnitrificação é o responsável pela emissão do N_2O (RUSER *et al.*, 2006). Assim, um dos fatores mais importante para a determinação da emissão de N_2O na atmosfera é o teor de umidade (DEL PRADO *et al.*, 2006).

2.2 Emissão de N_2O em áreas agricultáveis e pecuária

Desde a colonização do país, em 1500, já se derrubou milhões de hectares de floresta para implantação de pastagem. As emissões de N_2O aumentam consideravelmente após o corte e queimada das florestas, onde se implanta pastagem. Enquanto essa pastagem é nova, as emissões continuam altas, caindo com o tempo, devido a degradação e a crescente indisponibilização de N no solo (MELILLO *et al.*, 2001). A conversão de florestas em pastagens também contribui para um aumento na temperatura e para um menor teor de umidade no solo, afetando a emissão de gases poluentes (CARMO *et al.*, 2012).

A emissão de N_2O em pastagens é influenciada por uma série de fatores, como a aplicação de fertilizantes nitrogenados, a excreta de animais, a decomposição de resíduos orgânicos e as propriedades do solo. A presença dos

microrganismos no solo também é de suma importância para o processo de transformação do N em N_2O , como as bactérias nitrificantes e desnitrificantes.

Entre tantos fatores que contribuem para a emissão de GEE, observou-se, também, emissões distintas em diferentes texturas de solo. Solos com textura mais fina tem maior disponibilidade de N, assim, liberam maior teor de N_2O em comparação com solos de textura grossa. Em solos com menos disponibilidade de O_2 , o processo de desnitrificação foi o responsável pela emissão de N_2O (BOLLMANN, 1998).

Solos molhados tem um aumento expressivo na emissão de N_2O , pois a água do solo favorece a desnitrificação. Já, quando há uma boa aeração, a favorecida é a nitrificação (DAVIDSON, 1992). No cerrado, em períodos secos do ano, é quase nula a emissão de N_2O , porém, na época das águas, a emissão é aumentada (CARDOSO et al, 2001). Na Mata Atlântica, as emissões de óxido nitroso são mais elevadas. A qualidade dos resíduos nessa área influencia a incorporação de matéria orgânica, devido à menor relação C/N observada, o que estimula a mineralização da matéria orgânica do solo (MOS) e resulta em maiores concentrações de nitrato (COUTINHO et al., 2010).

Estudos sobre a emissão de N_2O diante da adubação nitrogenada mostraram um aumento significativo no envio desse gás para atmosfera quando a quantidade aplicada é acima do necessário, mas que são atenuados em solos que tem uma boa drenagem (HÉNAULT et al., 1998). A integração de sistemas agropecuários (ILPF) também mostrou eficiência na diminuição da emissão do N_2O (PERGHER et al., 2013).

A preocupação com a crescente emissão desse gás na atmosfera, tem gerado muitos estudos que visam medir e inventariar tais emissões nos solos

brasileiros (COSTA, *et al.*, 2009). Quando se converte um solo, para se iniciar a atividade agropecuária, as comunidades bacterianas são alteradas, assim como suas atividades (CLEVELAND *et al.*, 2003), influenciando na emissão de N_2O .

As atividades agropecuárias representam uma das principais fontes de emissão de N_2O na atmosfera, uma vez que a utilização de fertilizantes nitrogenados favorece os processos de nitrificação e desnitrificação, os quais estão diretamente relacionados ao N presente no solo. O N é de grande importância para a produção agrícola; portanto, é essencial que boas práticas de manejo na adubação sejam adotadas, visando tanto a maximização da produtividade quanto a mitigação das emissões desse gás, que contribui para o efeito estufa.

2.3 Emissão de N_2O em áreas de floresta

Os ambientes florestais desempenham papel fundamental na regulação do clima global, seja como fonte ou como sumidouros de GEE. Compreender as fontes de emissão e os meios de mitigação é fundamental para se tomar medidas eficazes para conservação e uso sustentável dessas áreas.

As mudanças climáticas têm sido tema de atenção nas últimas décadas devido as consequências significativas que podem ter sobre os ecossistemas e sobre toda a sociedade. Um dos principais fatores que contribuem para o aquecimento global é a emissão de GEE. As áreas florestais são ambientes que tem a capacidade de sequestrar carbono e, são fontes de sumidouros de GEE. A decomposição de matéria orgânica, os incêndios florestais, os processos de respiração de plantas e animais, as mudanças na utilização da terra e as atividades humanas são algumas das maneiras da floresta emitir gases do efeito estufa na atmosfera (SMITH *et al.*, 2014). O desmatamento pode transformar as

florestas em fontes expressivas de GEE, incluindo, aqui, o N_2O , por causa da liberação rápida de carbono armazenada na biomassa (HOUGHTON, 2005).

2.4 Meios de mitigação do Óxido Nitroso

Para se mitigar a emissão de gases do efeito estufa, entre eles, o N_2O , aumentar a eficiência do uso do N pelos animais e plantas e evitar perdas de N no ambiente, é uma estratégia acertada. Para reduzir as emissões de N_2O na atmosfera, é essencial adotar práticas como manejo adequado das pastagens para reduzir compactação e aumentar matéria orgânica, diminuir fertilizantes nitrogenados, aumentar forrageiras leguminosas, evitar queimadas, usar fertilizantes protegidos, aplicar nitrogênio conforme necessidade das plantas, integrar lavoura-pecuária, aplicar fertilizantes de liberação controlada e usar inibidores de nitrificação (RUGGIERI *et al.*, 2017).

Algumas ações são acertadas na busca de mitigar a emissão do N_2O , como otimizar a irrigação no cultivo, bem como sua drenagem, aplicar fertilizantes abaixo da superfície do solo, aplicação de adubos foliares, entre outras práticas. Vários estudos comprovam a relação entre otimização do uso do fertilizante nitrogenado e esterco com a diminuição da emissão de N_2O (MOSIER *et al.*, 1998).

O uso de inibidores da nitrificação tem mostrado eficiência na fertilização nitrogenada, diminuindo a emissão de N_2O . Foi demonstrado que a aplicação do inibidor em esterco líquido bovino diminuiu a emissão do gás (RUSER, 2015).

A adoção de boas práticas tem o poder de mitigar a emissão de N_2O , sem comprometer a produtividade. Os esforços de pesquisa para melhorar plantas devem concentrar-se na identificação e desenvolvimento de variedades que sejam mais eficientes na absorção de nitrogênio. Promover intensificação

sustentável na agricultura, com variedades de cultura, usar calcário para diminuir acidez do solo, adotar boas práticas ecológicas, fazer irrigação de modo adequado, economizando recursos hídricos, são práticas que também devem ser adotadas, além de se realizar mais estudos que contribuam para a mitigação dos danos ao meio ambiente (HASSAN *et al.*, 2022).

Diversas estratégias vêm sendo propostas para a mitigação de GEE em ambientes florestais, como a conservação de florestas intactas, o manejo sustentável de áreas degradadas, a restauração de ecossistemas florestais degradados e o reflorestamento. Todas essas medidas são importantes para o aumento do sequestro de carbono em áreas florestais (CANADELL *et al.*, 2014).

Para mitigar as emissões de N_2O na atmosfera deve-se adotar boas práticas de manejo de solo, com adequação no sistema de irrigação e drenagem, de adubação nitrogenada, buscar eficiência na utilização de resíduos no solo, que tragam aumento na concentração de C:N, visto que isto se mostrou eficiente na diminuição de emissão, entre outras práticas mitigadoras (HASSAN *et al.*, 2022).

3. OBJETIVO

O objetivo do presente estudo foi avaliar o comportamento diário das emissões de N_2O em solos de pastagem, agricultura e floresta.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização do local de origem dos dados

O experimento foi conduzido entre os dias 02 e 06 de Fevereiro de 2021, no setor de Forragicultura e Pastagem da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil, localizada na latitude $21^{\circ}14'05''S$ e longitude de $48^{\circ}17'09''W$, a altitude de 615 m. Os solos da área experimental são classificados como Clayey Oxisol, segundo USDA-NRCS (2010) ou como Latossolo Vermelho Distrófico, típico, textura argilosa A moderado, caulínítico, hipoférico, com relevo suavemente ondulado segundo EMBRAPA (2013).

O clima predominante de Jaboticabal - SP, pela classificação de Köppen, é do tipo Aw, descrito como tropical de estiagem de inverno, com estação seca definida entre os meses de abril a setembro e concentração de chuvas nos meses de verão (outubro a março).

Os elementos meteorológicos utilizados neste trabalho, foram extraídos de um conjunto de dados pertencentes ao acervo da área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas. As observações feitas na Estação Agroclimatológica do Campus de Jaboticabal são cotadas, digitadas em formato padronizado, realizada a consistência e controle de qualidade. Em seguida são obtidas as médias diárias, mensais e anuais que são repassadas aos usuários.

Segundo estes dados, o acumulado de chuva no período de 01 à 06 de Fevereiro de 2021 foi de 30,5mm.

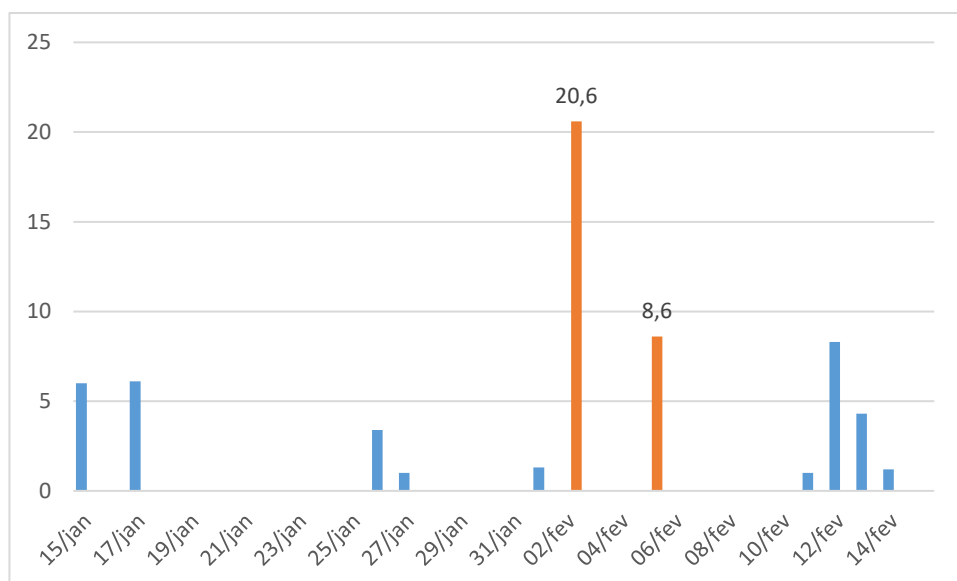


Figura 1. Dados pluviométricos. Em destaque (laranja) o período do estudo.

4.2 Delineamento experimental e tratamentos do experimento

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso (DIC), com 5 repetições em esquema fatorial. Os tratamentos principais foram 3 tipos de uso da terra: agricultura (lavoura de milho), floresta e pastagem. A lavoura de milho, com aproximadamente 60 dias de vegetação, teve o plantio convencional, com aração e gradagem pesada, niveladora e adubação com 8/28/16. Recebeu adubação de cobertura, aos 35 dias, com 20/0/20. A área de *Urochloa brizantha* cv. Marandu, formada em novembro de 2003, não recebia animais há mais de 6 meses.

Os tratamentos secundários foram os horários do dia: 00h00, 03h00, 06h00, 09h00, 12h00, 15h00, 18h00, 21h00, totalizando 15 câmaras.

4.3 Amostragem e análise

As emissões de N_2O foram quantificadas utilizando-se câmaras estáticas padronizadas, constituída de uma base de metal, medindo 0,6 x 0,4 x 0,15 m que foi enterrada a 7 cm de profundidade e a parte superior plástica, com 60 cm de altura e revestida por isolante térmico (CARDOSO *et al.*, 2018). No

experimento, as avaliações foram realizadas durante 5 dias consecutivos. As amostragens foram realizadas entre 00h00 e 21h00, como preconizado por Alves *et al.* (2012). As câmaras foram fechadas, com tampas compatíveis com as caixas, por um período de 30 min, e amostras de ar coletadas nos tempos 0,15 e 30 min. As amostras foram coletadas com uma seringa de polipropileno de 50 ml. Usando termômetros digitais, foram medidas as temperaturas do solo e do ar, no interior e fora da câmara. As amostras de ar foram transferidas para frascos de cromatografia pré-evacuados (20 ml) e, em seguida, a concentração do gás foi determinada por cromatografia gasosa. As amostras foram analisadas em um cromatógrafo a gás (Shimadzu Green House Gas Analyzer GC-2014; Kyoto, Japan), sobre as seguintes condições para mensurar N₂O: injetor a 250°C, coluna a 80°C, usando N₂ como gás de arraste (30 ml min⁻¹), e o detector de captura elétrica a 325°C. E, CO₂ e CH₄: usando H₂ como gás de arraste (30 ml min⁻¹), detector de ingestão de chama a 280°C. As emissões dos gases (μg N-N₂O h⁻¹) foram calculadas em função da mudança da concentração do gás no interior da câmara no período de incubação, de acordo com a seguinte equação:

Equação 3: Fluxo do gás = $\delta\text{gas}/\delta T \times M/V_m \times V/A$ Onde, $\delta\text{gás}$ é o aumento na concentração do gás no período de incubação (μL L⁻¹); δT é o período de incubação (h); M é a massa molar do gás em N ou C; V_m é o volume molecular corrigido pela temperatura e pressão no momento de amostragem (L mol⁻¹); V é o volume da câmara (m³); e A é a área que a câmara cobre (m²).

4.4 Análise estatística

Foram conduzidas análises de regressão entre o fluxo médio diário (variável dependente) e os fluxos medidos em cada período do dia (variável independente) para determinar o horário que mais se aproxima ao fluxo médio

diário. O coeficiente a (inclinação) foi analisado quanto a análise de variância e, quando significativo, os tratamentos foram comparados por teste de Tukey. Os diferentes sistemas foram avaliados separadamente para garantir que as comparações fossem feitas de forma adequada e específica a cada contexto, permitindo uma interpretação mais precisa dos resultados em relação aos diferentes usos do solo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Floresta

Durante a condução do experimento, observou-se uma estabilidade notável nas variações da temperatura na floresta, evidenciando a ausência de flutuações significativas ao longo do período experimental. O pico de emissão do N_2O na floresta foi registrado às 00h00 e sua menor emissão se deu às 12h00 (Fig. 2), tendo variado menos ao longo do dia, devido, provavelmente, a uma diminuição da umidade. Trabalhos sobre o fluxo de N_2O indicaram aumento significativo da emissão após mudanças de umidade, sendo relatado aumento de 6 a 9 vezes nos fluxos (DOBBIE *et al.*, 1999; FLESSA *et al.*, 2002).

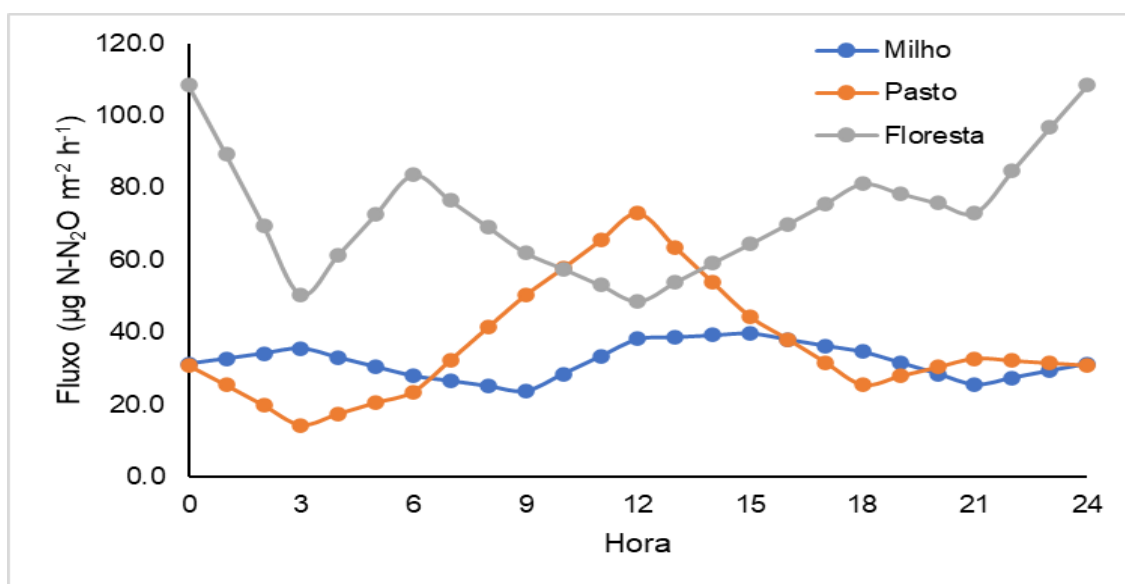


Figura 2. Fluxo horário de N_2O em função do uso da terra.

Na Figura 3 constam os horários em que as médias diárias foram exatamente iguais as emissões medidas (intercepto). O intercepto refere-se ao ponto em que o fluxo médio diário de emissões de N_2O se iguala ao fluxo medido em um horário específico. É o momento em que os valores obtidos durante a coleta de amostras coincidem exatamente com a média das emissões ao longo do dia. O intercepto igual a 1 sugere que há um nível de fluxo diário que é esperado mesmo quando não há contribuições dos fluxos em períodos

específicos. Aqui, buscamos encontrar um melhor horário para coletas. Reeves *et al.* (2015) demonstraram que a amostragem entre as 09h00 e 12h00, e das 21h00 às 00h00 melhor se aproximou da média diária de emissão de N_2O .

O que se observa é que as emissões do gás N_2O na floresta são mais acentuadas nas primeiras horas do dia e isto deve-se, sobretudo, à maior umidade do solo neste intervalo de horas, intensificada pelas chuvas no período das coletas (figura 1). Essas medidas, exatamente iguais às médias de emissão, foram obtidas às 03h00, às 11h00 e às 21h00.

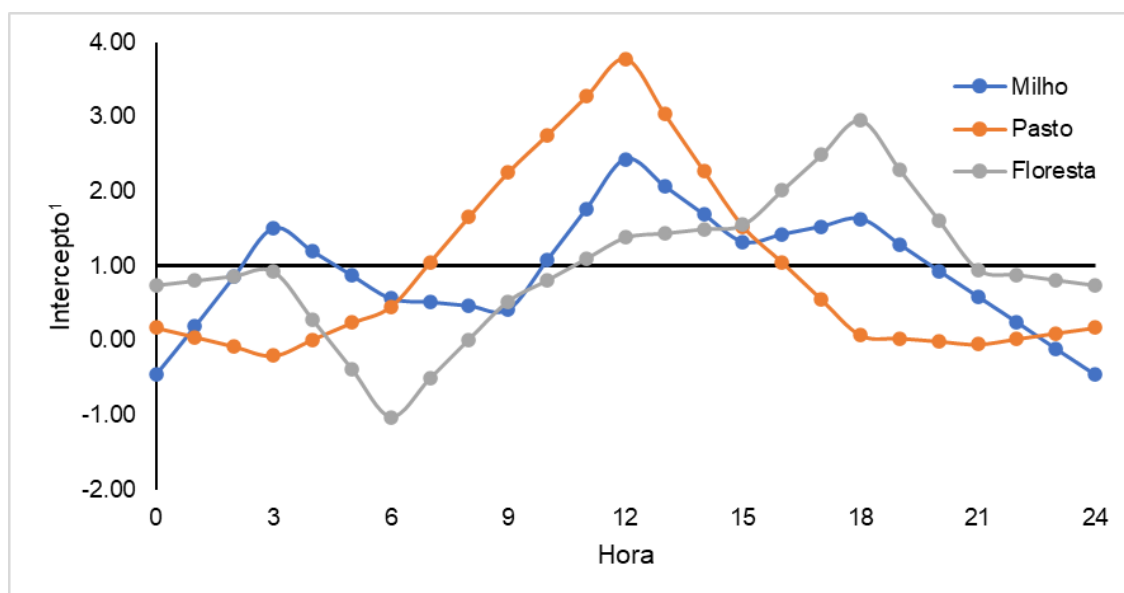


Figura 3. Intercepto entre o fluxo médio do dia e o fluxo medido em um horário específico em diferentes usos da terra. 1 – Intercepto igual 1 representa o horário em que o fluxo médio do dia é exatamente igual ao fluxo medido.

Os maiores fluxos de N_2O encontrados na área de floresta se deve, além da umidade, ao maior acúmulo de matéria orgânica incorporada ao solo, o que estimula a mineralização, resultando em teores altos de nitrato (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2008). Os fluxos médios de emissão ocorrem mais cedo na floresta devido a maior umidade encontrada neste horário. Como o aumento de emissão de N_2O se deve ao aumento de umidade, onde os poros são preenchidos por água, diminuindo a porção de O_2 (BRAGA *et al.*, 2011), tal ambiente se mostra favorável a situação. Ressalta-se que no presente estudo a

coleta de dados ocorreu no período das chuvas. Altas emissões de N_2O , podem até estar diretamente relacionadas com a umidade no solo, sem interferência da temperatura (LUO *et al.*, 2013), fato que pode ser observado aqui, no gráfico da temperatura. A temperatura, na floresta, se manteve uniforme (Figura 4), enquanto as emissões tiveram variações expressivas (Figura 2).

A temperatura média da floresta se manteve mais baixa, e lá encontramos maior emissão de N_2O . Esse aumento da emissão de N_2O com a temperatura mais baixa, foi verificado por Bailey (1976), que observou um aumento na produção desse gás quando a temperatura do solo caiu de 30 para 10 °C.

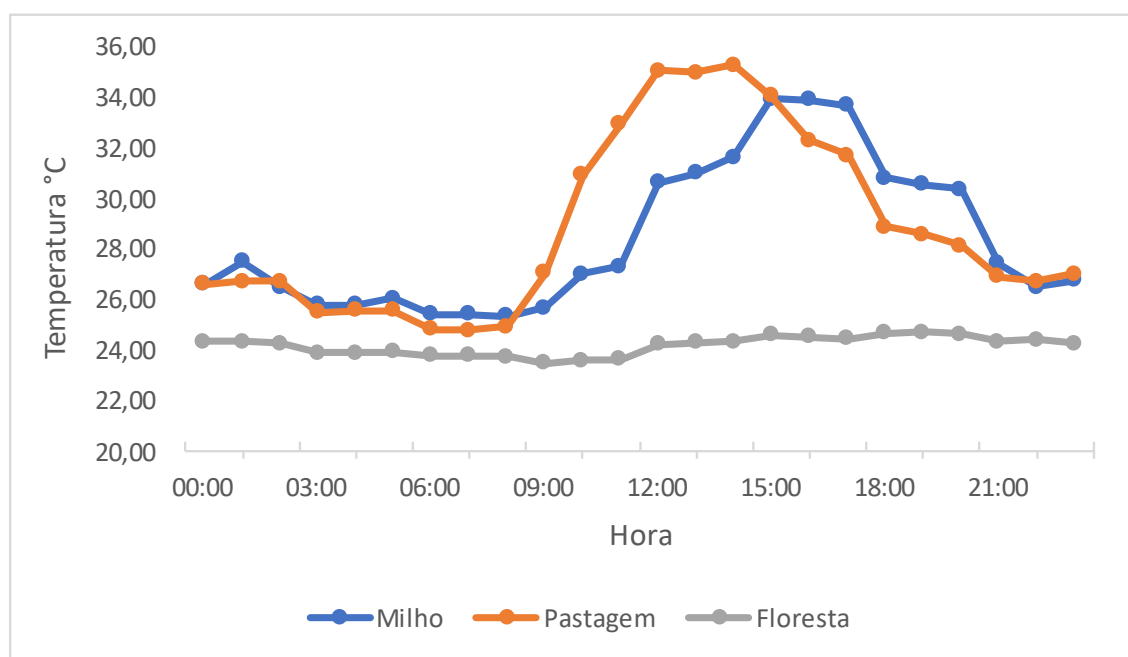


Figura 4. Temperatura em função dos horários de coleta.

5.2 Milho

Na cultura de milho a emissão mais elevada foi observada entre 12h00 e 15h00, momentos em que as temperaturas se encontravam mais altas, enquanto as menores emissões foram obtidas às 09h00 e 21h00, momentos de temperaturas mais amenas (Figura 2). Observou-se, que às 02h00, às 05h00,

às 10h00 e às 20h00 (Figura 3), foram horários em que o fluxo médio do dia e o fluxo medido foram iguais.

As emissões se tornaram mais expressivas à medida que a temperatura subia (Figura 4), evidenciando a influência da temperatura na emissão do N_2O na cultura do milho.

As emissões observadas na cultura de milho também se justificam pela baixa atividade microbiana, visto que o solo se encontrava sem cobertura, e não havia sido adubado recentemente. Em manejos de solo, em sistema de plantio direto (PD), se observa maior umidade, favorecendo a concentração de populações microbianas, o que ocasiona maior emissão de N_2O do que solos manejados sob plantio convencional (PC) (LEMKE *et al.*, 2004).

5.3 Pasto

Na área de pastagem o pico de emissão também se obteve às 12h00, tendo emitido menos N_2O às 03h00 e 18h00 (Figura 2). No pasto, as médias de emissões e as emissões medidas coincidiram às 07h00 e às 16h00 (Figura 3), indicando, assim, horários para melhor coleta e apreciação de dados que mostram a emissão deste gás. Podemos observar que no pasto, assim como na cultura do milho, o fator determinante para a maior ou menor emissão foi a temperatura (Figura 4).

Nas pastagens se observou menor emissão de N_2O em relação à floresta. Segundo Verchot *et al.* (1999), isto deve-se ao fato de haver baixo potencial de nitrificação no solo sob pastagem devido a existência de poucos microrganismos nitrificadores neste solo, bem como a alta capacidade respiratória do sistema radicular das gramíneas (KHALIL *et al.*, 2002).

6. CONCLUSÃO

A análise das emissões de N_2O em diferentes usos do solo revelou que os padrões variam significativamente entre floresta, pastagem e agricultura ao longo do dia. Nas áreas de agricultura e pastagem, as maiores emissões foram observadas em temperaturas elevadas, enquanto, na floresta, a umidade do solo foi o principal fator determinante. Para otimizar as coletas, recomenda-se realizá-las nos horários em que o fluxo médio diário se iguala ao fluxo medido, especificamente entre 07h00 e 11h00 e das 16h00 às 21h00.

7. REFERÊNCIAS

ALAGIA, Michele; CANDORI, Pietro; FALCINELLI, Stefano; LAVOLLÉE, Michel; PIRANI, Fernando; RICHTER, Robert; STRANGES, Stefano; VECCHIOCATTIVI, Franco. Double photoionization of N₂O molecules in the 28–40 eV energy range. *Chemical Physics Letters*, Amsterdam, v. 432, n. 4-6, p. 398-402, 11 dez. 2006.

ALVES, B. J. R.; SMITH, K. A.; FLORES, R. A.; CARDOSO, A. S.; OLIVEIRA, W. R. D.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. *Soil Biol. Biochem.* 46:129–135, 2012.

ARORA, N. K.; MISHRA, I. COP26: more challenges than achievements. *Environmental Sustainability*, [S.L.], v. 4, n. 4, p. 585-588, dez. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s42398-021-00212-7>.

ATKINS, P. W.; JONES, L. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Volume único. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BAILEY, L.D. Effects of temperature and root on denitrification in a soil. *Can. J. Soil Sci.*, 56:79-87, 1976.

BOLLMANN, Annette; CONRAD, Ralf. Influence of O₂ availability on NO and N₂O release by nitrification and denitrification in soils. *Global Change Biology*, v. 4, n. 4, p. 387-396, 1998.

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. Uberlândia/MG, 2011. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo–CBCS. 2011. p. 1-3.

CANADELL, J. G.; LE QUÉRÉ, Corinne; RAUPACH, Michael R.; FIELD, Christopher B.; BUITENHUIS, Erik T.; CIIAS, Philippe; CONWAY, Thomas J.; GILLET, Nathan P.; HOUGHTON, R. A.; MARLAND, Gregg. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, v. 104, n. 47, p. 18866-18870, 2014.

CARDOSO, A. S.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. B. Effect of volume of urine and mass of faeces on N₂O and CH₄ emissions of dairy-cow excreta in a tropical pasture. *Anim. Prod. Sci.* 58:981-988, 2018.

CARDOSO, A.N.; SAMINÊZ, T.C.; VARGAS, M.A. Fluxos de gases-traços de efeito estufa na interface solo/atmosfera em solos de Cerrado. Planaltina/DF.

Embrapa Cerrados, 2001. 33f. (Embrapa Cerrado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 17).

CARMO, J. B. do; SOUSA NETO, E. R. de; DUARTE-NETO, P. J.; OMETTO, J. P. H. B.; MARTINELLI, L. A.. Conversion of the coastal Atlantic forest to pasture: consequences for the nitrogen cycle and soil greenhouse gas emissions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, [S.L.], v. 148, p. 37-43, fev. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.010>.

CLEVELAND, Cory C.; TOWNSEND, Alan R.; SCHMIDT, Steven K.; CONSTANCE, Briana C. Soil microbial dynamics and biogeochemistry in tropical forests and pastures, southwestern Costa Rica. *Ecological Applications*, Washington, v. 13, n. 3, p. 314-326, 1 abr. 2003. DOI: 10.1890/1051-0761(2003)013[0314]2.0.CO;2.

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.

COUTINHO, R. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; TORRES, A. Q. A.; JANTALIA, C. P. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N₂O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 45, p. 195-203, 2010.

DAVIDSON, E. A.. Sources of Nitric Oxide and Nitrous Oxide following Wetting of Dry Soil. *Soil Science Society Of America Journal*, [S.L.], v. 56, n. A1, p. 95-102, jan. 1992. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600010015x>.

DOBBIE, K.E., MCTAGGART, I.P., SMITH, K.A., 1999. Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: variations between crops and seasons, key driving variables, and mean emission factors. *Journal of Geophysical Research* 104, 26891 e 26899.

DRISHYA, N; ABALOS, D; PHILIPPOT, L; BRU, D; MATEO-MARÍN, N; PETERSEN, S. O.. Soil and temperature effects on nitrification and denitrification modified N₂O mitigation by 3,4-dimethylpyrazole phosphate. *Soil Biology And Biochemistry*, [S.L.], v. 157, p. 108224, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108224>.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS da FCAV/UNESP – CAMPUS DE JABOTICABAL.

FARQUHARSON, R.; BALDOCK, J.. Concepts in modelling N₂O emissions from land use. *Plant And Soil*, [S.L.], v. 309, n. 1-2, p. 147-167, 12 dez.

2007. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-007-9485-0>.

FLESSA, H; RUSER, R; SCHILLING, R; LOFTFIELD, N; MUNCH, J.C; KAISER, E.A; BEESE, F. N₂O and CH₄ fluxes in potato fields: automated measurement, management effects and temporal variation. *Geoderma*, [S.L.], v. 105, n. 3-4, p. 307-325, fev. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061\(01\)00110-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061(01)00110-0).

GAMA-RODRIGUES, E.F. da; BARROS, N.F.; VIANA, A.P.; SANTOS, G.A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1489-1499, 2008.

GUILBAULT, M. R.; MATTHIAS, A. D.. Emissions of N₂O from Sonoran Desert and effluent-irrigated grass ecosystems. *Journal Of Arid Environments*, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 87-98, jan. 1998. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/jare.1997.0300>.

HASSAN, M. U.; AAMER, M.; MAHMOOD, A.; AWAN, M. I.; BARBANTI, L.; SELEIMAN, M. F.; BAKHSH, G.; ALKHARABSHEH, H. M.; BABUR, E.; SHAO, J.. Management Strategies to Mitigate N₂O Emissions in Agriculture. *Life*, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 439, 17 mar. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/life12030439>.

HENAULT, C.; DEVIS, X.; PAGE, S.; JUSTES, E.; REAU, R.; GERMON, J. C.. Nitrous oxide emissions under different soil and land management conditions. *Biology And Fertility Of Soils*, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 199-207, 20 fev. 1998. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s003740050368>.

HERMANSON, L.; SMITH, D.; SEABROOK, M. a; BILBAO, R.; DOBLAS-REYES, F.; TOURIGNY, E.; LAPIN, V.; KHARIN, V.V.; MERRYFIELD, W. J.; SOSPEDRA-ALFONSO, R.. WMO Global Annual to Decadal Climate Update: a prediction for 2021-25. *Bulletin Of The American Meteorological Society*, [S.L.], v. 103, n. 4, p. 1117-1129, abr. 2022. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/bams-d-20-0311.1>.

HOUGHTON, R. A. The contemporary carbon cycle. In: SCHLESINGER, W. H. (Org.). *The Earth system: Biological and ecological dimensions of global environmental change*. 1. ed. San Diego: Academic Press, 2005. p. 473-513.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário. Resultados definitivos. Rio de Janeiro. 2019. Brasil, v.8, p. 1-105. [agro_2017_resultados_definitivos.pdf](http://ibge.gov.br/agro_2017_resultados_definitivos.pdf) (ibge.gov.br)

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC, UK, 2007. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 11.

KHALIL, M.I.; ROSENANI, A.B.; van CLEEMPUT, O.; BOECKX, P.; SHAMAHUDDIN, J. & FAUZIAH, C.I. Nitrous oxide production from an Ultisol of the humid tropics treated with different nitrogen sources and moisture regimes. *Biol. Fertil. Soils*, 36:59-65, 2002.

KUENEN, J.G.; ROBERTSON, L. A.. Combined nitrification-denitrification processes. *Fems Microbiology Reviews*, [S.L.], v. 15, n. 2-3, p. 109-117, out. 1994. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-6976.1994.tb00129.x>.

LEMKE, R.; SOLBERG, E.; IZAURRALDE, C.; NYBORH, M. Seasonal nitrous oxide emissions from agricultural soils in the Parkland region of the Canadian Prairies. 2004.

LUO, G.H., KIESE, R., WOLF, B., BUTTERBACH-BAHL, K. Effects of soil temperature and moisture on methane uptake and nitrous oxide emissions across three different ecosystem types. *Biogeosciences*. 10, 3205-3219, 2013.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. História das agriculturas do mundo: Do neolítico à crise contemporânea. 1ª.ed., UNESP: SP, 2010.

MAZZETTO, A. M.; STYLES, D.; GIBBONS, J.; ARNDT, C.; MISSELBROOK, T.; CHADWICK, D.. Region-specific emission factors for Brazil increase the estimate of nitrous oxide emissions from nitrogen fertiliser application by 21%. *Atmospheric Environment*, [S.L.], v. 230, p. 117506, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117506>.

MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. Plano nacional de ciência, tecnologia e inovação 2016-2022. Brasília, 2016.

MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; FEIGL, B. J.; NEILL, C.; GARCIA, D.; PICCOLO, M. C.; CERRI, C. C.; TIAN, H.. Nitrous oxide emissions from forests and pastures of various ages in the Brazilian Amazon. *Journal Of Geophysical Research: Atmospheres*, [S.L.], v. 106, n. 24, p. 34179-34188, 1 dez. 2001. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2000jd000036>.

MOSIER, A.R.; DUXBURY, J.M.; FRENEY, J.R.; HEINEMEYER, O.; MINAMI, K.. Avaliação e Mitigação de Emissões de N₂O de Solos Agrícolas: mudanças climáticas. *Climatic Change*, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 7-38, 1998. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1005386614431>

ONU – Organização das Nações Unidas. Disponível em: População mundial atingiu 7,6 bilhões de habitantes | ONU News

PERGHER, M.; PIVA, T. J.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; VELOSO-GOMES, M.; BREVILIERI, C. R.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. Emissões de óxido nitroso do solo em sistemas integrados de produção com lavoura-pecuária-floresta. Curitiba. Universidade Federal do Paraná (UFP), 2013. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/962808>

PRADO, A. del; MERINO, P.; ESTAVILLO, J. M.; PINTO, M.; GONZÁLEZ-MURUA, C.. N₂O and NO emissions from different N sources and under a range of soil water contents. *Nutrient Cycling In Agroecosystems*, [S.L.], v. 74, n. 3, p. 229-243, mar. 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-006-9001-6>.

REEVES, S., WANG, W. Optimum sampling time and frequency for measuring N₂O emissions from a rain-fed cereal cropping system. *Science of The Total Environment*, 530, 219-226, 2015.

RIVERA, J. E.; CHARÁ, J.; BARAHONA, R. CH₄, CO₂ and N₂O emissions from grasslands and bovine excreta in two intensive tropical dairy production systems. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, p. 1-14, 2018.

ROSSI, C. 9334 – Química – O óxido nitroso. 2013. Disponível em: <https://megaarquivo.wordpress.com/2013/11/25/9334-quimica-o-oxido-nitroso/>. Acesso em: 10 ago. 2022.

RUGGIERI, Ana Cláudia; CARDOSO, A. da S. Balanço de carbono em sistemas de produção animal: fontes de emissão e opções de mitigação. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, v. 25, p. 1-2, 2017.

RUSER, R.; FLESSA, H.; RUSSOW, R.; SCHMIDT, G.; BUEGGER, F.; MUNCH, J. C.. Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting. *Soil Biology And Biochemistry*, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 263-274, fev. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.05.005>.

RUSER, R.; SCHULZ, R.. The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N₂O) release from agricultural soils—a review. *Journal Of Plant Nutrition And Soil Science*, [S.L.], v. 178, n. 2, p. 171-188, 24 fev. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.201400251>.

SIGNOR, D.; CERRI, C. E. P.. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, [S.L.], v. 43, n. 3, p. 322-338, set. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-40632013000300014>.

SKIBA, U.; SMITH, K.A.; FOWLER, D.. Nitrification and denitrification as sources of nitric oxide and nitrous oxide in a sandy loam soil. *Soil Biology And*

Biochemistry, [S.L.], v. 25, n. 11, p. 1527-1536, nov. 1993. Elsevier BV.
[http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90007-x](http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(93)90007-x).

SMIL, V. Global biogeochemical cycles of nitrogen: natural variations over geological time scales. 1. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

SMITH, P.; BUSTAMANTE, M.; AHAMMAD, H.; CLARK, H.; DONG, H.; ELSIDDIG, E. A.; BOLWIG, S. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate change 2014: Mitigation of climate change. Working Group III. Fifth assessment report. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 811-922.

STEIN, L. Y.; KLOTZ, M. G. The nitrogen cycle. In: DWORKIN, M.; FALKOW, S.; ROSENBERG, E.; SCHLEIFER, K. H.; STACKEBRANDT, E. (Org.). The Prokaryotes: Prokaryotic Physiology and Biochemistry. 4. ed. Cham: Springer, 2016. p. 427-454

VERCHOT, L.V.; DAVIDSON, E.A.; CATTÂNIO, J.H.; ACKERMAN, I.L.; ERICKSON, H.E.; KELLER, M. Land use change and biogeochemical controls of nitrogen emissions from soil in eastern Amazon. *Global Biogeochem. Cycles*, 13:31-46, 1999.

YANG, H., LIU, S., LI, Y., XU, H. Diurnal variations and gap effects of soil CO₂, N₂O and CH₄ fluxes in a typical tropical montane rainforest in Hainan Island, China. *Ecological Research*, 33(2), 379-392, 2018.

ZUMFT, W. G. Cell biology and molecular basis of denitrification. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, Washington, v. 61, n. 4, p. 533-616, 1997.