

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 23/02/2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO E
METANO DE FEZES DE HERBÍVOROS E SUAS RELAÇÕES
COM A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FEZES**

Francisco Paulo Amaral Júnior

Zootecnista

2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO E
METANO DE FEZES DE HERBÍVOROS E SUAS RELAÇÕES
COM A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FEZES**

Discente: Francisco Paulo Amaral Júnior

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri

Coorientador: Dr. Abmael da Silva Cardoso

Coorientadora: Dra. Vanessa Zironi Longhini

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

A485q

Amaral Júnior, Francisco Paulo

Quantificação das emissões de óxido nitroso e metano de fezes de herbívoros e suas relações com a composição química das fezes /

Francisco Paulo Amaral Júnior. -- Jaboticabal, 2022

34 p. + 1 CD-ROM

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Ana Cláudia Ruggieri

1. Gases estufa. 2. Óxido nitroso. 3. Metano. 4. Herbivoria. 5. Mudanças climáticas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO E METANO DE FEZES DE HERBÍVOROS E SUAS RELAÇÕES COM A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FEZES

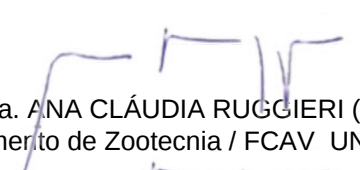
AUTOR: FRANCISCO PAULO AMARAL JÚNIOR

ORIENTADORA: ANA CLÁUDIA RUGGIERI

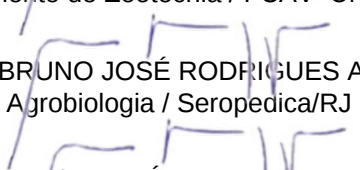
COORIENTADOR: ABMAEL DA SILVA CARDOSO

COORIENTADORA: VANESSA ZIRONDI LONGHINI

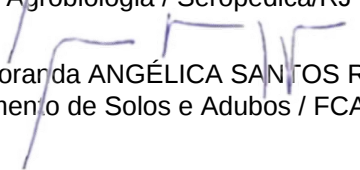
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. ANA CLÁUDIA RUGGIERI (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal



Prof. Dr. BRUNO JOSÉ RODRIGUES ALVES (Participação Virtual)
Embrapa Agrobiologia / Seropédica/RJ



Pós-doutoranda ANGÉLICA SANTOS RABELO DE SOUZA BAHIA (Participação Virtual)
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 23 de fevereiro de 2022

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FRANCISCO PAULO AMARAL JÚNIOR – nascido em Cruz das Almas, BA, no dia 18 de outubro de 1988. Zootecnista formado pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Câmpus “Juvino Oliveira”. Durante a graduação foi orientado da professora Daniela Deitos Fries, obtendo bolsa de iniciação científica por dois anos pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e dois anos de bolsa pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Iniciou seu mestrado no mês de março de 2020 na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias “Júlio de Mesquita Filho” (FCAV – Unesp), Câmpus de Jaboticabal, sob orientação da Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri, como bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela saúde e proteção.

Aos meus pais Francisco Paulo de Souza Vasconcelos do Amaral e Maria Cândida Barbosa Santos do Amaral, pelo amor, carinho e todo suporte que concedeu em toda minha vida.

À minha filha Mel Andrade Amaral, por toda paciência e compreensão que teve com seu pai, que esteve distante em razão dos estudos.

A todos meus familiares que sempre me incentivaram a realizar o mestrado, em especial às minhas irmãs Ana Carla e Ana Paula.

À minha namorada Raquel, que sempre foi a grande incentivadora para que iniciasse e também durante todo o mestrado, mesmo quando eu não acreditava ser possível.

À Universidade Estadual Paulista e o Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pela oportunidade de realização desse curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da bolsa de estudos.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro (Projeto: 18/16273-0).

À minha orientadora Ana Cláudia Ruggieri pela paciência e ensinamentos que teve comigo.

Aos meus coorientadores Abmael e Vanessa por todo apoio concedido ao longo dessa jornada.

A todos os membros do grupo de pesquisa UNESPFOR, em especial a, Fabio, Fernanda, Gabi, Gilmar, Lucas, Matungão, Marina, Nauara, Olavo e Ricardo.

A todos os amigos que adquiri no tempo em que passei na República Ranchão, em especial Dexter, K-xote, Pato e o Truta.

A todos os amigos da República Tocafogo.

QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE ÓXIDO NITROSO E METANO DE FEZES DE HERBÍVOROS E SUAS RELAÇÕES COM A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FEZES

RESUMO – O óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4) são dois importantes gases de efeito estufa (GEE). O N_2O , no setor agropecuário, é formado a partir do nitrogênio (N) presente nas excretas dos animais e nos fertilizantes nitrogenados, enquanto o CH_4 emitido é oriundo da fermentação entérica dos animais e das fezes durante o processo de decomposição. A dieta pode ser um dos principais fatores que influenciam a composição química das excretas e assim alterar os fluxos das emissões dos principais GEE, como o N_2O e CH_4 . Portanto, o presente estudo teve como objetivo investigar se a composição química das fezes de diferentes herbívoros pode ser indicadora das emissões de N_2O e CH_4 . O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram fezes de ovinos, caprinos, bovinos de corte, bovinos de leite e equinos. Os tratamentos testados foram incubados em vasos de Mason em ambiente controlado, sendo os fluxos dos gases quantificados até 100 dias de incubação. Para a razão CH_4/MS fezes, os tratamentos diferiram entre si. Observou-se que no tratamento de fezes de bovinos de leite a razão CH_4/MS foi maior que nos demais tratamentos, seguidos de bovinos de corte. Enquanto nos tratamentos com fezes de caprinos, ovinos e equinos não apresentaram diferenças significativas entre si. Verificou-se que os tratamentos diferiram entre si para a razão $\text{N}_2\text{O}/\text{MS}$ fezes. O tratamento com fezes de caprinos apresentou maior emissão de $\text{N}_2\text{O}/\text{MS}$ fezes em relação aos demais, seguido pelos tratamentos contendo fezes de ovinos, bovinos de corte, bovinos de leite e para as fezes de equinos. Os tratamentos diferiram entre si quanto a razão $\text{N}_2\text{O}/\text{N-total}$, sendo que os maiores valores de $\text{N}_2\text{O}/\text{N-total}$ foram para fezes de caprinos. Entretanto, não foi verificada diferença significativa para bovinos de corte que por sua vez foram maiores que todos os outros tratamentos. As menores razões $\text{N}_2\text{O}/\text{N-total}$ foram os tratamentos com fezes de bovinos de leite, ovinos e equinos que não houve diferença significativa entre si. Houve correlação negativa entre as emissões cumulativas de CH_4 e o teor de matéria orgânica ($r = -0,65$) e fibra insolúvel em detergente neutro ($r = -0,59$) presente nas fezes. Além disso, também

apresentou moderada correlação positiva com nitrogênio não proteico ($r = 0,52$). Para as emissões cumulativas de N_2O , houve forte correlação positiva com o nitrogênio total ($r = 0,82$), nitrogênio insolúvel em detergente neutro ($r = 0,77$) e moderada correlação positiva com nitrogênio insolúvel em detergente ácido ($r = 0,63$) presente nas fezes. No entanto, apresentou forte correlação negativa com a fibra insolúvel em detergente ácido ($r = -0,70$) e relação carbono/nitrogênio ($r = -0,70$). Nossos resultados corroboram com outros trabalhos que demonstram o aumento das emissões de N_2O a medida que se aumenta a o teor de NT e reduz a relação C/N. Este estudo também demonstra a necessidade de que mais pesquisas sejam desenvolvidas avaliando as interações entre umidade e microbiota das fezes com as emissões de N_2O . Quanto as emissões de CH_4 , foi possível observar que fezes com frações de C e N menos recalcitrantes são mais facilmente degradados, o que diminuir a quantidade de substrato para os microorganismos metanogênicos, e reduz as emissões de CH_4 .

Palavras-chave: composição química, fezes, metano, óxido nitroso.

QUANTIFICATION OF NITROUS OXIDE AND METHANE EMISSIONS FROM HERBIVORE FAECES AND THEIR RELATIONSHIPS TO THE CHEMICAL COMPOSITION OF FAECES

ABSTRACT – Nitrous oxide (N_2O) and methane (CH_4) are two important greenhouse gases (GHG). In the agricultural sector, N_2O is formed from nitrogen (N) present in animal excreta and nitrogen fertilizers, while the CH_4 emitted comes from the enteric fermentation of animals and faeces during the decomposition process. Diet can be one of the main factors that influence the chemical composition of excreta and thus change the fluxes of emissions of the main GHGs, such as N_2O and CH_4 . Therefore, the present study aimed to investigate whether the chemical composition of feces from different herbivores can be an indicator of N_2O and CH_4 emissions. The experiment was carried out in a completely randomized design, with five treatments and five replications. The treatments were faeces of sheep, goats, beef cattle, dairy cattle and horses. The tested treatments were incubated in Mason's vases in a controlled environment, and the gas fluxes were quantified up to 100 days of incubation. For the CH_4/MS faeces ratio, the treatments differed from each other. It was observed that the faeces treatment of dairy cattle was higher than the other treatments, followed by beef cattle. While treatments with faeces from goats, sheep and horses did not show significant differences between them. The treatments were found to differ from each other for the $\text{N}_2\text{O}/\text{MS}$ faeces ratio. The treatment with goat feces presented higher emission in relation to the others, followed by treatments containing feces of sheep, beef cattle, dairy cattle and for equine faeces. The treatments differed in terms of the $\text{N}_2\text{O}/\text{N-total}$ ratio. The biggest reasons were for goat faeces that there was no significant difference for beef cattle which in turn were higher than all other treatments. The lowest $\text{N}_2\text{O}/\text{N-total}$ ratios were the treatments with faeces of dairy cattle, sheep and horses, which had no significant difference between them. There was a negative correlation between the cumulative emissions of CH_4 and the content of organic matter ($r = -0.65$) and neutral detergent insoluble fiber ($r = -0.59$) present in the faeces. In addition, it also showed moderate positive correlation with non-protein nitrogen ($r = 0.52$). For cumulative N_2O emissions, there was a strong positive correlation with total nitrogen ($r = 0.82$), neutral detergent insoluble nitrogen ($r = 0.77$) and moderate positive correlation with acid detergent insoluble nitrogen ($r = 0.63$) present in the faeces. However, it showed a strong negative correlation with acid detergent insoluble fiber ($r = -0.70$) and carbon/nitrogen ratio ($r = -0.70$). Our results corroborate other works that demonstrate the increase of N_2O emissions as the NT content increases and the C/N ratio decreases. This study also demonstrates the need for more research to be carried out evaluating the interactions between moisture and faeces microbiota with N_2O emissions. As for CH_4 emissions, it was possible to observe that faeces with less recalcitrant fractions of C and N are more easily

degraded, which reduces the amount of substrate for methanogenic microorganisms, and reduces CH₄ emissions.

Keywords: chemical composition, faeces, methane, nitrous oxide.

1. INTRODUÇÃO

O óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4) são importantes gases de efeito estufa (GEE) com potencial de aquecimento global 265 e 28 vezes maior que o dióxido de carbono (CO_2) (IPCC, 2013). O aumento das concentrações desses gases na atmosfera, desde o período pré-industrial, foi de 123% para o N_2O e de 262% para CH_4 (WMO, 2021). O N_2O tem o papel de destaque, uma vez que possui ação de depleção na camada de ozônio, precursor do NO_x estratosférico, principal fonte que acelera a destruição do ozônio (Ravishankara et al., 2009). No setor agropecuário, o N_2O é formado a partir do nitrogênio (N) presente nas excretas (fezes e urina) dos animais e dos fertilizantes nitrogenados (Cai et al., 2017), enquanto o CH_4 emitido é oriundo da fermentação entérica e do resultado da metanogênese nas fezes (Saggar et al., 2004).

As excretas quando depositadas no pasto, geralmente são distribuídas de forma desigual, cobrindo anualmente cerca de 30-40% da área total das pastagens (Bolan et al., 2004; Haynes e Williams, 1993). Assim, como há grande quantidade de N presente em áreas relativamente pequenas ocupadas pelas excretas, há excedente na capacidade das plantas em utilizarem todo o N disponível e, são formados os “sítios mais ativos” de emissão de N_2O (Maljanen et al., 2007; Bertram et al., 2009). Dessa forma, o N retornado ao sistema pode ser perdido por emissão direta, como o N_2O , ou por emissão indireta, como volatilização de NH_3 e lixiviação do nitrato (NO_3^-) (Sutton, 2011; Cameron et al., 2013).

O N presente na urina está na forma inorgânica e prontamente disponível para as plantas e microorganismos. Por outro lado, o N presente nas fezes é encontrado na forma orgânico e inorgânico, porém o N na forma orgânica precisa ser mineralizado para em seguida ser utilizado pelas plantas e por microorganismos (Cai et al., 2017).

A matéria orgânica (MO) das fezes é a fonte de energia para a respiração dos microorganismos, enquanto a umidade possibilita as condições anaeróbicas (Van Groenigen et al., 2005), impulsionando assim a emissão de N_2O por desnitrificação e a liberação de CH_4 (Jarvis et al., 1995; Mazzetto et al., 2014; Cardoso et al., 2019). No entanto, para que ocorra essas emissões de N_2O por nitrificação ou desnitrificação, é preciso que haja disponibilidade de NO_3^- e/ou NH_4^+ (amônio) no solo (Chadwick et

al., 2018), e a concentração desses compostos estará altamente dependente do quão recalcitrante são os compostos nitrogenados nas fezes.

A produção de CH_4 ocorre tanto pelas fezes como no solo. Após a deposição de fezes no solo, ocorre aumento da população de microrganismos metanogênicos em função do maior aporte de carbono (C) solúvel que será fonte de energia para esses microrganismos (Jarvis et al., 1995; Yamulki et al., 1999; Ho et al., 2015). Dessa forma, a produção de CH_4 pode variar de acordo com a disponibilidade de nutrientes, umidade do solo e quantidade de fezes, normalmente indicada pela relação C/N, teor de lignina, energia, fibras insolúvel em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) (Gao et al., 2016), e para o último, a labilidade da MO é fator detrimental. No entanto, estudos que avaliam o efeito da composição química das fezes, nas emissões de N_2O e CH_4 ainda são incipientes.

Nesse contexto, nossas hipóteses são: (1) o teor de matéria seca (MS) das fezes regulará as emissões de N_2O e CH_4 ; (2) as emissões de N_2O pelas fezes serão reguladas pelo teor de N não proteico (NNP); (3) a quantidade de CH_4 será controlada pelas frações fibrosas ligadas as fezes; e (4) a produção de CH_4 será regulada pelo teor de MO. Portanto, o presente estudo teve como objetivo investigar se a composição química das fezes de diferentes espécies de herbívoros (bovinos, ovinos, caprinos e equinos) pode ser indicadora das emissões de N_2O e CH_4 .

6. CONCLUSÃO

Este estudo é o primeiro a correlacionar o efeito da composição química das fezes de diferentes espécies de herbívoros nas emissões de N_2O e CH_4 . Nossos resultados corroboram com outros trabalhos que demonstram o aumento das emissões de N_2O a medida que se aumenta o teor de NT e reduz a relação C/N. Este estudo também demonstra a necessidade de que mais pesquisas sejam desenvolvidas avaliando as interações entre umidade e microbiota das fezes com as emissões de N_2O .

Quanto as emissões de CH_4 , foi possível observar que fezes com frações de C e N menos recalcitrantes são mais facilmente degradados, o que diminui a quantidade de substrato para os microorganismos metanogênicos, e reduz as emissões de CH_4 .

7. REFERÊNCIAS

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., 2012. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N_2O flux from soils. **Soil Biology and Biochemistry** 46, 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.022>.

ANKOM, 2006a. Neutral detergent fiber in feeds. Filter bag technique (for A200, A200I).

ANKOM, 2006b. Acid detergent fiber in feeds. Filter bag technique (for A200, A200I).

ANKOM, 2017. Acid detergent fiber in feeds -filter bag technique (for A2000 and A2000I): ADF method 12 1–2.

AOAOC, 1995. **Association of Official Analytical Chemists International**, 1995.

Bateman, E.J., Baggs, E.M., 2005. Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and Fertility of Soils** 41, 379–388. <https://doi.org/10.1007/s00374-005-0858-3>

Bender, M., Conrad, R., 1992. Kinetics of CH₄ oxidation in oxic soils exposed to ambient air or high CH₄ mixing ratios. **FEMS Microbiology Letters** 101, 261–270. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1992.tb05783.x>

Bender, M., Conrad, R., 1993. Kinetics of methane oxidation in oxic soils. **Chemosphere** 26, 687–696. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(93\)90453-C](https://doi.org/10.1016/0045-6535(93)90453-C)

Bertram, J.E., Clough, T.J., Sherlock, R.R., Condron, L.M., O'Callaghan, M., Wells, N.S., Ray, J.L., 2009. Hippuric acid and benzoic acid inhibition of urine derived N₂O emissions from soil. **Glob. Chang. Biol.** 15, 2067–2077.

Bodelier, P.L.E., Laanbroek, H.J., 2004. Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments. **FEMS Microbiol. Ecol.** 47, 265–277.

Bolan, N.S., Saggar, S., Luo, J., Bhandral, R., Singh, J., 2004. Gaseous Emissions of Nitrogen from Grazed Pastures: Processes, Measurements and Modelling, Environmental Implications, and Mitigation, in: **Advances in Agronomy**. pp. 37–120. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)84002-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)84002-1)

Bohnert, D.W., DelCurto, T., Clark, A.A., Merrill, M.L., Falck, S.J., Harmon, D.L., 2011. Protein supplementation of ruminants consuming low-quality cool or warm-season forage: Differences in intake and digestibility. **Journal of Animal Science** 89, 3707–3717. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3915>

Braz, S. P., Nascimento Junior, D. D., Cantarutti, R. B., Regazzi, A. J., Martins, C. E., e Fonseca, D. M. D. (2002). Disponibilização dos nutrientes das fezes de bovinos em pastejo para a forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 31(4), 1614-1623.

Braz, S. P., Nascimento Junior, D., Cantarutti, R. B., Regazzi, A. J., Manrtins, C. E., Da Fonseca, D. M., Barbosa, R. A., 2002 Aspectos Quantitativos do Processo de Reciclagem de Nutrientes pelas Fezes de Bovinos sob Pastejo em Pastagens de *Brachiaria decumbens* na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.31, n.2, p. 858-865, (suplemento).

Cai, Y., Wang, X., Tian, L., Zhao, H., Lu, X., Yan, Y., 2014. The impact of excretal returns from yak and Tibetan sheep dung on nitrous oxide emissions in an alpine steppe on the Qinghai-Tibetan Plateau. **Soil Biology and Biochemistry** 76, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.008>

Cai, Y., Chang, S.X., Cheng, Y., 2017. Greenhouse gas emissions from excreta patches of grazing animals and their mitigation strategies. **Earth-Science Reviews** 171, 44–57. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.05.013>

Cameron, K.C., Di, H.J., Moir, J.L., 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: A review. **Annals of Applied Biology** 162, 145–173. <https://doi.org/10.1111/aab.12014>

Castaldi, S., Costantini, M., Cenciarelli, P., Ciccioli, P., Valentini, R., 2007. The methane sink associated to soils of natural and agricultural ecosystems in Italy. **Chemosphere** 66, 723–729.

Cardoso, A. da S., Oliveira, S.C., Januszkiewicz, E.R., Brito, L.F., Morgado, E. da S., Reis, R.A., Ruggieri, A.C., 2019. Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. **Soil and Tillage Research** 194, 104341. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104341>

Chadwick, D. R., John, F., Pain, B. P., Chambers, B. J., Williams, J., 2000. Plant uptake of nitrogen from the organic nitrogen fraction of animal manures: a laboratory experiment. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge 134, 159–168.

Chadwick, D.R., Cardenas, L.M., Dhanoa, M.S., Donovan, N., Misselbrook, T., Williams, J.R., Thorman, R.E., McGeough, K.L., Watson, C.J., Bell, M., Anthony, S.G., Rees, R.M., 2018. The contribution of cattle urine and dung to nitrous oxide emissions: Quantification of country specific emission factors and implications for national inventories. **Science of the Total Environment** 635, 607–617. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.152>

Conrad, R., 2007. Microbial Ecology of Methanogens and Methanotrophs. **Advances in Agronomy** 96, 1–63. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)96005-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)96005-8)

Conrad, R., Bak, F., Seitz, H.J., Thebrath, B., Mayer, H.P., Schütz, H., 1989. Hydrogen turnover by psychrotrophic homoacetogenic and mesophilic methanogenic bacteria in anoxic paddy soil and lake sediment. **FEMS Microbiology Letters** 62, 285–293. [https://doi.org/10.1016/0378-1097\(89\)90010-4](https://doi.org/10.1016/0378-1097(89)90010-4)

Crutzen, P. J., Aselmann, I., Seiler, W., 1986. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna and humans. **Tellus B.** 38B, 271–284.

de Bastos, D.F., Magiero, E.C., Tomazi, M., Schirmann, J., Veloso, M.G., de Faccio Carvalho, P.C., Bayer, C., 2020. A 3-year assessment of nitrous oxide emission factors for urine and dung of grazing sheep in a subtropical ecosystem. **Journal of Soils and Sediments** 20, 982–991. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02456-7>

Delevatti, L.M., Cardoso, A.S., Barbero, R.P., Leite, R.G., Romanzini, E.P., Ruggieri, A.C., Reis, R.A., 2019. Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. **Scientific Reports** 9, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44138-x>

Dijkstra, J., Oenema, O., van Groenigen, J.W., Spek, J.W., van Vuuren, A.M., Bannink, A., 2013. Diet effects on urine composition of cattle and N₂O emissions. **Animal: an international journal of animal bioscience** 7 Suppl 2, 292–302. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000578>

Doane, T.A., Horwáth, W.R., 2003. Spectrophotometric determination of nitrate with a single reagent. **Analytical Letters** 36, 2713–2722. <https://doi.org/10.1081/AL-120024647>

Embrapa, 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, **5th ed. EMBRAPA.**

Fireston, M.K., Davidson, E.A., 1989. Microbiological Basis of NO and N₂O Production and Consumption in Soil. **Exchange of trace gases between ecosystems and the atmosphere.**

Foster, 1995. Soil nitrogen, in: Alef K, Nannipieri P (Eds) **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. Academic, San Diego, pp. 79–87.

Gao, X., Thomas, B.W., Stoeckli, J., Liu, K., Beck, R., Hao, X., 2016. Methane and Nitrous Oxide Emissions from Cattle Dung and Urine Patches on a Tame Pasture, in: **Proceedings 10th International Rangeland Congress**. pp. 691–692.

Gardiner, C.A., Clough, T.J., Cameron, K.C., Di, H.J., Edwards, G.R., de Klein, C.A.M., 2016. Potential for forage diet manipulation in New Zealand pasture ecosystems to mitigate ruminant urine derived N₂O emissions: a review. **New Zealand Journal of Agricultural Research** 59, 301–317. <https://doi.org/10.1080/00288233.2016.1190386>

Gomide, C.A.M., Paciullo, D.S.C., Morenz, M.J.F., Deresz, F., Lopez, F.C.F., 2012. Potencial das forrageiras tropicais para a produção de leite a pasto. **Informe Agropecuário (Belo Horizonte)** 33, 80–91.

Hansen, S., Mæhlum, J.E., Bakken, L.R., 1993. N₂O and CH₄ fluxes in soil influenced by fertilization and tractor traffic. **Soil Biology and Biochemistry** 25, 621–630. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90202-M](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90202-M)

Ho, A., El-Hawwary, A., Kim, S.Y., Meima-Franke, M., Bodelier, P., 2015. Manure-associated stimulation of soil-borne methanogenic activity in agricultural soils. **Biology and Fertility of Soils** 51, 511–516. <https://doi.org/10.1007/s00374-015-0995-2>

Holter, P., 1991. Concentration of oxygen, carbon dioxide and methane in the air within dung pats. **Pedobiologia** 35, 381–386.

Jarvis, S.C., Lovell, R.D., Panayides, R., 1995. Patterns of methane emission from excreta grazing animals. **Soil Biology and Biochemistry** 27, 1581–1588.

Jones, H.A., Nedwell, D.B., 1993. Methane emission and methane oxidation in land-fill cover soil. **FEMS Microbiology Letters** 102, 185–195. [https://doi.org/10.1016/0378-1097\(93\)90201-C](https://doi.org/10.1016/0378-1097(93)90201-C)

King, G.M., Roslev, P., Skovgaard, H., 1990. Distribution and rate of methane oxidation in sediments of the Florida Everglades. **Applied and Environmental Microbiology** 56, 2902–2911. <https://doi.org/10.1128/aem.56.9.2902-2911.1990>

Kyvsgaard, P., Sørensen, P., Møller, E., Magid, J., 2000. Nitrogen mineralization from sheep faeces can be predicted from the apparent digestibility of the feed. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 57, 207–214.

Krol, D.J., Carolan, R., Minet, E., McGeough, K.L., Watson, C.J., Forrester, P.J., Lanigan, G.J., Richards, K.G., 2016. Improving and disaggregating N₂O emission factors for ruminant excreta on temperate pasture soils. **Science of the Total Environment** 568, 327–338. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.016>

Lancaster, R. J., 1949. Estimation of digestibility of grazed pasture from faeces nitrogen. **Nature** 163, 330–331.

Le Mer, J., Roger, P., 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: A review. **European Journal of Soil Biology** 37, 25–50. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01067-6](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01067-6)

Licitra, G., Hernandez, T.M., Van Soest, P.J., 1996 Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science Technology** 57, 347–358.

Luo, J., Tillman, R.W., Ball, P.R., 2000. Nitrogen loss through denitrification in a soil under pasture in New Zealand. **Soil Biology and Biochemistry** 32, 497–509. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00179-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00179-0)

Luo, J., Ledgard, S.F., Lindsey, S.B., 2008. A test of a winter farm management option for mitigating nitrous oxide emissions from a dairy farm. **Soil Use Manag.** 24, 121–130.

Maljanen, M., Martikkala, M., Koponen, H.T., Virkajarvi, P., Martikainen, P.J., 2007. Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from experimental excreta patches in boreal agricultural soil. **Soil Biol. Biochem.** 39, 914–920.

Maljanen, M., Virkajärvi, P., e Martikainen, P.J. Dairy cow excreta patches change the boreal grass swards from sink to source of methane. **Agricultural and food science.** 21: 91-9991

Malyan, S.K., Bhatia, A., Kumar, A., Gupta, D.K., Singh, R., Kumar, S.S., Tomer, R., Kumar, O., Jain, N., 2016. Methane production, oxidation and mitigation: A mechanistic understanding and comprehensive evaluation of influencing factors. **Science of the Total Environment** 572, 874–896. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.182>

Mason, V.C., e Frederiksen, W., 1979. Partitioning of nitrogen in sheep faeces with detergent solutions, and its application to the estimation of the true digestibility of dietary nitrogen and the excretion of non-dietary faecal nitrogen. **Zeitschrift fur Tierphysiologie, Tiererna'hrung and futtermittelkunde** 41:121–131.

Mazzetto, A.M., Barneze, A.S., Feigl, B.J., Van Groenigen, J.W., Oenema, O., Cerri, C.C., 2014. Temperature and moisture affect methane and nitrous oxide emission from bovine manure patches in tropical conditions. **Soil Biology and Biochemistry** 76, 242–248. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.026>

Mosier, A., Schimel, D., Valentine, D., Bronson, K., Parton, W., 1991. Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. **Nature** 350, 330–332.

Nichols, K. L., Del Grosso, S. J., Derner, J. D., Folletta, R. F., ,Archibequec, S. L., Stewart, C. E., Paustian, K. H., 2016. Nitrous oxide and methane fluxes from cattle excrement on C3 pasture and C4-dominated shortgrass steppe. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 225 104–115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.026>

Nicolardot, B., Recous, S., Mary, B., 2001. Simulation of C and N mineralization during crop residue decomposition: a simple dynamic model based on the C: N ratio of the residues. **Plant and Soil** 228, 83–103.

Powell, J.M., Ikpe, F.N., Somda. Z.C., 1999. Crop yield and fate of nitrogen and phosphorus after application of plant material or faeces to soil. **Nutr. Cycling Agroecosyst.** 52:215–226.

Powell, J. M., Wattiaux, M. A., Broderick, G. A., Moreira, V. R., Casler, M. D., 2006. Dairy Diet Impacts on Fecal Chemical Properties and Nitrogen Cycling in Soils. **SOIL SCI. SOC. AM. J.**, VOL. 70.

Rastogi, G., Ranade, D.R., Yeole, T.Y., Gupta, A.K., Patole, M.S., Shouche, Y.S., 2008. Molecular analyses of methanogen diversity associated with cattle dung. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 24, 2973–2979. <https://doi.org/10.1007/s11274-008-9840-1>

Ravetto, E.S., Renna, M., Probo, M., Lussiana, C., Battaglini, L.M., Lonati, M., Lombardi, G., 2017. Relationships between botanical and chemical composition of forages: a multivariate approach to grasslands in the Western Italian Alps. **J. Sci. Food Agric.** 97, 1252–1259.

Ravishankara, A. R., Daniel, J. S., Portmann, R. W., 2009 Nitrous Oxide (N₂O): The dominant ozone depleting substance emitted in the 21st Century. **Science**. 326, No. 5949. DOI: [10.1126/science.1176985](https://doi.org/10.1126/science.1176985)

ROHSTOFFE, F. N., 2010 Guia prático do biogás: geração e utilização. **Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha**.

Saggar, S., Bolan, N.S., Bhandral, R., Hedley, C.B., Luo, J., 2004. A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures. **N. Z. J. Agric. Res.** 47, 513–544.

SAGGAR, S.; HEDLEY, C.B.; GILTRAP, D.L.; LAMBIE, S.M. Measured and modeled estimates of nitrous oxide emission and methane consumption from a sheep-grazed pasture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 122, p. 357-365, 2007.

Saggar, S., Luo, J., Gill, K.D., Neha, J., 2011. Intensification in Pastoral Farming: Impacts on Soil Attributes and Gaseous Emissions. **Soil Health and Climate Change** 207–236.

Selbie, D.R., Cameron, K.C., Di, H.J., Moir, J.L., Lanigan, G.J., Richards, K.G., 2014. The effect of urinary nitrogen loading rate and a nitrification inhibitor on nitrous oxide emissions from a temperate grassland soil. **Journal of Agricultural Science** 152, S159–S171. <https://doi.org/10.1017/S0021859614000136>

Signor, D., Cerri, C.E.P., 2013. Emissões de óxido nitroso em solos agrícolas: Uma revisão. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 43, 322–338. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000300014>

Šimek, M., Cooper, J.E., 2002. The influence of soil pH on denitrification: Progress towards the understanding of this interaction over the last 50 years. **European Journal of Soil Science** 53, 345–354. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2002.00461.x>

Smith, K.A., Thomson, P.E., Clayton, H., McTaggart, I.P., Conen, F., 1998. Effects of temperature, water content and nitrogen fertilisation on emissions of nitrous oxide by soils. **Atmospheric Environment** 32, 3301–3309. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00492-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00492-5)

Somda, Z.C., Powell, J.M., Fernandez-Rivera, S., Reed, J.D., 1995. Feed factors affecting nutrient excretion by ruminants and fate of nutrients when applied to soil. p. 227–246. In J.M. Powell et al. (ed.) *Livestock and sustainable nutrient cycles in mixed-farming systems of Sub-Sahara Africa. Volume II: Technical Papers, Proceeding of an International Conference held in Addis Ababa*, Ethiopia, 22–26 Nov. 1993. ILCA International Livestock Center for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia.

Sørensen, P., Jensen, E.S., Nielsen, N.E., 1994. Labeling of animal manure nitrogen with ¹⁵N. **Plant Soil** 162:31–37.

Sørensen, P., Weisbjerg, M. R., Lund, P., 2003. Dietary effects on the composition and plant utilization of nitrogen in dairy cattle manure. **J. Agric. Sci.** 141:79–91.

Spek, J. W., Dijkstra, J., van Duinkerken, G., Hendriks, W. H., Bannink, A., 2013. Prediction of urinary nitrogen and urinary urea nitrogen excretion by lactating dairy cattle in northwestern Europe and North America: A meta-analysis. **J. Dairy Sci.** 96:4310–4322. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6265>

Sutton, M., 2011. Too much of a good thing? **Science Translational Medicine** 5, 5–7. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.3008071>

Takai, Y., 1970. The mechanism of methane fermentation in flooded paddy soil. **Soil Science and Plant Nutrition** 16, 238–244. <https://doi.org/10.1080/00380768.1970.10433371>

Tiedje, J., 1988. Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. **Biology of anaerobic microorganisms**.

Topp, E., Pattey, E., 1997. Soils as sources and sinks for atmospheric methane. **Canadian Journal of Soil Science** 77, 167–178. <https://doi.org/10.4141/s96-107>

Haynes, R.J., Williams, P.H., 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy** 49, 119–199. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60794-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60794-4)

Van der Weerden, T.J., Luo, J., de Klein, C.A.M., Hoogendoorn, C.J., Littlejohn, R.P., Rys, G.J., 2011. Disaggregating nitrous oxide emission factors for ruminant urine and dung deposited onto pastoral soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 141, 426–436. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.04.007>

Van Groenigen, J.W., Kuikman, P.J., De Groot, W.J.M., Velthof, G.L., 2005. Nitrous oxide emission from urine-treated soil as influenced by urine composition and soil physical conditions. **Soil Biology and Biochemistry** 37, 463–473. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.08.009>

Van Kessel, J. S., Reeves Iii, J. B., Meisinger, J. J., 2000. Nitrogen and carbon mineralization of potential manure components. **Journal of Environmental Quality** 29, 1669–1677.

Vogel, K.P., Masters, R.A., 2001. Frequency grid - A simple tool for measuring grassland establishment. **Journal of Range Management** 54, 653–655. <https://doi.org/10.2307/4003666>

Yamulki, S., Jarvis, S.C., Owen, P., 1999. Methane Emission and Uptake from Soils as Influenced by Excreta Deposition from Grazing Animals. **Journal of Environmental Quality** 28, 676–682. <https://doi.org/10.2134/jeq1999.00472425002800020036x>

Yeomans, J.C e Bremner, J.M., 1988. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. **Commun. in Soil Sci.Plant Anal** 19, 1467–1476.

Welten, B.G., Ledgard, S.F., Schipper, L.A., Waller, J.E., Kear, M.J., Dexter, M.M., 2013. Effects of prolonged oral administration of dicyandiamide to dairy heifers on excretion in urine and efficacy in soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 173, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.003>

Whalen, S.C., Reeburgh, W.S., Sandbeck, K.A., 1990. Rapid methane oxidation in a landfill cover soil. **Applied and Environmental Microbiology** 56, 3405–3411. <https://doi.org/10.1128/aem.56.11.3405-3411.1990>

Williams, P.H., Haynes, R.J., 1995. Effect of sheep, deer and cattle dung on herbage production and soil nutrient content. **Grass and Forage Science** 50, 263–271. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1995.tb02322.x>

Wrage, N., Velthof, G.L., Beusichem, M.L. Van, Oenema, O., 2001. Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide 33, 1723–1732.

Zaman, M., Nguyen, M.L., Matheson, F., Blennerhassett, J.D., Quin, B.F., 2007. Can soil amendments (zeolite or lime) shift the balance between nitrous oxide and dinitrogen emissions from pasture and wetland soils receiving urine or urea-N? **Australian Journal of Soil Research** 45, 543–553. <https://doi.org/10.1071/SR07034>

Zaman, M., Sagggar, S., Blennerhassett, J.D., Singh, J., 2009. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. **Soil Biology and Biochemistry** 41, 1270–1280. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.03.011>

Zhu, Y., Merbold, L., Pelster, D., Diaz-Pines, E., Wanyama, G.N., Butterbach-Bahl, K., 2018. Effect of Dung Quantity and Quality on Greenhouse Gas Fluxes From Tropical Pastures in Kenya. **Global Biogeochemical Cycles** 32, 1589–1604. <https://doi.org/10.1029/2018GB005949>