

UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL PARA O SEMIÁRIDO

TATIANE LUZIA GOMES GALDINO

**Aperfeiçoamento de ferramentas para coleta de gases de efeito estufa em sistemas de
produção agropecuários no Semiárido**

Petrolina

2019

TATIANE LUZIA GOMES GALDINO

Aperfeiçoamento de ferramentas para coleta de gases de efeito estufa em sistemas de produção agropecuários no Semiárido

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental para o Semiárido, da Universidade de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título em Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dra. Diana Signor Deon
Coorientador: Dra. Salete Alves de Moraes

Petrolina

2019

G149a Galdino, Tatiane Luzia Gomes.
Aperfeiçoamento de ferramentas para coleta de gases de efeito estufa em sistemas de produção agropecuários no semiárido. /Tatiane Luzia Gomes Galdino. - Petrolina: do autor, 2019.
75 f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Prof. Dra. Diana Signor Deon.
Coorientadora: Dra. Salete Alves de Moraes.

Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia Ambiental para o Semiárido, Universidade de Pernambuco Campus Petrolina, Petrolina-PE, 2019.
Disponível também em CD-ROM.

1. CO₂. 2. CH₄. 3. N₂O. 4. Gás traçador. 5. Câmara estática. 6. Pequenos ruminantes. I. Deon, Diana Signor; Moraes, Salete Alves de. II. Universidade de Pernambuco - Campus Petrolina - PPGCTAS. III. Título.

CDD- 363.7

GALDINO, Tatiane Luzia Gomes. **Aperfeiçoamento de ferramentas para coleta de gases de efeito estufa em sistemas de produção agropecuários no Semiárido**. Dissertação (Mestrado) apresentada à Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Aprovado em: 09/12/2019

Banca Examinadora

Prof. Dra. Diana Signor Deon

Instituição: Embrapa Semiárido

Julgamento aprovada

Assinatura Diana Signor Deon

Prof. Dra. Salete Alves de Moraes

Instituição: Embrapa Semiárido

Julgamento aprovada

Assinatura Salete Alves de Moraes

Prof. Dra. Francislene Angelotti

Instituição: Embrapa Semiárido

Julgamento Aprovada

Assinatura Francislene Angelotti

Prof. Dra. Michely Tomazi

Instituição: Embrapa Agropecuária Oeste

Julgamento Aprovada

Assinatura Michely Tomazi

Dedico este trabalho aos meus pais, minhas irmãs, meu parceiro e minha orientadora com todo amor e gratidão, vocês foram meus ombros gigantes nessa jornada!

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Marcos e Verônica por me permitirem chegar até aqui, por colocarem os nossos sonhos na frente dos seus, por toda a disposição, dedicação e amor. Pode até ser clichê, mas vocês são os melhores pais de todo o universo.

Às minhas irmãs por serem meu porto seguro, por não largarem a minha mão e por serem exemplo de força e perseverança. Sou infinitamente grata por ter vocês ao meu lado em todos os momentos.

À Ytalo por ser um amigo, confidente e parceiro. Por ficar acordado comigo nas madrugadas, discutindo como cada detalhe poderia ficar melhor escrito, esse trabalho é seu também.

À Diana, minha “babã” orientadora, que foi um exemplo de pessoa e profissional, obrigada pelo voto de confiança, te levarei no meu coração eternamente. Te agradeço infinitamente por cada ajuda, com certeza sou uma pessoa melhor depois de você.

À Salete, minha “dinda” coorientadora, que também foi exemplo de pessoa e profissional, obrigada por toda a disponibilidade que você sempre ofereceu, também te levarei no meu coração eternamente.

À Barbosa, meu “dindo” supervisor, pelo apoio desde a graduação, pela disponibilidade e ajuda em todas as vezes que precisei, foi muito importante para mim cada ato de carinho e o agradeço infinitamente. Te levarei no meu coração eternamente.

À Luciana, pela amizade, ensinamentos, apoio, compreensão e carinho. Enfim, por ser essa pessoa maravilhosa, te levarei sempre em meu coração.

À Celycleide, Hugo, Juliana, Jullie, Luiz, Marcos, Nilson, Peixinho e Raissa por tornarem a caverna um lugar tão acolhedor e familiar, obrigada a cada um. Vou levar vocês no meu coração sempre. À Hugo ainda, pelas caronas de todos os dias.

À Angelucia, Emerson, Jessica, Leudiane, Havena, Rodrigo e Sâmara por todo o apoio que sempre me deram, vocês são maravilhosos e tenho muita sorte em ter feito o mesmo programa de pós-graduação com vocês, foi maravilhoso.

À Danillo, Djenffer, Fernanda, Joyce, Leonardo e Vanessa por serem amigos incríveis e sempre entenderem as vezes que desmarquei as saídas. Amo vocês demais da conta.

À Allisson, Breno, Diego, Igor, Jeffersson por compreenderem todos os aniversários perdidos. Vocês são os melhores primos-irmãos que eu poderia ter. Amo vocês demais.

À Claudio, Francisco (abelha), Francisco (solo), Gedeon, Hebert, Marcos e Rosilene por serem funcionários maravilhosos, por toda a disponibilidade, pelas conversas e gargalhadas.

Ao programa de pós-graduação por ter me permitido esse título e conhecer tantas pessoas maravilhosas.

A cada um que eu não citei, mas que ajudou a chegar até aqui, minha gratidão será eterna.

Gratidão!

Se fui capaz de ver mais longe, é porque me apoiei
em ombros gigantes.

(NEWTON, Sir Isaac)

Lute como uma garota!

RESUMO

GALDINO, Tatiane Luzia Gomes. **Aperfeiçoamento de ferramentas para coleta de gases de efeito estufa em sistemas de produção agropecuários no Semiárido**. 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Pernambuco, Petrolina, 2019.

Os gases de efeito estufa (GEEs) existem naturalmente na atmosfera e são essenciais para a manutenção da temperatura e existência de vida na Terra, embora o aumento de sua concentração gere impactos sobre o clima e a biodiversidade do planeta. A agropecuária foi responsável por 22% das emissões brasileiras de GEEs em 2016 e a mensuração adequada dessas emissões é fundamental para o desenvolvimento de medidas de mitigação. O objetivo desse trabalho foi testar e selecionar materiais para o aperfeiçoamento de ferramentas empregadas na avaliação de emissão de GEEs pela agropecuária (pelo solo e por fermentação entérica). Foram testados quatro materiais para recobrimento das câmaras estáticas: pintura branca, manta térmica aluminizada, tela de sombreamento e espuma de polietileno expandido mais adesivo branco. O tratamento pintura branca apresentou menor temperatura interna da câmara e os recobrimentos não afetaram os fluxos de GEEs (N_2O , CH_4 e CO_2) emitidos pelo solo. Dessa forma, considerando o custo de cada tratamento, o mais indicado é a câmara apenas pintada de branco. Para o teste de adaptação dos amostradores, foram montados três conjuntos de amostradores e comparados ao aparato padrão, que é montado com peças das marcas Swagelok® e SBU® e vem sendo utilizado atualmente nas pesquisas com pequenos ruminantes na Embrapa Semiárido. Os tratamentos avaliados foram: canga completa Swagelok®; canga completa DK-Lok®; canga mista Dk-Lok®/SBU®; canga testemunha (Swagelok®/SBU®). Todos os amostradores atingiram a condição de calibração. O custo de montagem de cada amostrador foi de R\$ 626,13, R\$ 689,11, R\$ 390,13 e R\$ 423,06 para os amostradores testemunha, completo Swagelok®, misto DK-Lok® e completo DK-Lok®, respectivamente. Quando levado em consideração os dois fatores avaliados (calibração e custo), os amostradores misto DK-Lok® e completo DK-Lok® apresentaram os melhores resultados. O aperfeiçoamento de ambas as técnicas pode contribuir com a elaboração dos inventários brasileiros de GEEs, aumentando a sustentabilidade e a competitividade da agropecuária brasileira.

Palavras-chave: CO_2 ; CH_4 ; N_2O ; Gás traçador; Câmara estática; Pequenos ruminantes.

ABSTRACT

GALDINO, Tatiane Luzia Gomes. **Tools improvement for greenhouse gases collection in semi-arid farming systems.** 2019. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Pernambuco, Petrolina, 2019.

Greenhouse gases (GHGs) naturally exist in the atmosphere and are essential for maintaining the temperature and the life on Earth, despite the increase of their concentration has impacts on the climate and on the biodiversity of the Earth. Agricultural were responsible for 22% of Brazilian GHGs emissions in 2016 and correct measurements of these emissions is essential for development of mitigation strategies. This study aimed to test and select matherials for improvement the tools used in GHGs evaluation of agricultural systems (soils and enteric fermentation). Four coatings for static chambers were evaluated: white paint, aluminized thermal blanket, shading screen and expanded polyethylene foam with white adhesive. Painting the chambers in the white color promoted the lowest internal temperature and different coverings did not affect the fluxes of GHGs (N₂O, CH₄ and CO₂) emitted by the soil. Then, considering the cost of each treatment, the most suitable for the conditions evaluated here was the chamber only painted in the white color. For the sampling adaptation test, three sets of samplers were assembled and compared to the standard apparatus, this in turn is assembled with parts from the Swagelok® and SBU® brands, and is currently being used in research with small ruminants at Embrapa Semiárido. Thus, the treatments evaluated were: complete Swagelok®; complete DK-Lok®; mixed Dk-Lok® / SBU®; witness (Swagelok® / SBU®). All samplers reached the calibration condition. The cost of each sampler was R\$ 626.13, R\$ 689.11, R\$ 390.13 and R\$ 423.06 for the control, Swagelok® complete, DK-Lok® mixed and DK-Lok® complete, respectively. When taking into consideration the two evaluated factors (calibration and cost), DK-Lok® mixed and DK-Lok® complete samplers showed the best results. Improvement of these both techniques can contribute to Brazilian GHG inventories, increasing sustainability and competitiveness of Brazilian agricultural.

Keywords: CO₂; CH₄; N₂O; Tracer gas; Chamber static; Small ruminants.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 1 – Revisão de Literatura

Figura 1. Metodologias para coleta de GEEs emitidos pelo solo: sistema de câmara fechada (A), covariância por redemoinho (B), sensoriamento remoto (C).....	25
Figura 2. Câmaras estáticas fechadas: plush-in (A) e base-topo (B).....	27
Figura 3. Esquema da câmara estática do tipo base-topo utilizada neste experimento. Tampa antes e após a colocação sobre a base (A), formato e dimensões da tampa (B) e formato e dimensões da base (C)	30
Figura 4. Metodologias para mensuração de metano entérico: câmara de respiração (A) e máscara ventilada (B)	32
Figura 5. Metodologias para mensuração de metano entérico: sistema GreenFeed® (A) e técnica do gás traçador de hexafluoreto de enxofre (B)	33
Figura 6. Ilustração da técnica do gás traçado SF ₆ e do aparato coletor-armazenador de ar ruminal instalado em caprino da raça Canindé.....	34
Figura 7. Ilustração comparativa entre o sistema Argentino (ARG) e o sistema Neozelandês (NZL).....	36
Figura 8. Amostradores de ar ruminal OP5 (placa com orifício de 0,05 mm), CAP 1.5 (tubo capilar com 1,5 cm de comprimento) e CAP 100 (tubo capilar com 100 cm de comprimento)	37

Capítulo 2 - Modificação de câmaras estáticas fechadas para coleta de gases de efeito estufa emitidos pelo solo

Figura 1. Esquemática e dimensões (mm) da câmara estática utilizada neste artigo.....	48
Figura 2. Tratamento pintura branca (A) e tratamento manta térmica aluminizada (B)	49
Figura 3. Tratamento tela de sombreamento (A) e tratamento espuma mais adesivo (B)	49
Figura 4. Médias da temperatura do ar (A) e da umidade relativa do ar (B) durante a coleta das amostras de gases emitidos pelo solo nos meses de março, julho e novembro de 2019, em Petrolina - PE.....	52

Capítulo 3 - Modificação de técnica do gás traçador para coleta de metano entérico emitido pelos pequenos ruminantes

- Figura 1. Sistema de amostragem e armazenamento de CH₄ entérico montado em um caprino da raça Canindé. Foto: Layse Araújo Gordiano 64
- Figura 2. Esquema de montagem do amostrador de ar ruminal. 1 – Corpo do engate rápido conectado ao cilindro de armazenamento. 2 - Espiga do engate rápido, que deve ser acoplado ao corpo do engate rápido durante as coletas. 3 – Mangueira em poliuretano (TPU). 4 – Conector macho. 5 – Esfera em aço inoxidável. 6 – Conector fêmea. 7 – Filtro. 8 – Bico aspirador em tetrafluoroetileno-co-perfluoropropil vinil éter (PFA). 9 – Conjunto ball bearing montado 65
- Figura 3. Tratamentos mista (A) e completa (B) Swagelok®. 1- Filtro; 2– Ball bearing SBU®; 3- Ball bearing Swagelok®; 4- Conjunto engate rápido 66
- Figura 4. Tratamentos mista (A) e completa (B) DK-Lok®. 1- Filtro; 2– Ball bearing DK-Lok®; 3- Conjunto engate rápido..... 66
- Figura 5. Evolução dos tratamentos durante a calibração dos aparatos para avaliação da emissão de CH₄ entérico por pequenos ruminantes..... 70

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 – Revisão de Literatura

Tabela 1. Fatores que afetam as emissões de N ₂ O em solos agrícolas.....	21
Tabela 2. Fatores que afetam as emissões de CH ₄ em solos	23
Tabela 3. Fatores que afetam as emissões de CO ₂ em solos	24
Tabela 4. Resumo dos aparatos coletores-armazenadores utilizados mundialmente	39

Capítulo 2 - Modificação de câmaras estáticas fechadas para coleta de gases de efeito estufa emitidos pelo solo

Tabela 1. Valor, área dos materiais utilizados para o recobrimento das câmaras e o custo associado ao recobrimento de uma câmara.	50
Tabela 2. Temperatura interna das câmaras estáticas (média ± erro padrão da média) em função do recobrimento (Pintura branca, Manta térmica aluminizada, Espuma mais adesivo e Tela de sombreamento)	53
Tabela 3. Fluxos de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ (média ± erro padrão da média) em função do recobrimento das câmaras estáticas e das épocas de coleta, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Petrolina-PE.....	54

Capítulo 3 - Modificação de técnica do gás traçador para coleta de metano entérico emitido pelos pequenos ruminantes

Tabela 1. Custo associado à montagem de uma amostrador	74
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	18
2.1. GERAL	18
3. CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA PELO SOLO	19
3.1.1. <i>Emissões de Óxido Nitroso em Solos Agrícolas</i>	20
3.1.2. <i>Emissões de Metano em Solos Agrícolas</i>	22
3.1.3. <i>Emissões de Dióxido de Carbono em Solos Agrícolas</i>	23
3.2. METODOLOGIAS PARA MENSURAÇÃO DOS GEES EMITIDOS PELO SOLO	25
3.2.1. Materiais e Características das Câmaras Estáticas	28
3.3. EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO PELOS RUMINANTES	31
3.3.1. <i>Gás Traçador Hexafluoreto de Enxofre (SF₆)</i>	33
3.3.2. <i>Aparelho de Coleta e Armazenamento</i>	35
REFERÊNCIAS	40
4. CAPÍTULO 2 - MODIFICAÇÃO DE CÂMARAS ESTÁTICAS FECHADAS PARA COLETA DE GASES DE EFEITO ESTUFA EMITIDOS PELO SOLO	44
INTRODUÇÃO	45
MATERIAL E MÉTODOS	46
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	46
DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	47
AMOSTRAGEM	50
CÁLCULO DOS FLUXOS DOS GASES.....	51
ANÁLISE ESTATÍSTICA	51
RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
TEMPERATURA DO AR E DO SOLO E UMIDADE RELATIVA DO AR	52
EFEITO DO REVESTIMENTO SOBRE A TEMPERATURA INTERNA DAS CÂMARAS	52
EFEITO DO RECOBRIMENTO SOBRE OS FLUXOS DE GASES DE EFEITO ESTUFA	54
CONCLUSÕES	58

LITERATURA CITADA	59
5. CAPÍTULO 3 - MODIFICAÇÃO DA TÉCNICA DO GÁS TRAÇADOR PARA COLETA DE METANO ENTÉRICO EMITIDO POR PEQUENOS RUMINANTES .	61
INTRODUÇÃO	62
MATERIAL E MÉTODOS	63
DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	63
APARATOS DE AMOSTRAGEM CONFECCIONADOS	65
MONTAGEM DO APARELHO DE COLETA	66
CALIBRAÇÃO	67
ANÁLISE ESTATÍSTICA	69
RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
CONCLUSÃO	74
LITERATURA CITADA	75
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	77

1. INTRODUÇÃO

O aumento da concentração dos gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera resulta na elevação da temperatura média do planeta Terra, que por sua vez altera os padrões de precipitação e evapotranspiração, causando inúmeras anomalias climáticas (MCTIC, 2017). De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (2019), a temperatura média global para o período de 2015-2019 é estimada em $1,1 \pm 0,1$ °C acima da média pré-industrial.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), 76% do total das emissões antrópicas de GEEs em 2010 foram de dióxido de carbono (CO_2), 16% de metano (CH_4) e 6% de óxido nitroso (N_2O). Contudo, esses dois últimos gases apresentam respectivamente, 28 e 265 vezes maior potencial de aquecimento global que o CO_2 (IPCC, 2014).

O Brasil emitiu 2,3 Gt CO_2 eq no ano de 2016, sendo a agropecuária responsável por 22% das emissões brutas, o que coloca o país como o terceiro maior emissor global por esse setor (SEEG, 2018). Do total das emissões do setor agropecuário para este ano, 64,8% foram provenientes da fermentação entérica, 27% foram decorrentes de solos agrícolas, 4,5% foram devido ao manejo de dejetos animais, 2,6% proveniente do cultivo de arroz irrigado e 1,1% em decorrência da queima de resíduos agrícolas (SEEG, 2018).

Os solos agrícolas podem atuar como fonte ou dreno de GEEs, dependendo do sistema de manejo utilizado. Uma forma de mensurar os fluxos de CO_2 , N_2O e CH_4 emitidos da superfície do solo é através das câmaras estáticas. Essa técnica é ideal para o estudo de pequenas parcelas experimentais ou de múltiplos locais distintos que necessitam ser estudados, por ser relativamente barata e de fácil implantação (SERTA, 2013). Entretanto, é de extrema importância que o material da câmara não se aqueça demasiadamente a fim de não interferir nos fluxos de gases. Portanto, principalmente nas condições de elevadas temperaturas, típicas do Semiárido, é fundamental a identificação de materiais que evitem o aumento exacerbado de temperatura em seu interior durante as coletas.

Em relação ao CH_4 entérico, o mesmo pode ser medido por diversas técnicas, dentre as quais a técnica do gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF_6) na qual uma capsula é introduzida no rumem/retículo do animal e libera uma quantidade pequena e conhecida do gás traçador. O SF_6 liberado pela cápsula mistura-se aos gases da fermentação ruminal atuando como um traçador do gás CH_4 produzido pelo animal. A coleta de uma amostra dos gases emitidos pelo animal pode ser feita com a utilização de um sistema amostrador de ar ruminal

acoplado a um cilindro previamente evacuado (BERNDT et al., 2014; JOHNSON et al., 1994) e a quantificação do gás na amostra é feita por cromatografia gasosa.

Quanto aos sistemas amostradores e coletores de ar ruminal, o material utilizado precisa ser robusto o suficiente para resistir a luz, temperatura, umidade e possíveis danos provocados acidentalmente pelos animais, sem comprometer a qualidade das amostras. Adicionalmente, é importante que o seu custo não seja elevado, uma vez que é necessária a ocorrência de sucessivas repetições experimentais.

Nesse contexto, o teste de novos materiais para o recobrimento das paredes externas das câmaras estáticas pode evitar que ocorram flutuações na temperatura, o que pode afetar a produção e emissão dos GEEs pelo solo. Já a substituição das peças para montagem do amostrador para coleta de metano entérico pode baratear seu custo de produção, além de acabar com a dependência de uma marca específica. Ambos aparatos de coleta são bastante conhecidos e indicados para a mensuração dos GEEs (BERNDT et al. 2014; DELLE VEDOVE; GRIGNANI; BERTORA, 2012).

Portanto, como a fermentação entérica e os solos são os principais emissores de GEEs pela agropecuária brasileira, a qualidade das amostragens de gases nessas duas áreas é de grande importância para que as informações levantadas em campo representem a realidade e contribua de forma significativa na elaboração dos inventários brasileiros de GEEs.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Testar e selecionar materiais para o aperfeiçoamento de ferramentas empregadas na avaliação de emissão de gases de efeito estufa pela agropecuária no Semiárido.

2.2. Específicos

- a) Selecionar materiais alternativos (refletivos e/ou isolantes) para recobrimento de câmaras estáticas de coletas de GEEs emitidos pelo solo;
- b) Montar e calibrar amostradores de ar ruminal com peças alternativas às já empregadas para a coleta de CH₄ entérico em pequenos ruminantes.

3. CAPITULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA

Foi realizado um levantamento bibliográfico, por meio de uma busca na base de dados SciELO, Scopus e Google Acadêmico, utilizando como palavras-chave “Câmara estática”, “Gases de efeito estufa”, “semiárido” “emissão de CO₂”, “emissão de CH₄” “emissão de N₂O” “consumo de CO₂” “consumo de CH₄”, “consumo de N₂O”, “aquecimento global”, “Static chamber”, “Greenhouse gases”, “Semi-arid”, “CO₂ emission”, “CH₄ emission”, “N₂O emission”, “CO₂ consumption”, “CH₄ consumption”, “N₂O consumption”, “global warming”. “metano entérico”, “gás traçador”, “hexafluoreto de enxofre”, “gases de efeito estufa”, “ruminantes”, “enteric methane”, “tracer gas”, “sulfur hexafluoride”, “greenhouse gases” e “ruminants”. Foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão: artigos em idioma Português, Inglês e Espanhol e publicados até o período atual.

Após a leitura dos títulos foram aplicados os critérios de exclusão, eliminando os artigos repetidos e os estudos que continham outros eixos temáticos. Assim, 42 foram selecionados para realização desta revisão de literatura.

3.1. Emissões de Gases de Efeito Estufa pelo Solo

O fluxo constante de energia solar que atravessa a atmosfera regula o clima terrestre. Os GEEs estão presentes na atmosfera e possuem a capacidade de bloquear parte dessa radiação. O óxido nitroso (N₂O), o metano (CH₄), o dióxido de carbono (CO₂), o ozônio (O₃) e o vapor d'água são os principais GEEs e existem naturalmente na atmosfera, sendo essenciais para a manutenção da vida no planeta, já que sem eles a temperatura média da Terra seria de 18 °C abaixo de zero (MCTI, 2016).

Como consequência das atividades antrópicas, a concentração dos principais GEEs (CO₂, CH₄ e N₂O) vem aumentando na atmosfera (MCTI, 2016), podendo acarretar na elevação da temperatura média da Terra de 0,3°C a 4,8°C até 2100, impactando no clima da Terra, nos padrões de chuva e no equilíbrio entre as estações de chuva (IPCC, 2014, IPCC, 2007).

O IPCC, com o intuito de quantificar e comparar a capacidade que cada GEEs possui em afetar a força de radiação e, conseqüentemente, o clima do planeta, criou um índice chamado Potencial de Aquecimento Global – PAG (*Global Warming Potential – GWP*), que expressa informações sobre qualquer GEE em relação ao CO₂, levando em consideração, o tempo de vida na atmosfera do GEE em questão e suas propriedades radiativas. Dessa forma,

o PAG de um determinado gás consiste na integração matemática da força de 1 kg de CO₂, em um determinado horizonte de tempo, em comparação à força radioativa de 1 kg de CO₂ (SHINE et al. 1990). O PAG tem por objetivo padronizar os cálculos das emissões dos GEEs em uma mesma unidade, sendo esta, o CO₂-equivalente (CO₂e). Assim, para um horizonte de tempo de 100 anos, o CH₄ PAG de 28, enquanto para o N₂O esse valor é de 265 (IPCC, 2014a).

No ano de 2016, a agropecuária foi responsável por cerca de 22% (499 milhões de toneladas equivalentes de CO₂) das emissões brutas de GEEs do Brasil. Deste total 64,8% foram provenientes da fermentação entérica (processo digestivo que ocorre em herbívoros ruminantes que produzem metano), 27% foram decorrentes de solos agrícolas (devido a aplicação de fertilizantes nitrogenados, dejetos de animais e manejo de Organossolos), 4,5% tiveram origem no manejo de dejetos animais, 2,6% foi proveniente do cultivo de arroz irrigado e 1,1% ocorreu pela queima de resíduos agrícolas (SEEG, 2018).

Contudo, vale ressaltar que, a agropecuária possui elevado potencial de reduzir suas emissões através de inúmeras opções de mitigação, principalmente aquelas relacionadas ao aumento da eficiência de uso das pastagens no Brasil (SEEG, 2018).

3.1.1. Emissões de Óxido Nitroso em Solos Agrícolas

O N₂O é um importante GEE, porque possui um elevado PAG (265) e tempo de vida útil na atmosfera (114 anos). As emissões desse gás resultam de diversas atividades, incluindo práticas agrícolas, queima de combustíveis fósseis e de biomassa e mudança no uso da terra (IPCC, 2014). No Brasil, o N₂O é emitido, predominantemente, no setor da Agropecuária (83,7% em 2017), com um crescimento de 75,7% entre 1990 e 2017 (SEEG, 2018).

Do total das emissões desse setor para o ano de 2017, 96,3% foram provenientes de solos agrícolas, 3,0% devido ao manejo de dejetos de animais e os 0,7% restantes, foram resultado da queima de resíduos agrícolas (SEEG, 2018). A maior parte do N₂O emitido pelos solos é produzida em dois processos biológicos mediados por microrganismos: nitrificação e desnitrificação (SIGNOR; CERRI, 2013).

A nitrificação é a oxidação do amônio (NH₄⁺) a nitrato (NO₃⁻). Esse processo, que depende da presença de oxigênio, ocorre em duas etapas: nitritação, no qual o NH₄⁺ é oxidado a nitrito (NO₂⁻), e nitratação, em que ocorre a oxidação do NO₂⁻ para NO₃⁻ (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Alguns solos aerados podem conter microsítios anaeróbicos, tornando as taxas de oxidação de NH_4^+ e NO_2^- praticamente constantes e favorecendo o acúmulo de NO_2^- no solo. Em condições como esta, os microrganismos nitrificadores podem utilizar, alternativamente, o NO_2^- como aceptor final de elétrons, levando a formação de NO e N_2O (KHALIL; MARY; RENAULT, 2004).

Já a desnitrificação é a oxidação anaeróbica do NO_3^- até N_2 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A transformação completa desse processo produz N_2 , mas, quando a desnitrificação é incompleta, há produção e emissão de NO e N_2O . As taxas de desnitrificação nos diferentes ecossistemas são reguladas, principalmente, pelo teor de O_2 , NO_3^- e de substrato orgânico (SIGNOR, 2010).

Sendo a nitrificação e a desnitrificação processos mediados por microrganismos, todos os fatores que afetam esses processos afetarão a produção e a emissão do N_2O (Tabela 1) (SIGNOR, 2010).

Tabela 1. Fatores que afetam as emissões de N_2O em solos agrícolas

Fatores	Efeito nas emissões de N_2O
Aeração do solo	Aeração intermediária: alta taxa de nitrificação, com maior produção de N_2 Baixa aeração: maior a produção de N_2O
Conteúdo de água no solo	Aumento do conteúdo de água: aumento das emissões N_2O , porque aumenta a desnitrificação Condições muito úmidas: declínio das emissões de N_2O e aumento da emissão de N_2 (desnitrificação completa) Mudança de condição (secagem/umidecimento): aumento da produção
Textura do solo	De arenoso par argiloso: aumenta as emissões de N_2O
Compactação	Aumento da compactação: há aumento nas emissões de N_2O , porque a disponibilidade de O_2 diminui
Material orgânico	Aumento do teor de carbono orgânico: emissões de N_2O aumentam, porque matéria orgânica é fonte de energia aos microrganismos e porque a decomposição desse material consome O_2
Culturas e vegetação	Plantas, mas principalmente seus resíduos e raízes remanescentes após a colheita aumentam a emissão de N_2O
Temperatura	Aumentando-se a temperatura: aumentam as emissões de N_2O
Estação do ano	Verão úmido: maior produção de N_2O Degelo na primavera: elevada produção de N_2O Inverno: menores emissões de N_2O

Fonte: Adaptado de Brentrup et al., (2000)

3.1.2. Emissões de Metano em Solos Agrícolas

O CH₄ é um dos principais gases que contribuem para o efeito estufa, tendo um potencial de aquecimento, 28 vezes maior do que uma molécula de CO₂, para um horizonte de tempo de 100 anos (IPCC, 2014a). Sua emissão é proveniente de diversas atividades, dentre as quais: fermentação entérica, tratamento de resíduos, cultivo de arroz irrigado e manejo de dejetos de animais (SEEG, 2018).

No Brasil, a agropecuária foi responsável por 69,44% das emissões nacionais de CH₄ em 2017. Deste total, 91,63% foram oriundos da fermentação entérica (processo digestivo que ocorre em herbívoros ruminantes). As emissões restantes foram devido ao manejo de dejetos de animais, ao cultivo do arroz irrigado e à queima de resíduos agrícolas que responderam por 5,09%, 3,74% e 1,16%, respectivamente (SEEG, 2018).

Os solos podem se comportar como emissores (fonte) ou consumidores (dreno) do CH₄, sendo a maior parte da produção desse gás no solo atribuída ao processo de metanogênese, enquanto que sua oxidação é atribuída ao processo de metanotrofia (SERRANO-SILVA et al. 2014).

O processo de metanogênese é baseado na respiração anaeróbica que ocorre em condições muito redutoras (-200 mV), ou seja, na ausência de O₂, resultando na produção do CH₄. Também pode haver produção desse gás em solos aeróbicos, devido à presença de microsítios anaeróbicos (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Nesse processo, os microrganismos fermentadores produzem ácidos graxos, compostos aminados e aromáticos que são utilizados por redutores de hidrogênio (H⁺) como aceptores de elétrons, formando H₂ e CO₂, os quais são utilizados como fonte de C por bactérias metanogênicas para produção do metano (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Solos que se encontram saturados com água por longos períodos, possuem elevada atividade metanogênica, se comportando como fonte de CH₄ (LE MER; ROGER, 2010). Além disso, a produção desse gás nessas condições é influenciada pela composição e textura do solo (solos argilosos possuem mais sítios aneróbicos que os argilosos) e pelo teor de aceptores inorgânicos de elétrons (MOSIER, et al. 2004).

Os solos agrícolas aerados podem se comportar como consumidor de CH₄, uma vez que as bactérias metanotróficas podem utilizar esse gás como única fonte de carbono e energia, possibilitando economia de energia em comparação com assimilação de carbono pelos organismos autotróficos. As bactérias possuem um importante papel no fluxo do metano no sistema solo-atmosfera, formando uma barreira biológica no solo (CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

A produção e a oxidação do CH₄ no solo são realizadas por microrganismos fermentadores, de forma que todos os parâmetros que influenciam sua atividade afetarão também as emissões de CH₄ (Tabela 2). A emissão de CH₄ é, portanto, um balanço entre produção e consumo desse gás no solo.

Tabela 2. Fatores que afetam as emissões de CH₄ em solos

Fatores	Efeito nas emissões de CH ₄
Aeração do solo	Aeração alta: baixa produção de CH ₄ Baixa aeração: elevação das emissões de CH ₄
Teor de água	Quanto mais próximo da superfície, mais úmido será o solo, conseqüentemente maior a emissão de CH ₄
Textura do solo	De argiloso para arenoso: diminui a emissão de CH ₄
Concentração de CO ₂	Aumento da concentração: há aumento nas emissões de CH ₄ , porque a metanogênese é anaeróbica
Fertilizantes nitrogenados	Reduzem a produção de CH ₄ , uma vez que competem pela mesma enzima envolvida na produção de N ₂ O
Material orgânico	A adição de materiais orgânicos frescos aumenta a produção e emissão de CH ₄ , porque a decomposição consome O ₂ e gera condições anaeróbicas
pH	O consumo de metano no solo é máximo em um pH em torno de 7,0.
Temperatura	Elevação da temperatura: aumento das emissões de CH ₄

Fonte: Ler Mer e Roger (2001); Serrano-Silva et al., (2014)

3.1.3. Emissões de Dióxido de Carbono em Solos Agrícolas

Em termos globais, as emissões de CO₂ são provenientes de diversas atividades, tais como queima de combustíveis fósseis, processos industriais e mudanças no uso da terra e florestas. No Brasil, as emissões de líquidas de CO₂ são predominantemente oriundas da mudança do uso da terra, em particular da conversão de florestas para o uso agropecuário (MCTI, 2016). Em 2017 esse setor foi o responsável 62,80% das emissões nacionais de CO₂ (SEEG, 2018).

As transformações do carbono (C) no solo compreendem, essencialmente, duas etapas: a fixação do C-CO₂ e a regeneração, os quais são regulados por processos de oxirredução do C, que regulam os fluxos de CO₂ para compostos orgânicos e destes para CO₂ e CH₄. Tais processos correspondem, à dreno e fonte de C no sistema solo-atmosfera, respectivamente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A fixação do C-CO₂ atmosférico aos tecidos vegetais é efetuada pelo processo de fotossíntese (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). O material orgânico dos tecidos vegetais pode

ser adicionado ao solo na forma de liteira ou servir de alimento para os animais, podendo então ser consumido durante a respiração, liberando CO₂ ou, posteriormente, ser depositado no solo como resíduos animais e vegetais. Após o seu depósito no solo, o resíduo animal ou vegetal é metabolizado por microrganismos e, gradualmente, o C retorna à atmosfera na forma de CO₂ (WEIL; BRADY, 2016). A decomposição desses materiais que contêm carbono por meio da atuação dos macro e microrganismos do solo corresponde ao processo de regeneração (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os processos de fixação ou regeneração do C do solo dependem das práticas de uso e manejo do solo, dentro dos limites impostos pelas condições climáticas (ESCOBAR, 2008; FRANK; LIEBIG; TANAKA, 2006), podendo o solo atuar como fonte ou dreno de C para a atmosfera (CERRI et al. 2006).

Dentre os fatores ambientais que afetam as emissões do CO₂ pelo solo, temos: aeração, umidade do solo, textura e compactação do solo, material orgânico e temperatura (Tabela 3).

Tabela 3. Fatores que afetam as emissões de CO₂ em solos

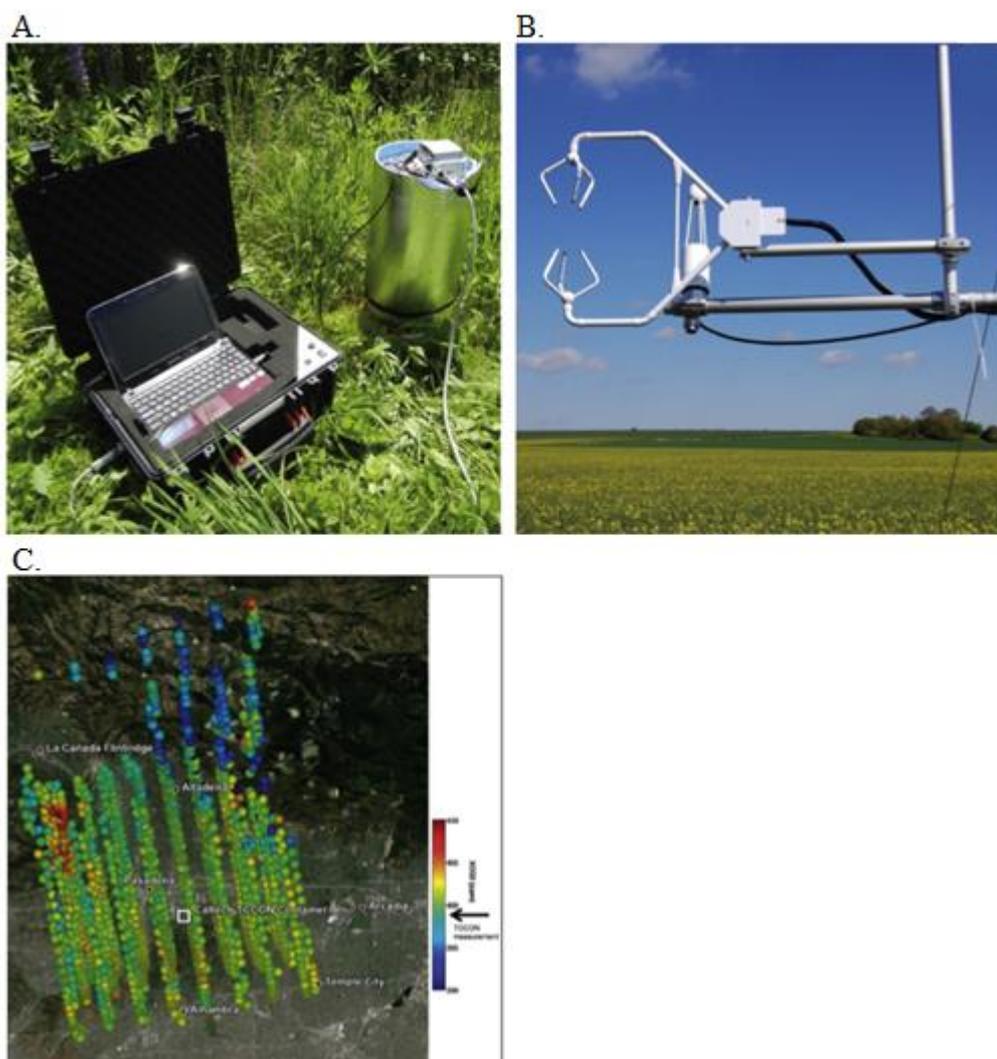
Fatores	Efeito nas emissões de CO ₂
Aeração do solo	Aeração alta: alta emissão de CO ₂ devido à decomposição aeróbica dos compostos orgânicos no solo
Umidade do solo	A umidade é importante para a atividade microbiana do solo e formação do CO ₂ . Contudo, em solo encharcado há favorecimento da formação do CH ₄
Textura do solo	Solo argiloso tem maior capacidade de formação de CO ₂ , contudo solos arenosos tem maior capacidade de difusão, quando comparado a este último.
Compactação	Aumento da compactação: há redução nas emissões de CO ₂ , porque há menor disponibilidade de O ₂ para reações microbianas e menor difusão dos gases para a atmosfera
Material orgânico	Aumento do teor de carbono orgânico: emissões de CO ₂ aumentam devido à maior disponibilidade de substrato para decomposição pelos microrganismos
Culturas e vegetação	Aumento dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo aumentam a emissão de CO ₂ também devido à maior disponibilidade de substrato
Temperatura	Aumentando-se a temperatura: aumentam as emissões de CO ₂ (até um certo limite), porque a atividade microbiana é estimulada

Fonte: Tavares (2014); Carvalho et al., (2010); Capucho (2016)

3.2. Metodologias para Mensuração dos GEEs Emitidos pelo Solo

A medição dos fluxos dos GEEs emitidos pelo solo pode ser feita por diversas técnicas, dentre as quais: cálculo a partir da teoria da difusão, métodos micrometeorológicos e câmaras (Figura 1) (HUTCHINSON; LIVINGSTON, 2002; OERTEL et al., 2016). O primeiro deles combina medidas independentes do coeficiente de difusão e do gradiente de concentração de um gás no solo usando a lei de difusão de Fick. A vantagem desse método consiste no distúrbio mínimo no local após a instalação das sondas para amostragem (HUTCHINSON; LIVINGSTON, 2002).

Figura 1. Metodologias para coleta de GEEs emitidos pelo solo: sistema de câmara fechada (A), covariância por redemoinho (B), sensoriamento remoto (C)



Fonte: Oertel et al., (2016)

Os métodos micrometeorológicos empregam uma combinação da teoria e medição da turbulência atmosférica para estimar o fluxo de gás para uma superfície. Em geral, os métodos

micrometeorológicos são flexíveis, pois podem ser utilizados para estimar a emissão de gases de algum ponto e da maioria das fontes não pontuais (MC GINN, 2006). Entretanto, esses métodos geralmente possuem maior custo e complexidade técnica (HUTCHINSON; LIVINGSTON, 2002), além de só poderem ser aplicados quando as condições climáticas são favoráveis (DENMEAD, 2008).

A técnica da câmara consiste em restringir um volume de ar dentro de um recipiente sem fundo e com topo fechado colocado sobre a superfície do solo, e monitorar mudanças na concentração do gás de interesse (DENMEAD, 2008; HUTCHINSON; LIVINGSTON, 2002), sendo a metodologia mais comumente utilizada, devido ao custo, versatilidade e facilidade de implantação (DELLE VEDOVE; GRIGNANI; BERTORA, 2012). Além disso, são frequentemente aplicáveis quando não é possível utilizar da teoria da difusão ou métodos micrometeorológicos para medição dos gases (HUTCHINSON; LIVINGSTON, 2002).

As câmaras são divididas em estática fechada e dinâmica fechada, a depender das condições sob as quais elas funcionam durante o período de medição (HUTCHINSON; LIVINGSTON, 2002). Segundo Delle Vedove; Grignani; Bertora (2012), a diferença entre os dois tipos é a presença ou não de um analisador *in-situ* conectado à câmara por um circuito pneumático fechado (presente apenas na câmara dinâmica fechada).

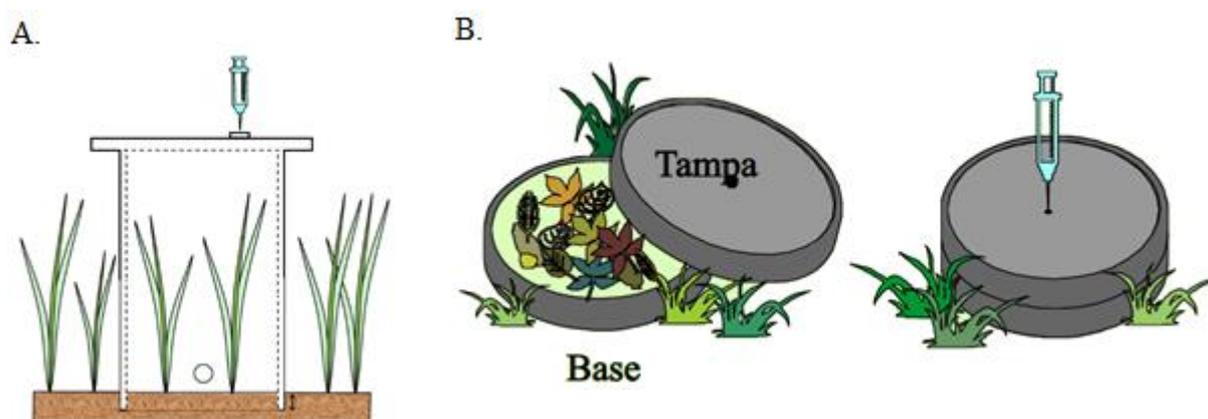
Cada modelo de câmara possui suas vantagens e limitações, sendo que a escolha depende do objetivo da pesquisa. Para a utilização por um período curto de implantação, como experimentos realizados durante uma safra ou um ciclo de cultivo, as câmaras estáticas são mais indicadas, uma vez que elas possuem maior sensibilidade e capacidade de medir fluxos pequenos. Já para monitorar a produção de fluxos por um longo período de tempo, como em estudos de variação nas emissões durante anos ou décadas, a câmara dinâmica é mais apropriada (HUTCHINSON; LIVINGSTON, 2002).

A técnica da câmara estática fechada pode ser aplicada em ambientes naturais ou agrícolas, além de ser ideal para o estudo de pequenas parcelas experimentais, locais diversos com terrenos variados ou em situações em que múltiplos locais distintos devem ser estudados sem investimentos significativos em infraestrutura (COLLIER et al., 2014), já que a câmara estática dinâmica tem um custo mais elevado.

Rochette e Eriksen-Hamel (2008) agruparam as câmaras estáticas em dois tipos: *plush-in* (Figura 2A) e *base-topo* (Figura 2B). A primeira é inserida no solo apenas no momento da medição. Já a segunda é composta pela base, que deve ser parcialmente enterrada ao solo e permanecer instalada durante todo o período experimental, e o topo que é acoplado à base apenas durante a coleta das amostras.

A inserção de câmaras e bases causam perturbações no solo alterando sua resistência às trocas gasosas (COLLIER et al. 2014). Contudo, a influência da perturbação no solo sobre os fluxos diminui com o tempo, estando as câmaras base-topo menos sujeitas a este problema do que as plush-in, uma vez a primeira possui sua base instalada previamente à coleta das amostras de gás (ROCHETTE; ERIKSEN-HAMEL, 2008).

Figura 2. Câmaras estáticas fechadas: plush-in (A) e base-topo (B)



Fonte: (A) Adaptada de <http://www.eosense.com/blog/greenhouse-gas-emissions-created-brackish-marsh-eastern-north-carolina/> (B) <https://slideplayer.com.br/slide/345755/>

Apesar de bases permanentes possuírem como vantagem a redução na perturbação do solo e do dano às raízes das plantas, há como desvantagem a possibilidade da criação de um microclima artificial (PARKIN; VENTEREA, 2010). Para minimizar o efeito da perturbação no solo pela instalação da base, Livingston e Hutchinson (2002) recomendaram um intervalo de pelo menos uma semana entre a instalação e a primeira medição do fluxo. Já Collier et al. (2014) e Parkin e Venterea (2010) sugeriram que as bases fossem inseridas no solo pelo menos 24 horas antes da primeira amostragem.

Além do erro induzido pela perturbação no solo, alguns outros fatores devem ser considerados. Segundo Levy et al. (2011), as maiores incertezas inerentes à mensuração dos fluxos dos gases é devido à precisão dos gases de calibração, à repetibilidade das medições de concentração, à escolha e falta de ajuste do modelo usado para calcular o fluxo, assim como, imprecisões nas medições de amostragem com relação a tempo, temperatura, pressão e volume da câmara.

As câmaras são consideradas um método de medição de fluxo de gás intrusivo, o que pode ocasionar modificação no fluxo que se pretende medir. Assim, é necessário o estudo dos seus múltiplos componentes como: materiais de fabricação, dimensões, vedações, isolamento

e porta de amostragem, de forma a garantir que os resultados obtidos representem adequadamente as condições que realmente ocorrem nos ambientes avaliados (LIVINGSTON; HUTCHINSON, 2002).

3.2.1. Materiais e Características das Câmaras Estáticas

Os materiais e componentes das câmaras estáticas não devem reagir com quaisquer gases emitidos pelo solo, nem emitir quaisquer contaminantes na atmosfera, nem no próprio solo, para não afetar a precisão na determinação dos fluxos de GEEs e gerar resultados inexatos (CLOUGH, et al., 2012).

Os materiais recomendados por Parkin e Venterea (2010) e por Hutchinson e Livingston (2002) para a confecção das câmaras são alumínio, aço inoxidável, policarbonato, cloreto de polivinila (PVC), polimetilmetacrilato (Plexiglas®, folha acrílica) ou polietileno. Quaisquer outros componentes como vedações, tubulações e septo também devem ser inertes. As câmaras devem ser robustas e, se forem utilizadas em áreas de pastagem, devem ser rígidas, de forma a evitar a flexão caso seja pisoteada e mastigada por animais em pastejo (CLOUGH et al., 2012).

Ao projetar o tamanho e a forma da câmara, devem ser levados em conta fatores como: espaçamento entre fileiras da cultura em estudo, altura da planta em estudo, aplicação de adubo mineral ou orgânico e local onde será implantada (COLLIER et al., 2014).

Para um bom desempenho da câmara deve-se considerar sua altura, área e perímetro. A área da câmara vai depender de onde ela será implantada, de maneira que ela seja tão grande quanto possível para capturar a variação espacial da área de estudo (CLOUGH et al., 2012). Segundo Rochette e Eriksen-Hamel (2008) para reduzir o erro relativo associado à câmara, deve-se manter a razão entre a área e o perímetro acima de 10 cm.

A altura da câmara (Figura 3B) afeta a medição dos fluxos de GEEs de várias formas. Rochette e Eriksen-Hamel (2008) indicaram que sejam evitadas alturas inferiores a 10 cm, uma vez que, quanto mais altas, menor o impacto nas variáveis ambientais e maior o fluxo mínimo detectável no equipamento onde a amostra será analisada. Portanto, câmaras muito altas podem ser um fator limitante para a avaliação de ambientes onde se espera que os fluxos de GEEs sejam reduzidos. Neste sentido, a altura ideal da câmara busca atingir um fluxo detectável mínimo razoável e minimizar as mudanças no ambiente do espaço livre.

De acordo com Livingston e Hutchinson (2002), as câmaras com seções transversais cilíndricas ou retangulares (Figura 3A) são mais comuns, mas qualquer geometria que não cause perturbação do sistema é aceitável. Os períodos de coleta de 20 a 60 minutos e as

relações volume/área de 10 a 20 cm são as mais comumente usadas para câmaras estáticas fechadas.

Quanto à base, sua calha (Figura 3C) deve ficar acima da superfície do solo. Esta deve ser tão baixa quanto possível, para evitar sombreamento total ou parcial do interior e para que não haja retenção de água após a chuva ou irrigação, o que poderia alterar a aeração do solo, a temperatura e os processos microbianos. Portanto, recomenda-se que as paredes da calha não sejam superiores a 5 cm de altura (COLLIER et al., 2014). A parte da base inserida no solo (Figura 3C) é outra dimensão crítica, pois, se inserida muito superficialmente no solo, pode levar ao vazamento dos fluxos dos gases ou até mesmo à entrada de ar, contaminando o espaço superior da câmara. Assim, Rochette e Eriksen-Hamel (2008) indicam a profundidade de inserção das bases de 5 cm.

Na calha deve ser incluído um material para vedar a tampa e evitar troca de gases durante a amostragem. Estudos indicam que o material da vedação deve ter difusividade baixa e ser flexível o suficiente para, quando comprimido, garantir que não haja vazamento do gás (CLOUGH et al., 2012). Parkin e Venterea (2010) utilizaram uma junta de borracha como material vedante. Também pode ser depositada água dentro da calha, antes do início da amostragem, para atuar como uma vedação entre a base e a tampa (CLOUGH et al., 2012). Hutchinson e Livingston (2001) simularam o uso de espuma com dimensões de 0,25 cm de largura e 0,25 cm de altura, em porosidades de 0,001 a 0,003 e observaram perdas de gás da ordem de 0,055% e 2,3% (fluxo de massa total), respectivamente.

A temperatura durante a coleta das amostras é outro fator de grande importância para a qualidade dos resultados gerados, já que mudanças na temperatura do solo podem afetar a produção dos gases, enquanto que mudanças de temperatura no interior da câmara afetam a pressão e influenciam a taxa de emissão dos gases pelo solo (ROCHETTE; ERIKSEN-HAMEL, 2008). Além disso, a implantação de uma câmara altera o balanço energético da superfície do solo, podendo ocasionar alteração da temperatura e, conseqüentemente, afetar a produção e as taxas de fluxos de GEEs emitidos pelo solo (CLOUGH et al., 2012).

As variações de temperatura podem ser reduzidas com a utilização de isolamentos (ROCHETTE; ERIKSEN-HAMEL, 2008), a fim de manter e preservar a temperatura do ar e do solo presente no momento da colocação do topo sobre a base (PARKIN; VENTEREA, 2010; COLLIER et al., 2014). Assim, é indicado que as paredes externas da câmara sejam cobertas com um material de cor clara ou com folhas reflexivas ou material isolante, ou ainda, de preferência, uma combinação de ambos.

Independente da escolha do material é necessário que as temperaturas do ar e do solo, dentro e fora da câmara sejam comparadas, como forma de comprovar que o material é satisfatório (PARKIN; VENTEREA, 2010; COLLIER et al., 2014). Para verificar se há diferença entre a temperatura interna e o externa da câmara é necessário incluir uma provisão para medir a temperatura (LIVINGSTON; HUTCHINSON, 2002).

A retirada da amostra de gás da câmara é feita pela porta de amostragem. Assim como todos os outros componentes, o material deve ser inerte ao gás e deve ser trocado com frequência para evitar vazamentos (COLLIER et al., 2014; CLOUGH et al., 2012). Segundo Livingston e Hutchinson (2002), ela é geralmente um septo auto vedante ou uma válvula com conexões Luer.

Figura 3. Esquema da câmara estática do tipo base-topo utilizada neste experimento. Tampa antes e após a colocação sobre a base (A), formato e dimensões da tampa (B) e formato e dimensões da base (C)

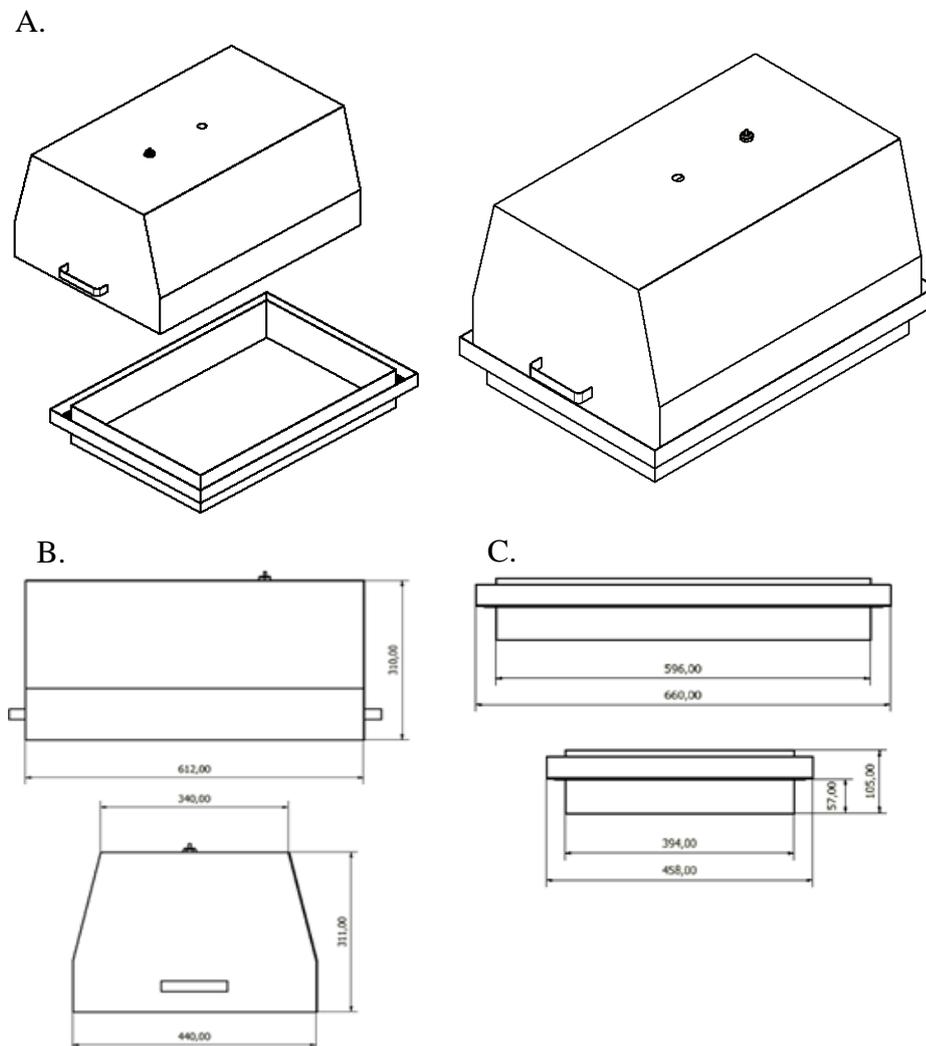


Imagem: Tatiane Galdino

3.3. Emissão de Metano Entérico pelos Ruminantes

O CH₄ entérico é produzido pelos microrganismos metanogênicos durante o processo digestivo dos ruminantes e, como não é metabolizado, sua remoção do trato digestório é feita pelo processo de eructação e respiração (MOMBACH et al., 2016). A intensidade da emissão deste gás depende de diversos fatores, como o tipo de animal, a quantidade e a qualidade da alimentação, a intensidade da atividade física, o seu grau de digestibilidade e outras práticas de manejo. Geralmente, quanto maior o consumo do alimento maior será a emissão de CH₄ e, quanto mais nutritiva a dieta, menor será a emissão por unidade de alimento ingerido (MCTI, 2016).

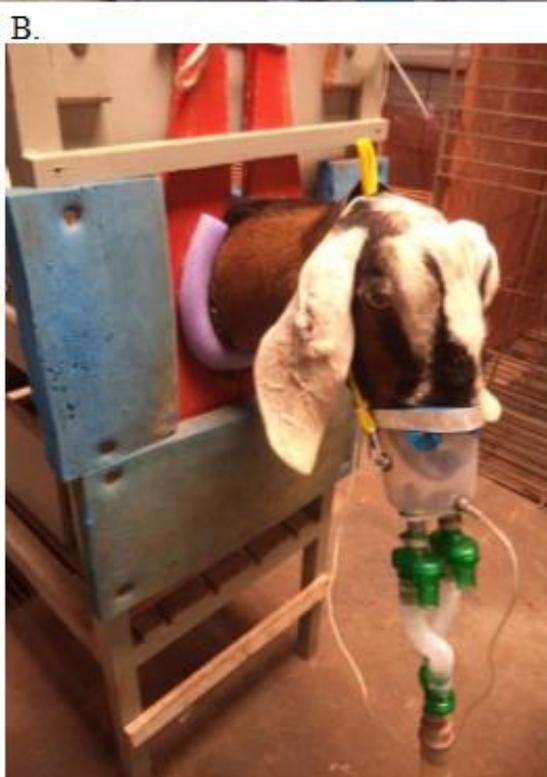
Os ruminantes são as maiores fontes de emissão de CH₄ em escala nacional, o que torna necessário caracterizar essas emissões nas mais diferentes condições de manejo alimentar, tornando possível o desenvolvimento de estratégias para mitigar as emissões de CH₄ entérico (PRIMAVESI et al., 2004). Contudo, para a comprovação da eficiência das práticas de manejo para mitigação, a mensuração correta da quantidade de CH₄ produzida e emitida pelos ruminantes é de fundamental importância (MCTI, 2016).

Existem diversas técnicas para quantificação da emissão de CH₄ entérico individual ou em grupo, cada uma com suas vantagens e desvantagens, tais como: a técnica das câmaras barimétricas (respiratórias), as máscaras ou capuzes ventilados, o sistema *GreenFeed* (C-lok Inc.) e o uso do gás traçador inerte (MOMBACH et al., 2016; PRIMAVESI et al., 2004; ZOTTI; PAULINO, 2009).

A câmara de respiração (Figura 4A) consiste em um recinto fechado, onde o animal fica contido, e um fluxo de ar unidirecional passa através da câmara, sendo coletado na saída. A emissão total de gases nessas condições é a diferença entre a concentração dos gases na entrada e na saída (MOMBACH et al., 2016). É uma técnica precisa e cara, além de necessitar de animais treinados e de não representar as condições normais de pastejo (PRIMAVESI et al. 2004; MOMBACH et al. 2016).

A técnica da máscara facial ventilada (Figura 4B) consiste em colocar na cabeça do animal uma máscara completamente vedada, de forma a coletar todo ar expirado e eructado pelo animal (BERNDT et al., 2018). A principal desvantagem desse método é que o animal fica impossibilitado de comer e beber enquanto utiliza a máscara, o que pode levar a uma subestimação da produção do CH₄ entérico (JOHNSON; JOHNSON, 1995).

Figura 4. Metodologias para mensuração de metano entérico: câmara de respiração (A) e máscara ventilada (B)



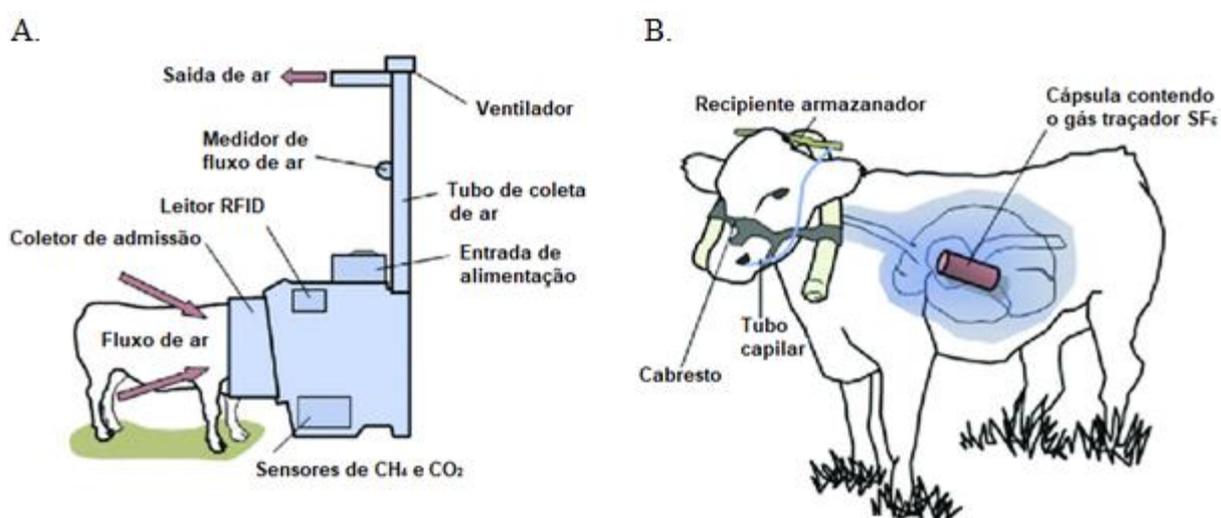
Fonte: (A) <https://www.abc.net.au/news/2018-06-07/sheep-fart-chamber/9837678> (B) Nascimento, 2016

O sistema GreenFeed® (Figura 5A) é um dispositivo estático que mede a emissão de CH_4 e CO_2 pelo animal, após introduzir sua cabeça no cocho. A concentração dos gases presentes na amostra é determinada através de um espectro infravermelho não dispersivo

acoplado ao cocho (BERNDT et al., 2018). As vantagens desse sistema são: avaliar as emissões dos animais em condições de pastejo, controlar a quantidade e o tipo de alimento e não alterar os intervalos das refeições (MOMBACH et al. 2016).

Já a técnica do gás traçador inerte (Figura 5B) consiste na introdução de uma cápsula contendo um gás traçador inerte, geralmente o hexafluoreto de enxofre (SF_6) ou o deuterado de metano (CH_3D) (HILL et al., 2016), no rumem do animal. Uma taxa constante desse gás é liberada e se mistura com os gases metabólicos, sendo emitido pela respiração e eructação. O ar emitido pelo animal é coletado com auxílio de um aparato instalado sobre a narina do animal e a concentração dos gases presentes na amostra é quantificada por cromatografia gasosa.

Figura 5. Metodologias para mensuração de metano entérico: sistema GreenFeed® (A) e técnica do gás traçador de hexafluoreto de enxofre (B)



Fonte: Hill et al. (2016)

3.3.1. Gás Traçador Hexafluoreto de Enxofre (SF_6)

A técnica do gás traçador SF_6 foi desenvolvida por Zimmerman (1993) e consiste na introdução de uma cápsula de permeação no rumem do animal, a qual libera SF_6 a uma taxa constante. O SF_6 liberado mistura-se aos gases da fermentação ruminal atuando como um traçador do CH_4 produzido. Assume-se, segundo Johnson et al. (1994), que a emissão de SF_6 simula exatamente a emissão de CH_4 , sendo assim, as taxas de diluição para SF_6 e CH_4 são idênticas.

O SF_6 é um gás traçador amplamente utilizado devido ao seu baixo limite de detecção e à sua alta estabilidade no rúmen dos animais. É incolor, inodoro, inerte e não tóxico, além

de já ter sido testado em rúmen artificial, ficando comprovado que não há impacto mensurável na flora ruminal, na produção metabólica de gases ou na produção de ácidos graxos (MOMBACH et al., 2016; ZIMMERMAN, 1993).

Para coletar os gases metabólicos produzidos no rúmen, um aparato coletor-armazenador (Figura 6) é colocado próximo à cabeça do animal. Esse aparato consiste em um tubo em torno de 0,127 mm de diâmetro interno conectado a um restritor de fluxo qual está ligado a um recipiente previamente evacuado (ZIMMERMAN, 1993). O animal permanece com o aparato durante todo o período de amostragem, que geralmente dura 24 horas. Decorrido esse período o recipiente armazenador é desacoplado do sistema e substituído por outro (previamente evacuado, -14,54 psi). Espera-se que ao final do período de amostragem o cilindro atinja metade da pressão inicial (-7, 27 psi) (PRIMAVESI et al., 2004).

Figura 6. Ilustração da técnica do gás traçador SF₆ e do aparato coletor-armazenador de ar ruminal instalado em caprino da raça Canindé



Foto: Layse Araújo Gordiano

Assim, a emissão diária de CH₄ entérico de um animal é calculada medindo as concentrações de CH₄ e SF₆ na amostra e a taxa de permeação do gás traçador (JOHNSON et al., 1994; ZIMMERMAN, 1993).

Essa técnica permite a mensuração dos gases metabólicos com os animais em condição normal de pastejo. De acordo com INIA (2015), esta técnica é reconhecida internacionalmente como a mais adequada para medir as emissões de CH₄ nos sistemas de pastejo, devido aos equipamentos de coleta e armazenamento estarem instalados sobre o animal, sem limitar os seus movimentos e hábitos alimentares. Todavia, os animais com o equipamento necessitam de treinamento para que não ocorram interferências nas habilidades de alimentação, influenciando no consumo alimentício, o que afetaria a produção do CH₄ (MOMBACH et al., 2016).

3.2.2. Aparelho de Coleta e Armazenamento

Zimmerman (1993) apresentou algumas formas de coleta e armazenamento do ar ruminal para medição de emissão CH₄ entérico pelo uso da técnica de SF₆. Contudo, vários grupos de pesquisa fizeram modificações no amostrador de gás com o intuito de melhorar sua robustez, uma vez que essa técnica é utilizada internacionalmente.

Um dos sistemas amostradores de ar ruminal proposto por Zimmerman (1993) era composto por uma esfera de aço evacuada (recipiente armazenador), acoplada a um colar localizado ao redor do pescoço do animal, com um tubo capilar com diâmetro interno (DI) de 3,175 mm (1/8”) ligado ao animal por meio de um cabresto colocado em volta da sua cabeça. Uma das extremidades do tubo estava ligada à esfera e a outra ficava próxima à boca do animal. O tubo capilar tinha como função regular a taxa de amostragem do ar sobre as narinas.

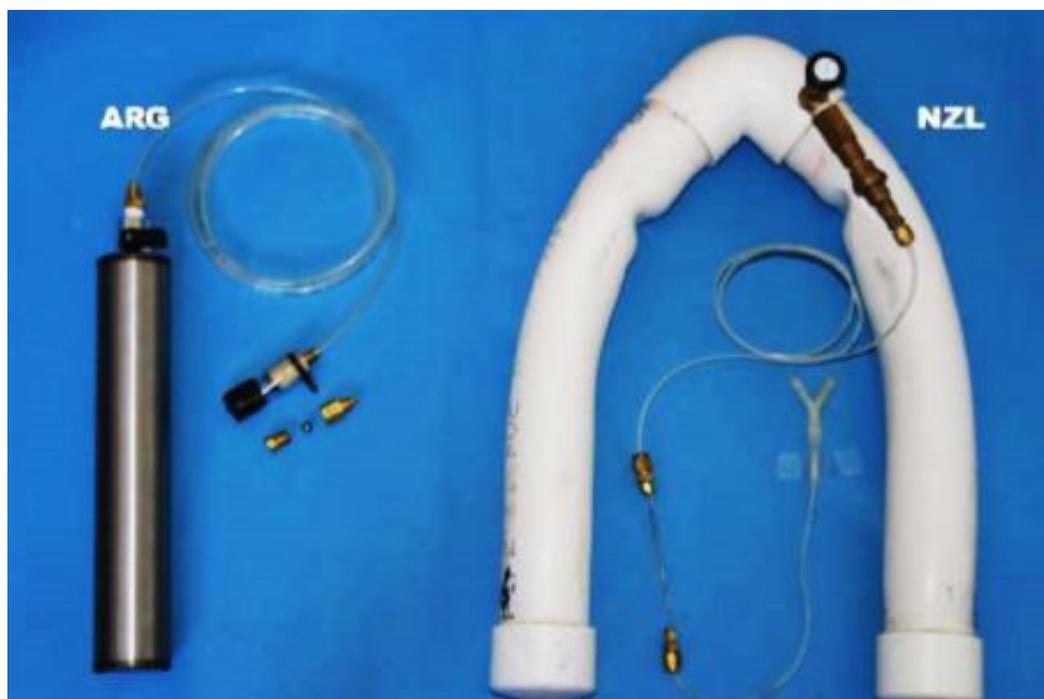
A fim de regular a taxa de amostragem de ar sobre as narinas durante o período de amostragem, Zimmerman (1993) propôs ainda alguns mecanismos de restrição de fluxo de gás para serem fixados entre o tubo coletor e o recipiente evacuado de armazenamento da amostra, como: tubo capilar, frita sinterizada, válvula agulha e placa com orifício.

Johnson et al. (1994) utilizaram um aparato semelhante ao de Zimmerman (1993). A diferença entre eles foi a adição de um filtro com poros de 50 micras na extremidade do fluxo ascendente da linha capilar para evitar que ela fosse obstruída.

O aparato de amostragem de ar de Pinares-Patiño et al. (2012) também foi uma adaptação do protocolo original de Zimmerman (1993) e foi denominado de sistema neozelandês (NZL) (Figura 7). O recipiente evacuado para armazenamento de ar foi feito de PVC e com formato em V. Um tubo capilar de aço inoxidável com 10 cm de comprimento (1,587 mm (1/16”) DE, 0,076 - 0,127 mm (0,003” - 0,005”) DI) foi utilizado como restritor de fluxo, ficando localizado a aproximadamente a 30 cm da entrada do tubo de amostragem. A

linha de amostragem era constituída de um tubo de Nylon com 3,175 mm (1/8") DE, unida ao tubo capilar por uniões de redução.

Figura 7. Ilustração comparativa entre o sistema Argentino (ARG) e o sistema Neozelandês (NZL)



Fonte: Pinares-Patiño et al., (2012)

Outra adaptação do protocolo original foi feita por Gere e Gratton (2010), denominado sistema argentino (ARG) (Figura 7). A linha de amostragem desse aparato foi constituída por um tubo de polietileno com 6,350 mm (1/4") DE. O recipiente coletor era um cilindro de aço inoxidável e o restritor de fluxo era constituído por um sistema denominado de *ball bearing* (em tradução livre, “esfera de rolamento”), nome dado em função do uso de esferas entre conectores para controlar o fluxo de gás levado até o cilindro. A restrição de fluxo nesse caso foi obtida pressionando uma esfera de aço inoxidável alojada em um soquete de rosca fêmea em latão, contra um parafuso, de mesmo material, com 3,175 mm (1/8"). O *ball bearing* foi colocado em um tubo de polietileno de 5 cm de comprimento e 12 mm DI. A extremidade do tubo era coberta com um tecido de poliéster com o intuito de proteger o restritor de partículas de água.

No Brasil, Primavesi et al. (2004) e Berndt et al. (2014) foram responsáveis por adaptar e aprimorar essa técnica. Primavesi et al. (2004) também utilizaram um tubo de PVC em formato de V como recipiente armazenador, com um tubo capilar de aço inoxidável de

0,127 mm DI e 1,6 mm DE como restritor de fluxo. Imediatamente após o bico aspirador foi afixado um filtro, com finalidade de evitar a passagem de poeira e resíduos para o tubo capilar. Berndt et al. (2014) sugerem diversas formas de montar o aparato para coleta de CH₄ entérico, dentre elas há o uso de um cilindro em aço inoxidável como recipiente armazenador e um *ball bearing* como regulador de fluxo, similar ao aparato ilustrado na Figura 6.

Deighton et al. (2014) também desenvolveram modificações para o amostrador de ar. Os autores testaram três restritores de fluxo: dois fabricados a partir de tubos capilares com 1,5 cm e com 100 cm de comprimento (CAP 1.5 e CAP 100, respectivamente) e um terceiro com uma placa de orifício com diâmetro 0,05 mm (OP5) (Figura 8). Todos foram usados para restringir a taxa de fluxo de ar através de tubos de amostragem de Nylon com DI de 2,03 mm. O aparato CAP 1.5 compreendia conexão de engate rápido, tubo contendo um tubo capilar com crimpagem de 1,5 cm, filtro de 15 µm e tubo de amostragem. O aparato CAP 100 compreendia conexão de engate rápido, união de redução, tubo capilar com 100 cm de comprimento, filtro de 15 µm e tubo de amostragem. O aparelho OP5 foi desenvolvido com conexão de engate rápido, filtro de 2 µm, placas de orifício de aço inoxidável calibradas de fábrica com diâmetro de abertura de 0,05 mm, união de redução e tubo de amostragem.

Figura 8. Amostradores de ar ruminal OP5 (placa com orifício de 0,05 mm), CAP 1.5 (tubo capilar com 1,5 cm de comprimento) e CAP 100 (tubo capilar com 100 cm de comprimento)



Fonte: Deighton et al. 2014

Deighton et al. (2014) observaram que o tubo capilar não era adequado para ser usado como restritor de fluxo, uma vez que a taxa de entrada de gás através do tubo capilar não foi

constante, diminuindo com o tempo. Os autores verificaram, através de simulações, que a utilização de tubos capilares como restritores de fluxos podem resultar em erros de até 15,6% nas emissões estimadas do CH₄. Além disso, o restritor de fluxo de placa de orifício apresentou menor erro em coletas de amostras de CH₄, enquanto o restritor de chapa de aço inoxidável apresentou qualidade intermediária entre os dois.

A técnica do gás traçador é mundialmente difundida e, como elencado acima, vários pesquisadores já identificaram possibilidades de aperfeiçoamento, seja na precisão e acurácia ou nos materiais de composição (Tabela 4). Entretanto, vale ressaltar que a escolha do aparato deve ser feita para suprir as necessidades de cada condição experimental, levando em conta as especificidades ambientais, os objetivos do estudo e a disponibilidade de recursos financeiros.

Tabela 4. Resumo dos aparatos coletores-armazenadores utilizados mundialmente

Recipiente Armazenador			Vácuo (Psi)		Restritor de fluxo			Fluxo inicial (Cm ³ min ⁻¹)	Duração da coleta (dias)	Localização
Material	Formato	Volume (L)	Antes da coleta	Depois da coleta	Tipo	DI (mm)	Comprimento (mm)			
PVC	U	2	12,18	7,25 - 9,43	Tubo capilar em espiral	0,1016	900	0,37	1	Canadá
PVC	V ou Cilindro	0,7 ou 2,5	11,60 - 13,05	5,80 - 7,25	Tubo capilar em espiral	0,1016	-	0,25 ou 0,8 ou 1,6	0,5 ou 1	França
Aço inoxidável	Cilindro	0,5	-	7,25	Ball bearing	-	-	0,35	1 ou 5	Argentina
Aço inoxidável	Cilindro	0,8	14,07	9,43	Tubo capilar crimpado	0,127	30	0,2	1	Austrália
PVC	U	2,14	13,05	8,70 - 9,43	Tubo capilar crimpado	0,127	20	0,5	1	Irlanda
PVC	V	2,5	14,07	8,70 - 9,43	Tubo capilar crimpado	0,1016	100	0,9	1	Nova Zelândia
PVC	V	2,5	13,15	7,35	Tubo capilar	0,127	500 - 1500	-	1	Brasil
Aço inoxidável	Cilindro	0,5	14,56	7,28	Ball bearing	-	-	-	1	Brasil

Fonte: Adaptado Berndt et al. (2014)

REFERÊNCIAS

- BERNDT, A.; BOLAND, T. M.; DEIGHTON, M. H.; GERE, J. I.; GRAINGER, C.; HEGARTY, R. S.; IWAASA, A. D.; KOOLAARD, J. P.; LASSEY, K. R.; LUO, D., MARTIN, R. J.; MARTIN, C.; MOATE, P. J.; MOLANO, G.; PINARES-PATIÑO, C.; RIBAUX, B. E.; SWAINSON, N. M.; WAGHORN, S. R. O. **Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique to measure enteric methane emissions from ruminants**. Nova Zelandia: New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre, 2014.
- BERNDT, A.; FILHO, P. M. SAKAMOTO, L. S.; MORELLI, M. Técnicas para mensurar emissão de metano em bovinos Alexandre. In: **Embrapa Pecuária Sudeste - Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES NO CERRADO, 4., Uberlândia, MG. Anais... Uberlândia, MG: FAMEV UFU, 2018.
- BREMNER, J. M. Sources of nitrous oxide in soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 49, n. 1–3, p. 7–16, 1997.
- BRENTROP, F.; KUSTERS, J.; LAMMEL, J.; KUHLMANN, H. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 5, n. 6, p. 349–357, 2000.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ, 2016.
- CLOUGH, T. J.; ROCHETTE, P.; THOMAS, S. M.; PIHLATIE, M.; CHRISTIANSEN, J. R.; THOEMAN, R. E. Chamber design. In: DE KLEIN, C. A. M.; HARVEY, M. J. (Ed.). **Nitrous oxide chamber methodology guidelines**. 1. ed. Nova Zelandia: Ministry for Primary Industries, 2012. p. 147.
- COLLIER, S. M.; RUARK, M. D.; OATES, L. G.; JOKELA, W. E.; DELL, C. J. Measurement of Greenhouse Gas Flux from Agricultural Soils Using Static Chambers. **Journal of Visualized Experiments**, v. 90, p. 1–8, 2014.
- DEIGHTON, M. H.; WILLIAMS, S. R. O.; HANNAH, M. C.; ECKARD, R. J.; BOLAND, T. M.; WALES, W. J.; MOATE, P. J. A modified sulphur hexafluoride tracer technique enables accurate determination of enteric methane emissions from ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 47–63, 2014.
- DELLE VEDOVE, G.; GRIGNANI, C.; BERTORA, C. Greenhouse gases emissions from soils. In: BERTORA, C.; BLANKMAN, D.; DELLE VEDOVE, G.; FIRBANK, L.; FRENZEL, M.; GRIGNANI, C.; GRONER, E.; JOSEPH, A.; KERTÉSZ, M.; KUNIN, B.; MATTEUCCI, G.; MENTA, C.; MÜLLER, C. W.; STADLER, J. (Ed.). **The manual: handbook of standardised ecosystem protocols**. Itália: Distributed Infrastructure for EXPERIMENTATION in Ecosystem Research, 2012. p. 65–86.

DENMEAD, O. T. Approaches to measuring fluxes of methane and nitrous oxide between landscapes and the atmosphere. **Plant Soil**, v. 309, p. 5–24, 2008.

ESCOBAR, L. F. **Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de manejo em solo do planalto médio do rio grande do sul**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FRANKK, A. B.; LIEBIG, M. A.; TANAKA, D. L. Management effects on soil CO₂ efflux in northern semiarid grassland and cropland. **Soil and Tillage Research**, v. 89, n. 1, p. 78–85, 2006.

GERE, J. I.; GRATTON, R. Simple, low-cost flow controllers for time averaged atmospheric sampling and other applications. **Latin American Applied Research**, v. 40, n. 4, p. 377–381, 2010.

GORDIANO, L. A. Emissão de metano por caprinos em pastejo na caatinga, nos períodos seco e chuvoso. 2015. 68 f. Dissertação (Mestre em Ciência Animal) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2015

HILL, J.; MCSWEENEY, C.; WRIGHT, A. G.; BISHOP-HURLEY, G.; KALANTAR-ZADEH, K. Measuring Methane Production from Ruminants. **Trends in Biotechnology**, v. 34, n. 1, p. 26–35, 2016.

HUTCHINSON, G. L.; LIVINGSTON, G. P. 4.5 Soil – Atmosphere gas exchange. **Methods of Soil Analysis, Part 4: Physical Methods**, p. 1159–1182, 2002.

HUTCHINSON, G. L.; LIVINGSTON, G. P. Vents and seals in non-steady-state chambers used for measuring gas exchange between soil and the atmosphere. **European Journal of Soil Science**, v. 52, n. 4, p. 675–682, 2001.

INIA. **Protocolo para determinación de emisión de metano en rumiantes : técnica del trazador SF₆ para períodos de medición prolongados**. Uruguay: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, 2015.

IPCC. **Climate change 2014: mitigation of climate change working. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Reino Unido e Nova York: Cambridge University Press, Cambridge, 2014.

JOHNSON, K. A.; HUYLER, M. T.; WESTBURG, H. H.; LAMB, B. K.; ZIMMERMAN, P. Johnson, K. A.; Huyler, M. T.; Westburg, H. H.; Lamb, B. K.; Zimmerman, P. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF₆ tracer technique. **Environmental Science and Technology**, v. 28, n. 2, p. 359–362, 1994.

JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **Journal of animal science**, v. 73, n. 8, p. 2483–2492, 1995.

KHALIL, K.; MARY, B. .. RENAULT; P. Nitrous oxide production by nitrification and denitrification in soil aggregates as affected by O₂ concentration. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, n. 4, p. 687–699, 2004.

LE MER, J.; ROGER, P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. **European Journal of Soil Science**, v. 37, n. 2001, p. 25–50, 2010.

LEVY, P. E.; GRAY, A.; LEESON, S. R.; GAIAWYN, J.; KELLY, M. P.C.; COOPER, M. D.A.; DINSMORE, K. J.; JONES, S. K.; SHEPPARD, L. J. Quantification of uncertainty in trace gas fluxes measured by the static chamber method. **European Journal of Soil Science**, v. 62, n. 6, p. 811–821, 2011.

MATTHIAS, D. A.; DOUGLAS, N. Y.; WEINBECK, R. S. A numerical evaluation of chamber methods for determining gas fluxes. **Geophysical Research Letters**, v. 5, n. 9, p. 766–768, 1978.

MC GINN, S. M. Measuring greenhouse gas emissions from point sources in agriculture. **Agriculture and Agri-Food Canada**, v. 1, n. October 2004, p. 355–371, 2006.

MCTI. **3ª comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre a mudança do clima**. Brasília: MCTI, 2016. v. 3.

MOMBACH, M. A.; PEDREIRA, B. C.; PEREIRA, D. H.; CABAL, L. DA S.; RODRIGUES, R. DE A. R. Emissão de metano entérico por bovinos: o que sabemos e que podemos fazer? In: (B. C. PEREIRA, D. H.; PEDEREIRA, Ed.) SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA 2016, Cuiabá, MT. **Anais...** Cuiabá, MT: Uniselva, 2016.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Ecologia do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006.

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, L.; KING, J.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: Sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development and Sustainability**, v. 6, n. 1–2, p. 11–49, 2004.

NASCIMENTO, C. C. N. **Espirometria na avaliação do sistema respiratório de ruminantes em ambiente tropical**. 2016. 80 f. Tese (Doutor em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrária e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2016.

OERTEL, C.; MATSCHULLAT, J.; ZURBA, K.; ZIMMERMANN, F.; ERASMI, S. Greenhouse gas emissions from soils—A review. **Chemie der Erde - Geochemistry**, v. 76, n. 3, p. 327–352, 2016.

PARKIN, T. B.; VENTEREA, R. T. Chamber-based trace gas flux measurements. In: FOLLETT, R. F. (Ed.). **Sampling Protocols**. p. 1–39.

PINARES-PATIÑO, C.; GERE, J.; WILLIAMS, K.; GRATTON, R.; JULIARENA, P.; MOLANO, G.; MACLEAN, S.; SANDOVAL, E.; TAYLOR, G.; KOOLAARD, J. Extending the collection duration of breath samples for enteric methane emission estimation using the SF₆ tracer technique. **Animals**, v. 2, n. 2, p. 275–287, 2012.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. T. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; DEMARCHI, J. J. A. A.; MANELLA, M. Q.; BARBOSA, P. F.; JOHNSON, K. A.; WESTBERG, H. H. **Técnica do gás traçador SF₆ para medição de campo do metano ruminal em bovinos: adaptações para o Brasil**. 1^a ed. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste - Documentos (INFOTECA-E), 2004.

ROCHETTE, P.; ERIKSEN-HAMEL, N. S. Chamber measurements of soil nitrous oxide flux: are absolute values reliable? **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 2, p. 331–342, 2008.

SEEG. SEEG - Relatório Analítico Agropecuária - 2018.

SERRANO-SILVA, N.; SARRIA-GUZMÁN, Y.; DENDOOVEN, L.; LUNA-GUIDO, M. Methanogenesis and Methanotrophy in Soil: A Review. **Pedosphere**, v. 24, n. 3, p. 291–307, 2014.

SHINE, K. R. G.; DERWENT, D.; WUEBBLES, J.; MORCRETTE, J. J. Radiative forcing of climate. In: climate changes: The IPCC scientific Assessment. HOUGHTON, J. T. et al. Cambridge University Press, 1990. p 41-68.

SIGNOR, D. **Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases do efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar na região de Piracicaba Piracicaba**. 2010. 120 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

SIGNOR, D.; CERRI, C. E. P. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 322–338, 2013.

WEIL, R. R.; BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 15. ed. Columbus: Pearson, 2016.

ZIMMERMAN, P. R. **System for measuring metabolic gas emissions from animals**, 5,265,618, 1993.

ZOTTI, CL. A.; PAULINO, V. T. Metano na produção animal : Emissão e minimização de seu impacto. **Ecologia de Pastagens. Instituto de Zootecnia, APTA/SAA**, p. 24, 2009.

1 **4. CAPÍTULO 2 - Modificação de Câmaras Estáticas Fechadas para Coleta de** 2 **Gases de Efeito Estufa Emitidos pelo Solo**

3

4 **Resumo:** Os solos agrícolas podem ser tanto produtores como consumidores de gases
5 de efeito estufa (GEEs), cujos fluxos podem ser monitorados com uso de câmaras
6 estáticas. O objetivo deste artigo foi avaliar a temperatura interna e os fluxos de GEEs
7 do solo em função de diferentes recobrimentos de câmaras estáticas, a fim de selecionar
8 o melhor material para essa finalidade. Os tratamentos avaliados foram: pintura branca,
9 manta térmica aluminizada (4 mm de espessura), tela de sombreamento (50%) e espuma
10 de polietileno expandido (10 mm de espessura) mais adesivo branco. As amostragens
11 foram realizadas em março, julho e novembro de 2019, em Petrolina-PE. O
12 recobrimento da câmara influenciou significativamente sua temperatura interna,
13 contudo não afetou os fluxos de óxido nitroso, metano e dióxido de carbono emitidos
14 pelo solo. Para as avaliações em março, os tratamentos pintura branca, manta térmica
15 aluminizada e espuma mais adesivo apresentaram temperatura internas mais baixas. Já
16 para julho e novembro a pintura branca e manta térmica aluminizada foram os materiais
17 com menor temperatura interna. Considerando-se as condições climáticas e o custo-
18 benefício, a pintura branca pode ser indicada para o recobrimento de câmaras estáticas
19 fechadas no Semiárido.

20

21 **Palavras-chave:** recobrimento, temperatura, CO₂, CH₄, N₂O

22

23 **Abstract:** Agricultural soils could be source or drain of greenhouse gases (GHGs),
24 which fluxes can be monitored by static chambers. The objective in this article was
25 evaluate internal temperature and soil GHGs fluxes in static chambers with different

26 cover to select the best material to this function. The treatments evaluated were: white
27 synthetic enamel paint, aluminized thermal blanket (4 mm thick), shading mesh (50%)
28 and expanded polyethylene foam (10 mm thick) plus white adhesive. Samples were
29 taken during March, July and November 2019, in Petrolina-PE. The cover of the
30 chamber significantly influenced its internal temperature, but not affected the fluxes of
31 nitrous oxide, methane and carbon dioxide emitted by the soil. For the March
32 evaluations, the white paint, thermal blanket and more adhesive foam treatments had
33 lower internal temperatures. For July and November, white paint and thermal blanket
34 were the materials with the lowest internal temperature. Considering the climatic
35 conditions and the cost-benefit ratio, white paint was the most suitable material to be
36 used as static chamber coating in Semi-arid.

37

38 **Key words:** cover, temperature, CO₂, CH₄, N₂O

39

40

INTRODUÇÃO

41 Como consequência das atividades antrópicas, a concentração dos principais gases de
42 efeito estufa (GEEs) vem aumentando na atmosfera. No Brasil, as emissões do setor
43 agropecuário em 2018 equivaleram a 22% das emissões nacionais (CO₂eq), segundo as
44 estimativas do Observatório do Clima, as quais provém principalmente dos solos
45 agrícolas e da fermentação entérica dos ruminantes.

46 Uma das técnicas mais utilizadas para as medições dos fluxos de GEEs pelo solo é o
47 uso de câmaras estáticas (Hutchinson & Livingston, 2002), que consiste em colocar a
48 câmara sobre o solo e coletar ao menos três amostras do gás armazenado em seu interior
49 durante o período de amostragem (Collier et al., 2014), o qual por sua vez depende de
50 fatores como, as dimensões da câmara e o ambiente a ser avaliado (Serta, 2013).

51 Alguns aspectos desse aparato necessitam ser considerados, a fim de que as
52 temperaturas do ar e do solo presentes no momento de colocação da tampa sobre a base
53 sejam preservadas durante o período de amostragem (Parkin & Venterea, 2010).
54 Mudanças na temperatura do solo podem afetar a produção dos gases, enquanto que
55 mudanças de temperatura do ar no interior da câmara afetam a pressão e influenciam a
56 taxa de emissão dos gases pelo solo (Rochette & Eriksen-Hamel, 2008). Portanto, esse é
57 um fator de grande importância para a qualidade da amostragem e dos resultados
58 gerados, uma vez que a implantação de uma câmara altera o balanço energético da
59 superfície do solo, podendo ocasionar alteração da temperatura (Clough et al., 2012), o
60 que poderia gerar dados errôneos sobre o ambiente avaliado, que por sua vez implicaria
61 na aplicação de medidas de mitigação e adaptação inadequadas.

62 O objetivo deste artigo foi avaliar a temperatura interna e os fluxos de GEEs do solo
63 em função de diferentes recobrimentos de câmaras estáticas, a fim de selecionar o
64 material mais adequado para essa finalidade.

65

66 MATERIAL E MÉTODOS

67 **Caracterização da área experimental**

68 O experimento foi desenvolvido na Embrapa Semiárido (09°4'S, 40°19'W e 379 m
69 de altitude), em Petrolina (PE). A temperatura média histórica (1981-2010) da região é
70 de 26,9 °C e a precipitação anual média histórica (1981-2010) é de 482,6 mm, com
71 regime de chuvas irregularmente distribuído e concentrando entre os meses de
72 novembro a abril (Inmet, 2019). O clima da região é BSw^h segundo a classificação de
73 Köppen, o que a caracteriza como semiárido quente. A área utilizada neste estudo era
74 inicialmente ocupada com Caatinga nativa, que foi desmatada há mais de 20 anos, e, no
75 momento do experimento encontrava-se em pousio, com ocorrência de vegetação

76 espontânea. O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, situado em
77 relevo plano (Santos et al., 2018).

78

79 **Delineamento experimental**

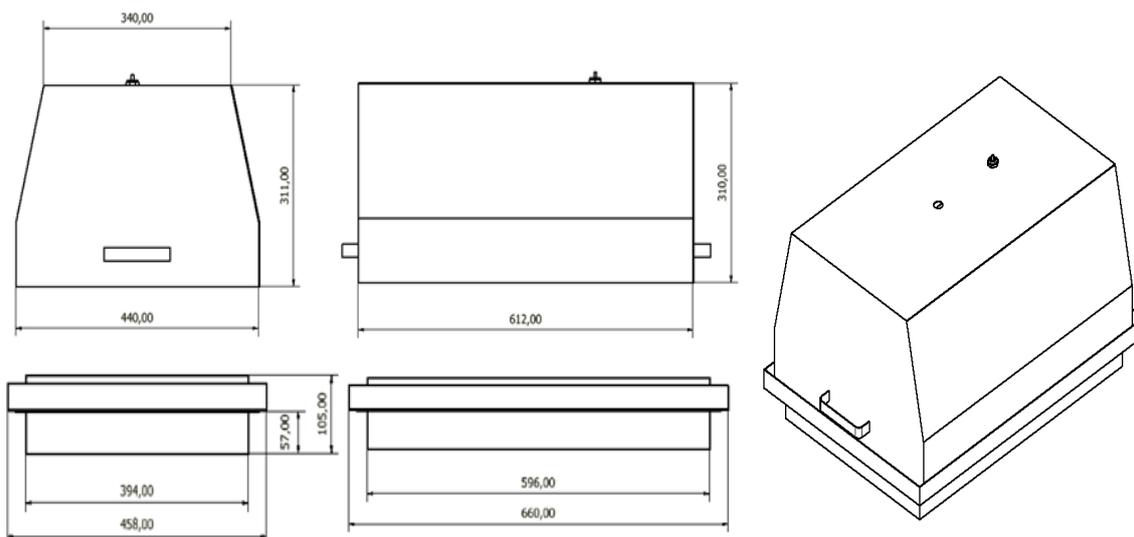
80 Para avaliar o efeito do recobrimento das câmaras estáticas sobre a temperatura
81 interna da câmara e sobre os fluxos de CO₂, CH₄ e N₂O, foi montado um experimento, o
82 qual foi avaliado em três meses do ano: março, período quente com ocorrência de
83 precipitações (coletas realizadas nos dias 20, 26 e 28); julho, que apresenta temperaturas
84 mais amenas e ausência de chuvas (coletas realizadas nos dias 01, 02, 03 e 04);
85 novembro período mais quente do ano, com possibilidade de ocorrência das primeiras
86 chuvas (coletas realizadas nos dias 25, 26 e 27).

87 O experimento foi constituído por vinte câmaras estáticas, com quatro tratamentos e
88 cinco repetições, sendo o delineamento experimental em parcelas subdivididas no
89 tempo e as coletas realizadas pela manhã, a partir das 08h30min (Alves et al., 2012).

90 As câmaras eram compostas por duas partes. A base constituída de aço galvanizado,
91 em formato retangular e a tampa de seção piramidal e mesmo material, cujos
92 recobrimentos constituíram os tratamentos avaliados nesse estudo. No topo da tampa
93 havia um septo, para introdução de um termômetro tipo espeto calibrado, e a porta de
94 amostragem constituída por uma torneira de três vias (Figura 1).

95 Os tratamentos utilizados foram: Pintura branca; Manta térmica aluminizada
96 (material utilizado em construção civil); Tela de sombreamento e Espuma mais papel
97 adesivo branco, simulando uma manta alternativa.

98



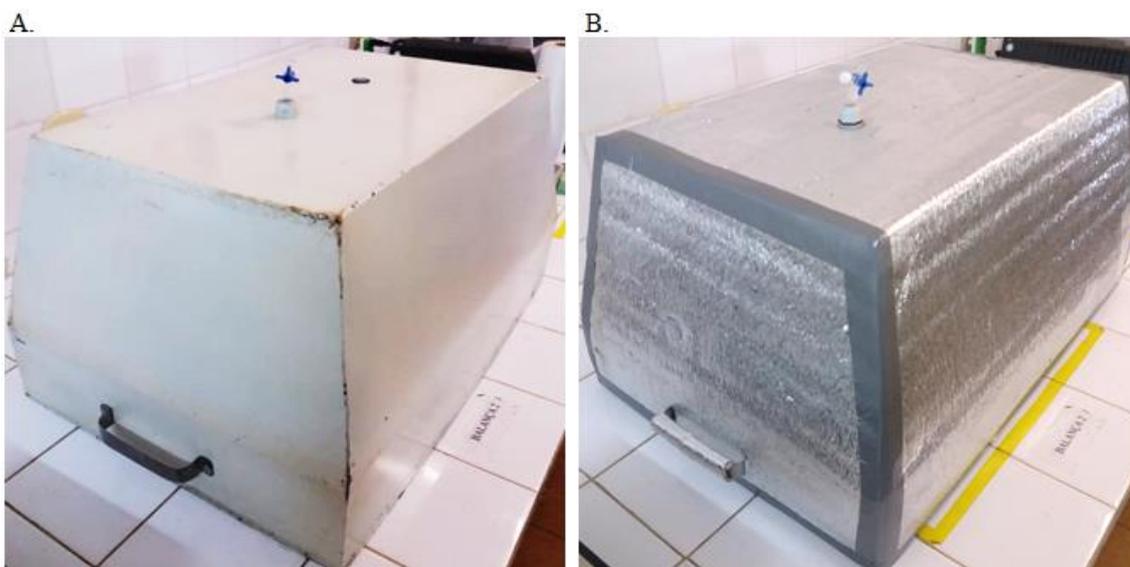
99 Figura 1. Esquematização e dimensões (mm) da câmara estática utilizada neste artigo

100

101 O primeiro tratamento constituiu da câmara apenas pintada com tinta esmalte
 102 sintético de cor branca (Figura 2A). A cor foi escolhida devido a sua elevada
 103 refletividade, pois a baixa absorção de radiação solar resulta em uma menor transmissão
 104 de calor para o interior da câmara, impedindo o seu aquecimento excessivo.

105 Já o segundo tratamento foi a câmara recoberta com a manta térmica (Figura 2B).
 106 Esse material é recomendado por Zanatta et al. (2014) e vem sendo utilizado em estudos
 107 para quantificação de GEEs emitidos pelo solo, devido a sua função como barreira
 108 térmica. A manta térmica aluminizada utilizada foi a mesma empregada em construção
 109 civil, sendo constituída de espuma de polietileno expandido, com 4 mm de espessura, e
 110 recoberta por uma lâmina de poliéster metalizado. Para a fixação da manta foi utilizado
 111 a fita de alumínio Silver Tape, devido a sua resistência à ruptura e à água.

112 O recobrimento com tela de sombreamento consistiu em uma tela com 50% de
 113 sombreamento, costurada com linha de Nylon® de forma a formar uma capa sobre a
 114 tampa (Figura 3A). A tela de sombreamento (Agronet®) em polietileno de alta
 115 densidade teve como característica a matéria prima 100% virgem e aditivos especiais
 116 que as protegem dos raios ultravioletas, proporcionando resistência e alta durabilidade.



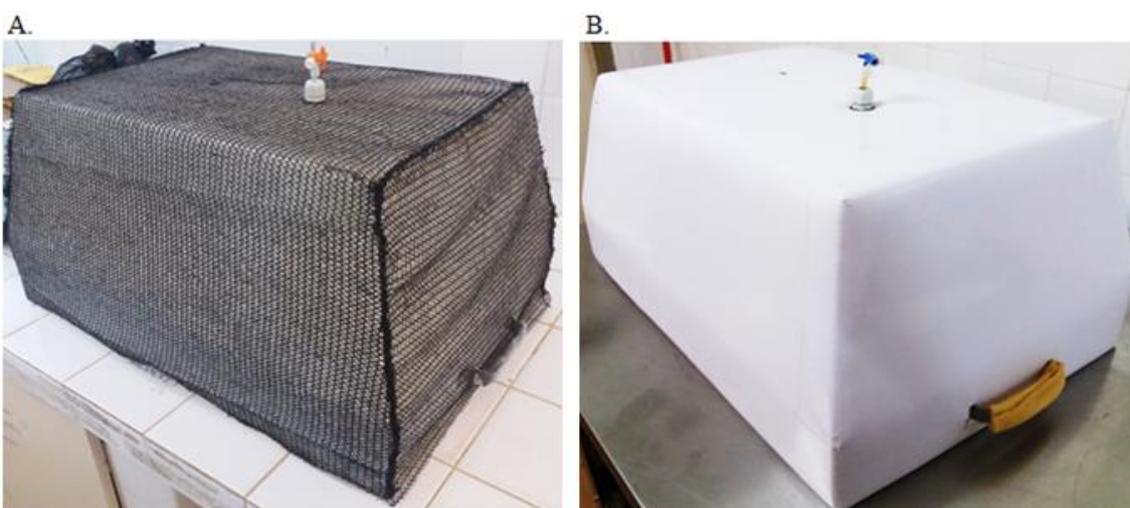
117 Figura 2. Tratamento pintura branca (A) e tratamento manta térmica aluminizada (B)

118

119 A câmara recoberta com espuma mais adesivo teve como objetivo simular uma
120 manta alternativa (Figura 3B). A câmara foi recoberta inicialmente com uma espuma de
121 polietileno flexível laminada com 10 mm de espessura de baixa densidade e, por cima
122 desta, foi colocado um adesivo plástico de cor branca.

123 Todas as câmaras foram pintadas previamente, externamente e internamente, com o
124 esmalte sintético branco. Sendo assim, para a composição do custo total de cada
125 tratamento foi somado o custo da pintura branca (Tabela 1).

126



127 Figura 3. Tratamento tela de sombreamento (A) e tratamento espuma mais adesivo (B)

128 Tabela 1. Valor, área dos materiais utilizados para o recobrimento das câmaras e o custo
 129 associado ao recobrimento de uma câmara

Tratamento	Material de recobrimento	Quantidade	Preço (R\$)	Custo por área (R\$/m ²)	Área recoberta (m ²)	R\$ por Câmara	Custo Total (R\$)
Pintura branca	Pintura Branca	3,6 L (65 m ² por demão)	100,00	1,54	2,60	4,00	4,00
Manta térmica	Manta térmica aluminizada	50 m ²	665,00	13,30	0,86	11,44	15,44
Tela de sombreamento	Tela para sombreamento	400 m x 1 m	500,00	1,25	0,86	1,08	5,08
Espuma mais adesivo	Espuma Adesivo branco	6 m x 1 m 5 m x 1,5 m	15,00 75,00	15,00 10,00	0,86	21,50	25,50

130

131 Amostragem

132 As bases foram parcialmente enterradas no solo (5 cm de profundidade), de forma
 133 que apenas a borda superior (calha) permanecesse sobre a superfície. A instalação
 134 ocorreu um mês antes da primeira coleta dos gases e as bases permaneceram em campo
 135 durante todo o período de avaliação.

136 Para realizar a vedação entre a tampa e a base, foi utilizado uma borracha laminada
 137 com espessura aproximada de 2 mm dentro da calha. As tampas das câmaras só foram
 138 encaixadas nas bases no momento da coleta das amostras de gases.

139 Para avaliação do efeito do recobrimento sobre os fluxos de GEEs emitidos pelo
 140 solo, foram coletadas quatro amostras de ar das câmaras ao longo de 40 min (0, 10, 20 e
 141 40 min) após o fechamento da câmara. As amostras foram coletadas em seringas de
 142 polipropileno acopladas com torneiras luer lock e transferidas para frascos de vidro
 143 (vials) fechados com septo de borracha, lacrados de forma manual e previamente
 144 evacuados (-80 KPa).

145 A determinação da concentração desses gases foi realizada em cromatógrafo gasoso
 146 Agilent, modelo 7890A, com forno de injeção a 60°C, detector do tipo FID (120°C),
 147 para determinações das concentrações de CO₂, CH₄, e detector μ ECD (300°C) para
 148 determinação das concentrações de N₂O nas amostras.

149 As temperaturas do ar e do solo e a umidade relativa do ar durante as coletas foram
150 medidas usando um termohigrômetro (Akrom®) e termômetro digitais tipo espeto
151 calibrados (Incoterm®), respectivamente.

152

153 **Cálculo dos fluxos dos gases**

154 A partir das concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O nas amostras, foram calculados
155 (Equação 1), os fluxos desses três gases, para cada dia de avaliação.

156

$$157 F(\mu g N - N_2 O / C - CO_2 / C - CH_4 m^{-2} h^{-1}) = (\Delta C / \Delta t) \cdot (m / V_m) \cdot (V / A) \quad (1)$$

158

159 Onde: $\Delta C / \Delta t$ - taxa de variação do gás dentro da câmara em determinado tempo
160 (ppm/hora); m - massa molecular de cada gás (g); V_m - volume molecular do gás (1 mol
161 ocupa 22,4 L nas condições normais de temperatura e pressão); V - volume da câmara
162 (L); A - área da câmara (m²). O volume molecular dos gases foi corrigido em função da
163 temperatura no interior da câmara durante a amostragem, multiplicando 22,4 por $(273 +$
164 $T / 273)$, sendo T a temperatura média no interior da câmara (°C).

165

166 **Análise estatística**

167 Os resultados obtidos foram tabulados em planilha eletrônica e submetidos à análise
168 de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) no *software* SAS
169 University (Statistical Analysis System)

170

171

172

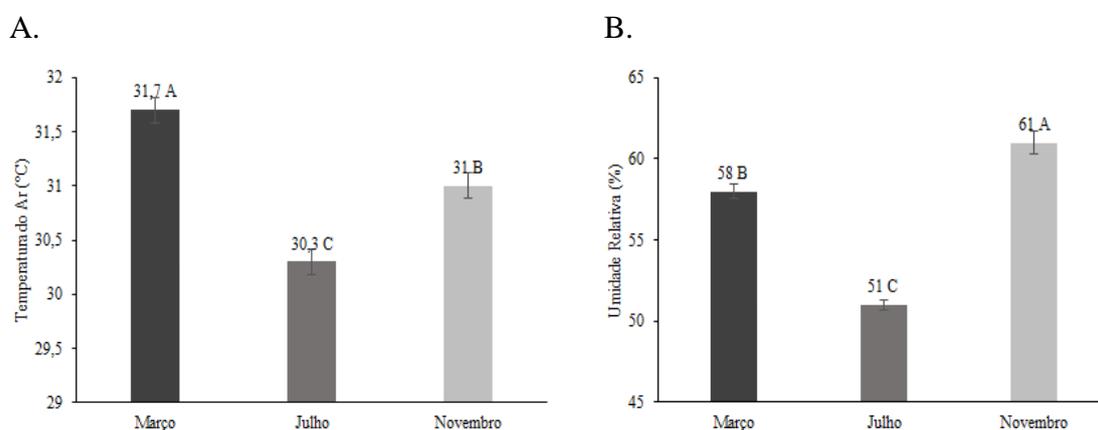
173

174

RESULTADOS E DISCUSSÃO

175 Temperatura do ar e do solo e umidade relativa do ar

176 As temperaturas médias do ar medidas durante as coletas dos meses de março, julho
 177 e novembro foram de 31,7, 30,3 e 31,0 °C, respectivamente, sendo significativamente
 178 maior em março ($p < 0,0001$; Figura 4A). A umidade relativa do ar apresentou o maior
 179 valor em novembro ($p < 0,0001$; Figura 4B), que caracteriza o início da estação
 180 chuvosa. A temperatura do solo foi estatisticamente igual em março e julho, e
 181 significativamente menor em novembro, com médias de 34,7, 34,3 e 30,5 °C ($p <$
 182 $0,0001$), respectivamente.



183 Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$)

184 Figura 4. Médias da temperatura do ar (A) e da umidade relativa do ar (B) durante a
 185 coleta das amostras de gases emitidos pelo solo nos meses de março, julho e novembro
 186 de 2019, em Petrolina - PE

187

188 Efeito do revestimento sobre a temperatura interna das câmaras

189 Quanto ao efeito dos tratamentos sobre as temperaturas internas das câmaras foi
 190 observado que as médias dos tratamentos pintura branca e manta térmica aluminizada
 191 foram estatisticamente iguais, enquanto a tela de sombreamento e a espuma mais
 192 adesivo apresentaram temperaturas interna média mais elevadas (Tabela 2).

193 As temperaturas internas das câmaras em março e julho foram estatisticamente
 194 iguais, com médias respectivas de $35 \pm 0,3$ e $34,5 \pm 0,2$ °C, enquanto que novembro
 195 apresentou média mais baixa, de $31,5 \pm 0,2$ °C ($p < 0,0001$). O que pode ser justificado
 196 pela ocorrência de precipitações durante os dias de coleta.

197 O tratamento pintura branca e a manta térmica aluminizada apresentaram a menor
 198 diferença entre a temperatura interna e a externa, seguida dos tratamentos espuma mais
 199 adesivo e tela de sombreamento.

200

201 Tabela 2. Temperatura interna das câmaras estáticas (média \pm erro padrão da média) em
 202 função do recobrimento (Pintura branca, Manta térmica aluminizada, Espuma mais
 203 adesivo e Tela de sombreamento)

Período de avaliação	Temperatura Interna (°C)				
	Pintura branca	Manta térmica aluminizada	Espuma mais adesivo	Tela de sombreamento	Média
Março	$33,8 \pm 0,4$	$34,3 \pm 0,4$	$35,6 \pm 0,6$	$36,3 \pm 0,6$	$35,0 \pm 0,3$ b
Julho	$33,3 \pm 0,3$	$33,6 \pm 0,3$	$34,6 \pm 0,4$	$36,3 \pm 0,5$	$34,5 \pm 0,2$ b
Novembro	$30,4 \pm 0,3$	$30,9 \pm 0,3$	$31,4 \pm 0,3$	$33,1 \pm 0,4$	$31,5 \pm 0,2$ a
Média	$32,6 \pm 0,2$ A	$33 \pm 0,2$ A	$33,9 \pm 0,3$ B	$35,4 \pm 0,3$ C	

204 Para cada tratamento, letras maiúsculas comparam médias na linha. Para cada época de amostragem,
 205 letras minúsculas comparam médias na coluna. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si
 206 pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$)
 207

208 Sacramento (2012) avaliou os fluxos de GEEs no Semiárido brasileiro nos períodos
 209 chuvoso (maio) e seco (outubro), com câmaras estáticas de base em aço galvanizado e
 210 tampa de PVC e observou temperaturas internas menores para o período chuvoso
 211 (variação: 29,5 a 33,5 °C) do que as observadas no período seco (variação: 34 a
 212 38,5 °C). No presente estudo também foi observado que, em função da ocorrência de
 213 eventos de precipitação, a temperatura interna das câmaras foi menor do que aquelas
 214 medidas na época seca, como foi o caso das amostragens realizadas em novembro que
 215 ocorreram próximas a dias chuvosos. Vale salientar que altas temperaturas e baixas
 216 amplitudes são características próprias da região Semiárida (Zanella, 2014).

217 Efeito do recobrimento sobre os fluxos de gases de efeito estufa

218 Os materiais avaliados para recobrimento das câmaras estáticas não interferiram nos
 219 fluxos dos GEEs em estudo em nenhum dos períodos de avaliação (Tabela 3). A época
 220 de amostragem afetou os fluxos de N₂O e CO₂, mas não os de CH₄.

221

222 Tabela 3. Fluxos de N₂O, CH₄ e CO₂ (média ± erro padrão da média) em função do
 223 recobrimento das câmaras estáticas e das épocas de coleta, em um Argissolo Vermelho-
 224 Amarelo, em Petrolina-PE

Período de Avaliação	Pintura branca	Manta térmica aluminizada	Espuma mais adesivo	Tela de sombreamento	Média
Fluxo de N ₂ O μg N m ⁻² h ⁻¹					
Março	-3,72 ± 3,49	0,03 ± 6,18	0,65 ± 5,75	-2,46 ± 6,03	-1,29 ± 2,61 a
Julho	-3,02 ± 0,90	-0,97 ± 1,63	-4,63 ± 2,32	-5,75 ± 1,22	-3,59 ± 0,81 ab
Novembro	8,42 ± 3,66	7,58 ± 2,43	3,97 ± 3,16	-2,52 ± 4,58	4,51 ± 1,84 ac
Média	0,91 ± 1,75 A	2,28 ± 1,69 A	-0,85 ± 2,05 A	-4,05 ± 1,96 A	
Fluxo de CH ₄ μg C m ⁻² h ⁻¹					
Março	0,30 ± 1,49	-2,12 ± 1,63	0,14 ± 0,95	-0,25 ± 1,09	-0,44 ± 0,65 a
Julho	-1,24 ± 0,83	-0,69 ± 1,60	-2,46 ± 1,02	-0,30 ± 0,76	-1,15 ± 0,55 a
Novembro	-1,28 ± 0,96	-0,93 ± 0,84	-1,92 ± 1,12	-0,01 ± 0,82	-1,04 ± 0,47 a
Média	-0,74 ± 0,65 A	-1,23 ± 0,82 A	-1,43 ± 0,61 A	-0,19 ± 0,51 A	
Fluxo de CO ₂ mg m ⁻² h ⁻¹					
Março	3,40 ± 1,47	2,16 ± 1,61	4,78 ± 1,62	1,79 ± 1,02	3,02 ± 0,73 b
Julho	-0,50 ± 1,49	-0,13 ± 1,00	-1,97 ± 0,69	0,32 ± 1,00	-0,57 ± 0,54 a
Novembro	9,09 ± 1,34	8,62 ± 1,98	10,26 ± 1,18	9,15 ± 1,91	9,28 ± 0,80 c
Média	3,64 ± 1,01 A	3,18 ± 1,00 A	3,82 ± 0,99 A	3,58 ± 0,95 A	

225 Para cada gás, letras maiúsculas comparam médias na linha e minúsculas comparam médias nas colunas.
 226 Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). Não houve
 227 interação entre o tratamento e o período.

228

229 Os fluxos médios de N₂O variaram de -5,75 a 8,42 μg N m⁻² h⁻¹. Não houve
 230 diferença significativa entre os fluxos obtidos entre os tratamentos avaliados. Contudo,
 231 os maiores fluxos desse gás foram observados no mês de novembro, cuja coleta foi
 232 realizada após um evento de precipitação. Diversos estudos mostraram aumento nas
 233 emissões de N₂O com o aumento da umidade do solo (Siqueira Neto et al.; 2011;
 234 Medeiros, 2016; Nogueira et al.; 2016). No entanto, há estudos como o de Jantalia et al.
 235 (2008) e Ribeiro et al. (2016) que não observaram a mesma correlação. Neste estudo

236 não foi avaliada a umidade do solo, já que o objetivo foi avaliar o efeito do
237 recobrimento da câmara sobre a temperatura interna e os fluxos de GEEs e não sobre o
238 solo. Todavia, ocorreram precipitações nos dias das coletas, aumentando a umidade do
239 solo, o que pode justificar os fluxos maiores de novembro, uma vez que, conforme
240 apresentado por Davidson et al. (1996), o potencial de desnitrificação é maior em solos
241 cujos poros estão preenchidos por água.

242 Na Tabela 3 é possível perceber que o erro-padrão de algumas médias é elevado,
243 contudo isso é comum em estudos de emissões de gases. Davidson et al. (1996)
244 verificaram emissões heterogêneas em canaviais da Ilha de Maui (Havaí) e afirmaram
245 que esta heterogeneidade pode ser explicada por variação no potencial de nitrificação,
246 associado a diferenças na distribuição das populações de bactérias nitrificantes no solo.
247 De acordo com Urquiaga et al. (2010) um mesmo solo pode conter sítios anaeróbicos e
248 aeróbicos, ocorrendo assim, ao mesmo tempo, a produção de N₂O (desnitrificação) e de
249 nitratos (nitrificação).

250 Ribeiro et al. (2016) quantificaram os fluxos de N₂O em áreas de pastagem e
251 Caatinga nativa em Pernambuco e observaram uma variação de -41,67 a 175 $\mu\text{g N m}^{-2}$
252 h^{-1} e -50,83 a 141,67 $\mu\text{g N m}^{-2} \text{h}^{-1}$, respectivamente. De acordo com os autores, estes
253 resultados estariam associados à alta variabilidade ambiental do sistema e dos fatores
254 que regulam as emissões, como umidade do solo, temperatura, aeração e cobertura do
255 solo, o que corrobora com os resultados desse estudo (Tabela 3).

256 Quanto aos fluxos negativos de N₂O observados em alguns tratamentos (Tabela 3),
257 de acordo com Signor & Cerri (2013), eles estão relacionados normalmente à baixa
258 disponibilidade de N e de O₂ no solo (não mensurados neste estudo). Ainda segundo os
259 autores, quanto mais tempo o N₂O permanecer no solo após ser formado, maior será a

260 quantidade de N emitida na forma de N₂ e menor a proporção de N₂O (processo
261 completo de desnitrificação).

262 Medeiros (2016) também obteve fluxos negativos quando avaliou as emissões de
263 N₂O em áreas de Caatinga Nativa, Caatinga Pastejada e Buffel Pastejado no Semiárido
264 Pernambucano, o que pode estar relacionado à presença de microssítios anaeróbicos no
265 solo e ao processo completo de desnitrificação nesses pontos, que leva à desnitrificação
266 completa, com formação de N₂ no lugar de N₂O, consolidando os resultados aqui
267 observados (Tabela 3).

268 Já os fluxos médios de CH₄ variaram de -2,46 a 0,30 μg C m⁻² h⁻¹. Os valores
269 negativos indicam que o solo se comportou como um pequeno consumidor de CH₄ da
270 atmosfera (Tabela 3). Diversos estudos observaram que os solos podem ser tanto fonte
271 como dreno de CH₄ (Siqueira Neto et al., 2011; Signor et al., 2014).

272 Medeiros (2016) avaliou as emissões de GEEs em áreas de Caatinga nativa em
273 Petrolina, com o mesmo modelo de câmara aqui estudada, durante o período de
274 fevereiro de 2015 a fevereiro de 2016, e encontrou fluxos de CH₄ variando de -12,09 μg
275 C m⁻² h⁻¹ a 77,77 μg C m⁻² h⁻¹. Os fluxos encontrados por Medeiros (2016) foram
276 maiores que os observados neste estudo (Tabela 3), possivelmente devido à formação de
277 microssítios anaeróbicos no solo induzidos pela umidade associada à elevada taxa de
278 decomposição que consome o O₂ do solo. Siqueira Neto et al. (2011) observaram que o
279 solo se comporta como consumidor de CH₄ principalmente em épocas secas,
280 concordando com os resultados apresentados na Tabela 3.

281 Ribeiro et al. (2016) quantificaram as emissões de GEEs em áreas de Caatinga
282 natural e de áreas de pastagens em Pernambuco, obtendo um fluxo médio de CH₄ de
283 11,67 μg C m⁻² h⁻¹ (variação entre: -250 a 200 μg C m⁻² h⁻¹) e 16,67 μg C m⁻² h⁻¹
284 (variação entre: -275 a 283,33 μg C m⁻² h⁻¹), respectivamente, e verificaram que a

285 Caatinga pode se comportar como sequestrador de CH₄, resultado similar ao observado
286 por esse estudo (Tabela 3).

287 Os fluxos médios de CO₂ variaram de -1,97 a 10,26 mg C m⁻² h⁻¹, indicando que o
288 solo se comportou como fonte e dreno desse gás (Tabela 3), dependendo da época do
289 ano. Os maiores fluxos foram observados em novembro (época quente e após
290 ocorrência de chuva) e os menores em julho (temperatura moderada e sem chuvas
291 próximas às datas de coleta).

292 Nesse sentido, Siqueira Neto et al. (2011) estudaram os fluxos de CO₂ no bioma
293 Cerrado e verificaram menores emissões durante o inverno (maio a setembro), devido à
294 ausência de pluviosidade e a redução significativa da umidade do solo, enquanto que, no
295 período com elevada temperatura e maior pluviosidade, as emissões foram altas,
296 concordando com os resultados da Tabela 3. Sacramento (2012) também avaliou os
297 impactos nos fluxos de CO₂ no Semiárido brasileiro e verificou maiores valores para o
298 período chuvoso em comparação com o seco, observou ainda, que as chuvas reativam as
299 atividades microbianas que passam a utilizar o C e N como fonte de energia, liberando
300 CO₂ para a atmosfera.

301 Medeiros (2016) avaliou as emissões de GEEs em área de Caatinga nativa, Caatinga
302 pastejada e capim buffel encontrando fluxos de CO₂ variando entre 2,17 a 114,52 mg C
303 m⁻² h⁻¹, de -1,20 a 182,07 mg C m⁻² h⁻¹ e de -19,98 a 136,03 mg C m⁻² h⁻¹,
304 respectivamente. Signor et al. (2014) verificaram que a deposição de resíduos vegetais
305 aumenta a emissão de CO₂ pelo solo. Para a área aqui estudada, os valores médios dos
306 fluxos de CO₂ foram baixos (Tabela 3), o que pode ter ocorrido devido à área avaliada
307 possuir solo descoberto.

308 Ribeiro et al. (2016) quantificaram as emissões de GEEs em áreas de Caatinga
309 natural e de pastagens em Pernambuco e verificaram fluxos médios de CO₂ de 254,17

310 $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (variação: -50 a $658,33 \text{ mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$) e $254,17 \text{ mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (variação: -45,83 a
311 $587,5 \text{ mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$), respectivamente. Os fluxos médios observados pelos autores foram
312 superiores ao observado neste estudo (Tabela 3). Vasconcelos et al. (2018) estudaram as
313 emissões de GEEs provenientes do solo para diferentes regiões do Brasil e observaram
314 uma elevada variação nos fluxos de CO_2 devido aos tipos de uso da terra e aos manejos
315 utilizados. Os autores verificaram ainda que as condições climáticas, as características
316 edáficas e a cobertura vegetal influenciam nos fluxos de CO_2 , o que explica a diferença
317 entre os fluxos desse gás observados no presente estudo e aqueles reportados por
318 Ribeiro et al. (2016).

319 Uma vez que o intuito do recobrimento era obter a menor diferença possível entre as
320 temperaturas interna e externa da câmara, o mais indicado é pintar as câmaras de branco
321 ou revestir as paredes externas com a manta térmica aluminizada. Todavia, nas
322 condições em que este estudo foi realizado, considerando a ausência de efeito do
323 material sobre os fluxos dos GEEs avaliados e avaliando o custo-benefício, se torna
324 mais viável utilizar a câmara estática apenas pintada de branco.

325

326

CONCLUSÕES

327 1. Os recobrimentos pintura branca, manta térmica, espuma mais adesivo e tela de
328 sombreamento não alteram os fluxos de GEEs emitidos pelo solo.

329 2. A pintura branca e a manta térmica foram os materiais mais indicados para serem
330 utilizados como recobrimentos de câmaras estáticas em aço galvanizado, nas condições
331 climáticas do Semiárido brasileiro.

332 3. A câmara pintada com esmalte sintético apresenta o melhor custo benefício.

333

LITERATURA CITADA

- 334
- 335 Alves, B. J. R.; Smith, K. A.; Flores, R. A.; Cardoso, A. S.; Oliveira, W. R. D.; Jantalia,
336 C. P.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M. Selection of the most suitable sampling time for
337 static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. *Soil Biology and*
338 *Biochemistry*, v.46, p.129–135, 2012.
- 339
- 340 Clough, T. J.; Rochette, P.; Thomas, S. M.; Pihlatie, M.; Christiansen, J. R.; Thoeman,
341 R. E. Chamber design. In: De Klein, C. A. M.; Harvey, M. J. *Nitrous oxide chamber*
342 *methodology guidelines*. 1.ed. Nova Zelândia: Ministry for Primary Industries, 2012.
343 Cap.2, p.19-33.
- 344
- 345 Davidson, E. A.; Matson, P. A.; Brooks, P. D. Nitrous oxide emission controls and
346 inorganic nitrogen dynamics in fertilized tropical agricultural soils. *Soil Science Society*
347 *of America Journal*, v.60, p.1145–1152, 1996.
- 348
- 349 Hutchinson, G. L.; Livingston, G. P. Soil – atmosphere gas exchange. In: Dane, J. H.;
350 Topp, G. C. *Methods of Soil Analysis - Part 4: Physical Methods*. Madison: Soil
351 *Science Society of America*, 2002. Cap. 4, p.1159–1182.
- 352
- 353 Jantalia, C. P.; Dos Santos, H. P.; Urquiaga, S.; Boddey, R. M.; Alves, B. J. R. Fluxes
354 of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South
355 of Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.82, n.2, p.161–173, 2008.
- 356
- 357 Medeiros, T. A. F. Gases de efeito estufa em um sistema silvipastoril de caprinos de
358 corte no Sertão Pernambucano. Petrolina: UNIVASF, 2016. 71p Dissertação Mestrado.
- 359
- 360 Nogueira, A. K. da S.; Rodrigues, R. de A. R.; Da Silva, J. J. N.; Botin, A.A.; da
361 Silveira, J. G.; Mombach, M. A.; Armacolo, N. M.; Romeiro, S. de O. Fluxos de óxido
362 nítrico em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesquisa Agropecuaria*
363 *Brasileira*, v.51, n.9, p.1156–1162, 2016.
- 364
- 365 Parkin, T. B.; Venterea, R. T. Chamber-based trace gas flux measurements. In: Follett,
366 R. F. *Sampling protocols*. Estados Unidos: Department of Agriculture, Agricultural
367 *Research Service*, 2010. Cap.3, p.1–39.
- 368
- 369 Ribeiro, K.; Sousa-Neto, E. R. de; Carvalho, J. A. de; Sousa Lima, J. R. de; Menezes, R.
370 S. C.; Duarte-Neto, P. J.; Da Silva Guerra, G.; Ometto, J. P. H. B. Land cover changes
371 and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga.
372 *Science of the Total Environment*, v.571, p.1048–1057, 2016.
- 373
- 374 Rochette, P.; Eriksen-Hamel, N. S. Chamber measurements of soil nitrous oxide flux:
375 are absolute values reliable? *Soil Science Society of America Journal*, v.72, n.2, p.331–
376 342, 2008.
- 377
- 378 Sacramento, J. A. A. S. do. Estoques e fluxos de C e N em sistemas agrícolas
379 tradicionais e agroflorestais no semiárido brasileiro. Fortaleza: UFC, 2012. 76p.
380 *Dissertação Mestrado*.
- 381
- 382

- 383 Santos, H. G. dos.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos.; Oliveira, V. A. de.;
384 Lumbrreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de.; Araújo Filho, J. C. de.; Oliveira, J.
385 B. de.; Cunha, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5.ed. Brasília:
386 Embrapa, 2018.
387
- 388 Signor, D.; Cerri, C. E. P. Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review.
389 Pesquisa Agropecuária Tropical, v.43, n.3, p.322–338, 2013.
390
- 391 Signor, D.; Pissioni, L. L. M.; Cerri, C. E. P. Emissões de gases de efeito estufa pela
392 deposição de palha de cana-de-açúcar sobre o solo. Bragantia, v.73, n.2, p.113–122,
393 2014.
394
- 395 Siqueira Neto, M.; Piccolo, M. de C.; Costa Junior, C.; Cerri, C. C.; Bernoux, M.
396 Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. Revista
397 Brasileira Ciência do Solo, v.35, n.1, p.63–76, 2011.
398
- 399 Urquiaga, S.; Alves, B. J. R.; Jantalia, C. P.; Boddey, R. M. Variações nos estoques de
400 carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e
401 subtropicais do brasil: uma análise crítica. Informações agrônômicas, v.130, p.12–21,
402 2010.
403
- 404 Vasconcelos, A. L. S.; Ferrão, G. E. Camargo, P. B.; Cerri, C. E. P.; Pires, I. C. G.;
405 Siqueira Neto, N. Agricultura e emissões de gases de efeito estufa - estudos de casos no
406 Brasil. Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas, v.10, n.2, p.12–40, 2018.
407
- 408 Zanata, J. A.; Alves, B. J. R.; Bayer, C.; Tomazi, M.; Fernandes, A. H. B. M.; Costa, F.
409 de S.; Carvalho, A. M. de. Protocolo para medição de fluxos de gases de efeito estufa do
410 solo. Colombo: Embrapa Florestas, 2014.
411
- 412 Zanella, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido
413 nordestino. Caderno Prudentino de Geografia, v.Especial, n.36, p.126–142, 2014.

5. CAPÍTULO 3 - Modificação da Técnica do Gás Traçador para Coleta de Metano Entérico Emitido por Pequenos Ruminantes

Resumo: Uma das técnicas mais utilizadas para a mensuração do CH₄ entérico é a do gás traçador do hexafluoreto de enxofre (SF₆). A coleta de uma amostra de gás pode ser feita com o auxílio de um sistema amostrador acoplado a um cilindro previamente evacuado. Contudo, para uma amostragem bem-sucedida são necessários calibrações e testes. A partir disso, o objetivo foi avaliar e calibrar amostradores de ar ruminal para coleta de CH₄ entérico emitidos por pequenos ruminantes. O aparato padrão é montado com peças das marcas Swagelok® e SBU®, e vem sendo utilizado atualmente nas pesquisas com pequenos ruminantes na Embrapa Semiárido. Os tratamentos avaliados foram: canga completa Swagelok®; canga completa DK-Lok®; canga mista Dk-Lok®/SBU®; canga testemunha (Swagelok®/SBU®). A calibração ocorreu de outubro a novembro de 2019. Todos os tratamentos avaliados podem ser utilizados como sistemas amostradores de ar ruminal e, quando levado em consideração o custo para montagem, o mais indicado é o amostrador DK-Lok® misto, seguido do DK-Lok® completo que custaram 37,69 e 32,43% a menos que o amostrador testemunha, respectivamente, enquanto o amostrador Swagelok® completo foi 10,06% mais caro que o tratamento testemunha.

Palavras-chave: SF₆, caprino, ovinos, gases de efeito estufa, CH₄

Abstract: One of the most commonly used techniques for measuring CH₄ is the sulfur hexafluoride (SF₆) gas tracer. The collection of a gas sample can be done with the aid of a sampling system coupled to a previously evacuated cylinder. However, successful

26 sampling requires calibration and testing. From this the objective was to evaluate and
27 calibrate ruminal air samplers to collect enteric CH₄ emitted by small ruminants. The
28 standard apparatus is assembled with Swagelok® and SBU® brand parts and is
29 currently being used in small ruminant research at Embrapa Semi-arid. The treatments
30 evaluated were: control, complete Swagelok®, part DK-Lok®, complete DK-Lok®.
31 Calibration occurred from October to November 2019. It was observed that all
32 evaluated treatments can be used as ruminal air sampling systems. and when taking into
33 account the cost of assembly the most suitable is the mixed DK-Lok® sampler,
34 followed by the DK-Lok® complete which cost 37,69 and 32,43% less than the witness
35 sampler, respectively, while the complete Swagelok® sampler was 10.06% more
36 expensive than the control treatment.

37

38 **Key words:** SF₆, goats, sheeps, greenhouse gases, CH₄

39

40

INTRODUÇÃO

41 O metano (CH₄) é um dos principais gases contribuintes para o efeito estufa, com um
42 potencial de aquecimento de 28 vezes maior do que o de uma molécula de dióxido de
43 carbono (CO₂) (IPCC, 2014). A fermentação entérica é a principal fonte de emissão de
44 CH₄, porque este gás não é metabolizado pelos animais, sendo removido pelo processo
45 de eructação e respiração (Satyanagalakshmi & Sridhar, 2015).

46 Diversas metodologias podem ser utilizadas para mensurar o CH₄ entérico.
47 Entretanto, a mensuração correta deve levar em conta a interferência da metodologia no
48 animal, a mudança em seu ambiente natural ou produtivo e a interferência no gás
49 emitido a ser avaliado (Sakamoto, 2018). A técnica do gás traçador de hexafluoreto de
50 enxofre (SF₆) é umas das mais utilizadas para a mensuração da emissão de CH₄ entérico

51 por ruminantes (Hill et al., 2016). A coleta de uma amostra do gás emitido pelos
52 animais pode ser feita com o auxílio de um sistema amostrador de ar ruminal acoplado a
53 um cilindro previamente evacuado (Johnson et al., 1994; Okpara 2018) e a
54 quantificação do gás na amostra é feita por cromatografia gasosa.

55 O material que forma o aparato coletor precisa ser robusto o suficiente para resistir à
56 luz, à temperatura, à umidade e a possíveis danos provocados acidentalmente pelos
57 animais, sem comprometer a qualidade das amostras. Adicionalmente, é importante que
58 o seu custo não seja elevado, uma vez que é necessária a obtenção de sucessivas
59 repetições experimentais.

60 Independente da metodologia escolhida para mensuração do CH₄ entérico são
61 necessários calibrações e testes para uma amostragem bem-sucedida (Hammond et al.,
62 2016).

63 O objetivo deste estudo foi montar amostradores de ar ruminal com peças
64 alternativas, calibrá-los e compará-los com os amostradores já empregados e determinar
65 se os novos amostradores podem ser utilizados no lugar do aparato padrão para coleta
66 de CH₄ entérico emitido por pequenos ruminantes.

67

68 **MATERIAL E MÉTODOS**

69 **Delineamento experimental**

70 O procedimento de montagem e calibração dos equipamentos de coleta de CH₄
71 entérico foi realizado entre dias 15 de julho e 8 de novembro de 2019. O estudo foi
72 constituído por doze amostradores, sendo quatro tratamentos com três repetições cada.
73 O delineamento experimental foi inteiramente casualizado.

74 Os tratamentos utilizados foram: canga completa Swagelok®; canga completa DK-
75 Lok®; canga mista Dk-Lok®/SBU®; canga testemunha (Swagelok®/SBU®).

76 O arranjo do aparato de amostragem foi determinado com base no estudo de
77 catálogos de diversos fabricantes, em busca de peças com qualidade igual ou superior às
78 da testemunha. O sistema para amostragem e armazenamento, também chamado de
79 canga, consistiu de um recipiente armazenador, representado por um cilindro em aço
80 inoxidável de 0,5 L, e um cabresto de náilon equipado com amostrador de ar ruminal
81 (Figura 1).

82

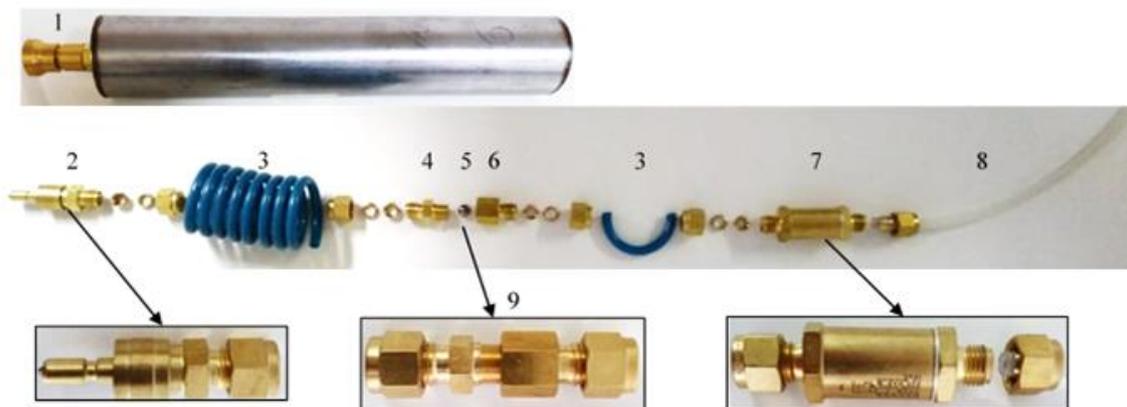


83 Figura 1. Sistema de amostragem e armazenamento de CH₄ entérico montado em um
84 caprino da raça Canindé. Foto: Layse Araújo Gordiano

85

86 O sistema amostrador (Figura 2) foi composto por três partes: filtro; *ball bearing*
87 (restritor de fluxo), composto por conector fêmea, conector macho e esfera; e o conjunto
88 do engate rápido, composto pela espiga e corpo do engate rápido

89 O *ball bearing* do aparato tem a função de regular a taxa de amostragem de gás
90 (Figura 1). A regulagem do *ball bearing* foi realizada fixando a conexão fêmea e
91 apertando ou folgando a conexão macho (Figura 1), a fim de diminuir ou aumentar,
92 respectivamente, o fluxo da linha de transferência de ar coletado por meio do bico
93 aspirador e armazenado no cilindro de aço inoxidável.



94 Figura 2. Esquema de montagem do amostrador de ar ruminal. 1 – Corpo do engate
 95 rápido conectado ao cilindro de armazenamento. 2 - Espiga do engate rápido, que deve
 96 ser acoplado ao corpo do engate rápido durante as coletas. 3 – Mangueira em
 97 poliuretano (TPU). 4 – Conector macho. 5 – Esfera em aço inoxidável. 6 – Conector
 98 fêmea. 7 – Filtro. 8 – Bico aspirador em tetrafluoroetileno-co-perfluoropropil vinyl éter
 99 (PFA). 9 – Conjunto ball bearing montado

100

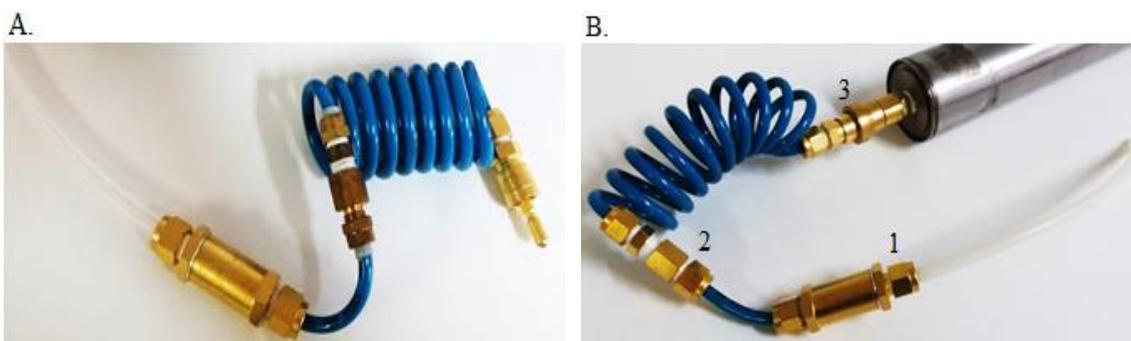
101 **Aparatos de amostragem confeccionados**

102 O tratamento testemunha (Figura 3A) consistiu no aparato de amostragem de ar
 103 ruminal utilizado nas pesquisas desenvolvidas pela Embrapa Semiárido, adaptado do
 104 aparato desenvolvido por Gere e Gratton (2010), composto por filtro (B-4F-15;
 105 Swagelok, Solon, OH, EUA), conector fêmea e macho com respectivas porcas e anilhas
 106 em plástico (4005014018M; 4005014018M; SBU, São Paulo, SP, BR), espiga e corpo
 107 do engate rápido (B-QC4-S-400; B-QC4-B-4MP; Swagelok, Solon, OH, EUA).

108 O segundo tratamento, completo Swagelok® (Figura 3B), era constituído por filtro
 109 (B-4F-15; Swagelok, Solon, OH, EUA), conjunto de engate rápido (B-QC4-S-400, B-
 110 QC4-B-4MP; Swagelok, Solon, OH, EUA) e conector fêmea e macho (B-400-7-2; B-
 111 400-1-4; Swagelok, Solon, OH, EUA), sendo que todas as peças possuíam porca e
 112 conjunto de anilhas em latão. As anilhas foram escolhidas por possuírem função de
 113 vedação e cravamento, fornecendo vedação.

114 O sistema de amostragem mista DK-Lok® (Figura 4A) compreendeu filtro (V73B-
 115 D-4T-15-NE-B; Gimhae, ROK), espiga e corpo do engate rápido (DQSA-D-4T- B;

116 DQBA-M-4N-B; Gimhae, ROK) e *ball bearing* (4005014018M; 4005014018M; SBU,
 117 São Paulo, SP, BR).
 118

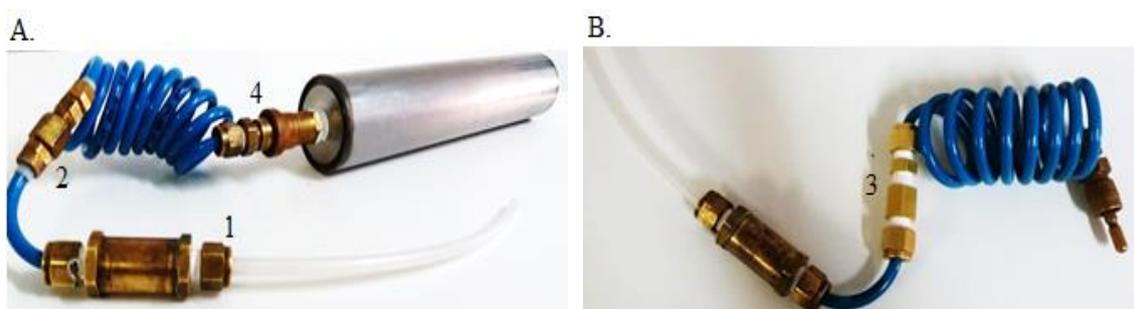


119 Figura 3. Tratamentos mista (A) e completa (B) Swagelok®. 1- Filtro; 2- *Ball bearing*
 120 SBU®; 3- *Ball bearing* Swagelok®; 4- Conjunto engate rápido

121

122 Já o tratamento completo DK-Lok® (Figura 4B) foi composto por filtro (V73B-D-
 123 4T-15-NE-B; Gimhae, ROK), engate rápido (DQSA-D-4T- B; DQBA-M-4N-B;
 124 Gimhae, ROK) e *ball bearing* (DCF4-4N-B; DMC4-4R-B; Gimhae, ROK). Todas as
 125 peças desse tratamento apresentaram porcas e conjunto de anilhas em latão, assim como
 126 o tratamento completo Swagelok®.

127



128 Figura 4. Tratamentos mista (A) e completa (B) DK-Lok®. 1- Filtro; 2- *Ball bearing*
 129 DK-Lok®; 3- Conjunto engate rápido

130

131 **Montagem do aparelho de coleta**

132 Para montagem dos amostradores, inicialmente foi estabelecido o comprimento total
133 que este deveria ter, levando em consideração que o pequeno ruminante não deve ter
134 seus movimentos limitados pelo cabresto, além de permitir a união da espiga com o
135 corpo do engate rápido. Assim, o aparato de amostragem de gás precisava ter 138 cm.

136 O bico aspirador, tubo de PFA, possuía 20 cm de comprimento e 6,35 mm (1/4") de
137 diâmetro externo. Em sua extremidade final foi fixado com anilhas e porca à entrada do
138 filtro, que tinha como função reter, em condições de campo, a passagem de partículas e
139 resíduos, que poderiam levar a obstrução do amostrador. Na saída do filtro fixou-se,
140 com anilhas e porca, um pedaço de mangueira de TPU de 4 cm com 6 mm de diâmetro
141 externo (Figura 2).

142 Na extremidade livre da mangueira foi fixado o conjunto *ball bearing*, formado por
143 uma conexão fêmea (extremidade para tubo 1/4" X 1/8" de rosca NPT fêmea) dentro da
144 qual foi colocada uma esfera em aço de 7 mm de diâmetro, rosqueada a uma conexão
145 macho (extremidade para tubo 1/4" X 1/8" de rosca NPT macho) (Figura 2).

146 Na extremidade com conector macho foi fixada, com rosca e anilhas, a mangueira de
147 TPU com 114 cm e 6 mm de diâmetro externo e ao final do comprimento da mangueira
148 foi fixado a espiga do engate rápido com porca e anilhas (Figura 2).

149

150 **Calibração**

151 O processo de calibração do aparato consistiu em simular os procedimentos
152 realizados quando a canga é instalada nos animais para a coleta do CH₄ entérico em
153 condições de campo. Neste estudo foram utilizadas duas formas de calibração: a
154 primeira consistiu em realizar o ajuste (aperto ou folga) do *ball bearing* pela pressão do
155 cilindro, enquanto a segunda se deu pela calibração por meio do teste da bolha. Este
156 último é um método mais rápido de calibrar os amostradores, em comparação com o

157 primeiro, contudo para realizá-lo era necessário ter ao menos um amostrador calibrado,
158 já que a calibragem era feita por meio de comparação.

159 Para atingir a condição de calibração de pelo menos um amostrador, inicialmente foi
160 realizada a metodologia da calibração pelo ajuste da pressão. Dessa forma, o cilindro
161 armazenador foi evacuado até uma pressão de aproximadamente -13,50 psi. A pressão
162 atingida por cada cilindro foi medida em manômetro digital e anotada. Em seguida, o
163 *ball bearing* foi conectado a um cilindro, permitindo o fluxo de ar para dentro do
164 mesmo, durante um período de 24 horas, que equivalente ao tempo que o cilindro
165 permanece instalado nos animais durante as amostragens de campo.

166 Após esse período, foi aferida a pressão interna do cilindro. O amostrador foi
167 considerado calibrado, quando a pressão apresentou valor de $-6,75 \pm 1,25$ psi. Para os
168 cilindros que não atingiram este valor, o fluxo na linha de transferência era aumentado
169 ou diminuído, por meio da folga ou do aperto do conector macho. Após este
170 procedimento, a conexão ao cilindro por 24 horas (como descrito anteriormente) foi
171 repetida, até que a condição de calibração atingisse o valor desejado em pelo menos um
172 amostrador de cada tratamento.

173 Os demais amostradores foram calibrados pelo método da bolha. Para esse
174 procedimento, foi realizado vácuo novamente em dois cilindros e, em seguida, foi
175 adicionado ar comprimido em ambos até uma pressão de 30 psi. No primeiro cilindro
176 foi conectado o amostrador calibrado, enquanto que no segundo foi conectado um
177 amostrador não calibrado. Os bicos aspiradores dos dois aparatos foram colocados em
178 um recipiente transparente com água a uma mesma altura. Observou-se a formação da
179 bolha de ar dos dois aparatos. A calibração do amostrador foi feita apertando e/ou
180 folgando o *ball bearing* descalibrado até que a bolha liberada por este ficasse o mais

181 próximo possível da bolha de ar do aparato calibrado. Esse procedimento foi repetido
182 para todos os amostradores descalibrados.

183 Para conferir se o amostrador tinha atingido a condição de calibração, este foi
184 conectado a um cilindro previamente evacuado e deixado por 24 horas para que fosse
185 preenchido. Após esse período se a pressão do cilindro estivesse na faixa supracitada,
186 ele era considerado calibrado, do contrário, era repetido o teste da bolha até que a
187 calibração fosse obtida.

188

189 **Análise estatística**

190 Os resultados obtidos foram tabulados em planilha eletrônica e avaliados por meio da
191 estatística descritiva.

192

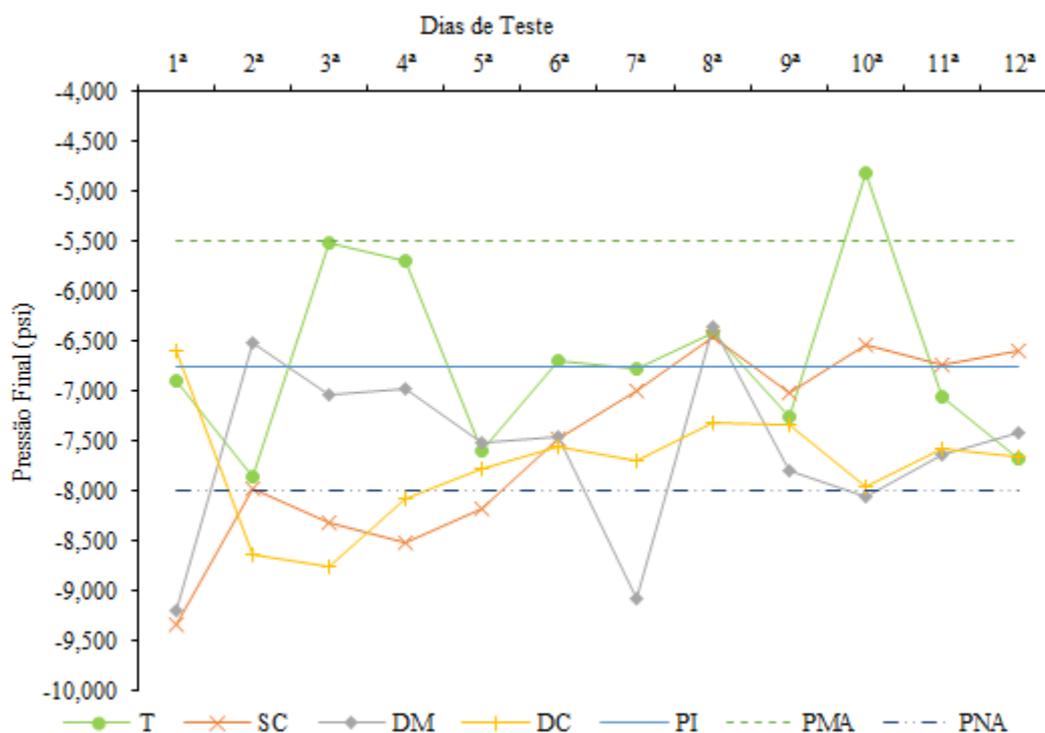
193 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

194

195 Ao final do período de testes, todos os tratamentos atingiram a condição de
196 calibração. O tratamento testemunha calibrou na primeira tentativa, só vindo a
197 descalibrar no nono dia de teste após a calibração. Por conta disso, precisou ser
198 calibrado novamente e, após essa segunda calibração, permaneceu calibrado até o fim
199 do experimento (Figura 5). O aparato Dk-Lok® completo também calibrou na primeira
200 tentativa. Contudo, descalibrou no primeiro dia de teste, sendo necessárias duas
201 tentativas de calibração até atingir esta condição. Após atingida novamente, o aparato
202 manteve-se nesta condição até o final do experimento (Figura 5).

203 O amostrador Swagelok® completo calibrou na segunda tentativa, vindo a
204 descalibrar no primeiro dia de teste após atingir essa condição e somente atingindo a

205 calibração adequada na terceira tentativa (Figura 5). A partir de então, permaneceu
 206 calibrado até o final do experimento.
 207



208 T – Testemunha; SC – Swagelok® completo; DM – DK-Lok® misto; DC – DK-Lok® completo; PI –
 209 Pressão ideal; PMA – Pressão máxima aceita; PNA – Pressão mínima aceita

210

211 Figura 5. Evolução dos tratamentos durante a calibração dos aparatos para avaliação da
 212 emissão de CH₄ entérico por pequenos ruminantes

213

214 O sistema de amostragem DK-Lok® misto também foi calibrado na segunda
 215 tentativa (Figura 5). Contudo, descalibrado no quinto dia de teste após a calibração,
 216 sendo calibrado novamente e desde então manteve esta condição.

217 Segundo Garnsworthy et al. (2019), diversos pesquisadores fizeram adaptações no
 218 equipamento de amostragem e coleta, no tubo de permeação e na análise do gás, sendo
 219 que a precisão dos resultados está associada principalmente à determinação correta da
 220 quantidade de SF₆ liberada do tubo de permeação e do controle da taxa de amostragem.

221 Johnson et al. (1994) utilizaram pela primeira vez a técnica do gás traçador de SF₆,
222 que havia sido desenvolvida por Patrick R. Zimmerman em 1993, e concluíram que se
223 trata de uma técnica de simples aplicação, relativamente barata e com grande
224 capacidade de mensurar a emissão de CH₄ entérico. O sistema de amostragem utilizado
225 pelos autores consistiu em um tubo capilar, colocado próximo à boca ou à narina do
226 animal, acoplado a uma esfera em aço inoxidável (recipiente armazenador) de 1 L e um
227 filtro de 50 µm a montante da linha capilar para evitar que a mesma fosse obstruída.

228 Pinares-Patiño et al. (2012), na Nova Zelândia, e Gere e Gratton (2010), na
229 Argentina, adaptaram o aparato coletor-armazenador desenvolvido por Zimmerman de
230 forma que melhor atendessem às condições locais de implantação.

231 Primavesi et al. (2004) observaram que para determinação os fluxos do CH₄ ruminal
232 em diferentes condições de uso, adaptações no aparato de amostragem podiam ser
233 necessárias. Os autores apresentaram dois conjuntos de sistemas de amostradores de ar
234 ruminal, um desenvolvido com peças de marcas internacionais e outro com parte das
235 peças nacionais, que o tornava mais barato que o primeiro. Ambos os sistemas foram
236 considerados aptos para serem utilizados para coleta de CH₄ entérico.

237 Berndt et al. (2012) aprimoraram o aparato desenvolvido por Primavesi et al. (2004)
238 de forma a padronizar a metodologia de coleta de CH₄ entérico, considerando a
239 diversidade dos sistemas avaliados. O tratamento testemunha avaliado no presente
240 estudo foi desenvolvido por Berndt et al. (2012) e, apesar de atender às condições de
241 uso para pequenos ruminantes no Semiárido brasileiro, foi percebida a necessidade de
242 buscar novas peças e marcas para montagem dos amostradores, visando à redução de
243 custos e a manutenção da qualidade das avaliações.

244 Deighton et al. (2014) também desenvolveram modificações para o amostrador de ar.
245 Os autores testaram restritores de fluxo fabricados a partir de tubos capilares (com

246 comprimento de 100 e 150 mm) e com placa de orifício. Neste estudo foi observando
247 que o tubo capilar com 100 mm resultava em erros de -1,4% até +11,4%, o tubo capilar
248 com 150 mm provocava erros na faixa de -0,3 a 3,2% e o erro quando se usava a placa
249 de orifício variava de 0 a 0,3% nas emissões estimadas do CH₄.

250 As médias e erros-padrões das pressões finais para os tratamentos testemunha,
251 Swagelok® completo, Dk-Lok® misto e DK-Lok® completo foram de $-6,688 \pm 0,262$, -
252 $7,514 \pm 0,398$, $-7,586 \pm 0,334$ e $-7,746 \pm 0,363$ psi, respectivamente. Contudo, vale ressaltar
253 que a anilha plástica no tratamento Swagelok®/SBU® não se fixou adequadamente à
254 mangueira, vindo a mesma a se soltar do *ball bearing* durante a manipulação do
255 aparato, situação que não ocorreu com o conjunto de dupla anilhas de latão (tratamento
256 completo Swagelok® DK-Lok®). Essa observação é importante, pois, em experimentos
257 a campo com pequenos ruminantes, o desprendimento do *ball bearing* da mangueira
258 resultaria na perda de um dia de coleta, comprometendo a qualidade dos resultados do
259 experimento, já que o número de animais avaliados com o aparato para coleta de CH₄
260 entérico não costuma ser elevado.

261 Primavesi et al. (2004a) mensuraram o CH₄ entérico de bovinos leiteiros em pasto
262 em condições tropicais brasileiras. Os autores utilizaram quatro animais da raça
263 Holandesa Preto e Branco e quatro da raça Mestiça Leiteira Brasileira. Para a
264 mensuração desse gás, utilizaram uma canga coletora-armazenadora em tubo de PVC,
265 tendo pressão interna próxima de zero atmosfera e calibrada para atingir meia atmosfera
266 de pressão no final do período de coleta (12 horas), mediante tubo capilar de aço
267 inoxidável (0,127 mm de DI e 4 cm de comprimento) preso a um cabresto.

268 Gordiano (2015) avaliou a emissão de CH₄ entérico de vinte e quatro caprinos (doze
269 animais da raça Canidé e doze do ecotipo repartida) em pastejo na Caatinga. O gás era
270 aspirado por um equipamento regulador de ar fixado em um cabresto e conectado a um

271 cilindro de armazenamento submetido a vácuo, que ficava alojado dentro de uma
272 mochila de tecido no dorso do animal. O equipamento utilizado por Gordiano (2015) foi
273 o mesmo aparato utilizado como testemunha neste estudo.

274 Jonker et al. (2016) mensuraram as emissões de CH₄ entérico de bovinos submetidos
275 a três níveis de alimentação com uma frequência de quatro vezes ao dia na Nova
276 Zelândia. Para essa avaliação os autores utilizaram oito animais das raças Hereford e
277 Friesian. O aparato de coleta-armazenamento dos gases utilizado pelos autores foi o
278 proposto por Pinares-Patiño et al. (2012).

279 Castro et al. (2017) avaliaram as emissões de CH₄ entérico em vinte fêmeas
280 bubalinas (raças Murrah e Mediterrâneo) da Amazônia Oriental. Os autores utilizaram
281 uma canga coletora-armazenadora similar à de Primavesi (2004a), embora com período
282 de coleta diferente.

283 Nogueira (2019) para avaliação da emissão de CH₄ entérico de ovinos mantidos em
284 pastagens e recebendo diferentes estratégias de suplementação, utilizou doze ovelhas
285 Lacaune x Santa Inês. Nogueira (2019) utilizou o mesmo aparato que Gordiano (2015),
286 sendo este o tratamento testemunha avaliado no presente estudo.

287 Os *ball bearings* da Swagelok® e DK-Lok® apresentaram custo respectivos de
288 R\$62,98 e R\$32,93 mais elevado do que o desenvolvido com peças SBU® (R\$16,12)
289 (Tabela 1).

290 Contudo, é importante ressaltar que as peças que constituíam o *ball bearing* da marca
291 SBU® já haviam sido utilizadas para montagem de outros amostradores em
292 experimentos anteriores, ou seja, as peças já estavam gastas, enquanto que os
293 tratamentos Swagelok® e DK-Lok® completo possuíam um *ball bearing* composto por
294 peças novas. Condição esta, que poderia justificar o fato dos amostradores compostos

295 com essas peças terem ou levado mais tempo para calibração, ou descalibrarem após
 296 determinado período de teste, necessitando ser novamente calibrado, para posterior uso.

297 Tabela 1. Custo associado à montagem de uma amostrador

Tratamento	Peças	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Testemunha	Filtro	382,90	626,13
	Ball bearing	16,12	
	Engate rápido	227,11	
Swagelok completa	Filtro	382,90	689,11
	Ball bearing	79,10	
	Engate rápido	227,11	
DK-Lok mista	Filtro	209,82	390,13
	Ball bearing	16,12	
	Engate rápido	164,19	
DK-Lok completa	Filtro	209,82	423,06
	Ball bearing	49,05	
	Engate rápido	164,19	

298

299 Quando avaliado o custo associado à montagem de cada sistema amostrador, o
 300 aparato completo Swagelok® apresentou maior valor, seguido da testemunha, completo
 301 DK-Lok® e DK-Lok®/SBU® (Tabela 1).

302

303

CONCLUSÃO

304 1. Os tratamentos canga completa Swagelok®, canga completa DK-Lok®, canga mista
 305 Dk-Lok®/SBU® e canga testemunha (Swagelok®/SBU®) podem ser utilizados como
 306 sistemas amostradores de ar ruminal, sem comprometimento da qualidade da
 307 amostragem.

308 2. O custo dos amostradores DK-Lok® misto e DK-Lok® completo apresentaram
 309 menor valor.

310

311

312

LITERATURA CITADA

313 Berndt, A.; Pedroso, A. de F.; Pereira, L. G. R.; Rodrigues, P. M.; Almeida, R. G. de;
314 Guimarães Júnior, R.; Frighetto, R. T. S. Diretrizes para avaliação da emissão de
315 metano entérico com a técnica do gás traçador SF₆. São Carlos: Embrapa Pecuária
316 Sudeste, -Documentos (INFOTECA-E), 2012.

317

318 Castro, V. C. G.; Amaral Júnior, J. M. do; Martorano, L. G.; Fernandes, P. C. C.;
319 Monteiro, S. do N.; Lourenço Junior, J. de B. Emissões de metano entérico em búfalas
320 na Amazônia Oriental: TIER 2 e hexafluoreto de enxofre. Revista de Ciências Agrárias,
321 v. 60, n. 3, p. 286-290, 2017.

322

323 Deighton, M. H.; Williams, S. R. O.; Hannah, M. C.; Eckard, R. J.; Boland, T. M.;
324 Wales, W. J.; Moate, P. J. A modified sulphur hexafluoride tracer technique enables
325 accurate determination of enteric methane emissions from ruminants. Animal Feed
326 Science and Technology, v. 197, p. 47–63, 2014.

327

328 Garnsworthy, P. C.; Difford, G. F.; Bell, M. J.; Bayat, A. R.; Huhtanen, P.; Kuhla, B.;
329 Lassen, J.; Peiren, N.; Pszczola, M.; Sorg, D.; Visker, M. H. P. W.; Yan, T. Comparison
330 of methods to measure methane for use in genetic evaluation of dairy cattle. Animals, v.
331 9, n. 10, p. 837-848, 2019.

332

333 Gere, J. I.; Gratton, R. Simple, low-cost flow controllers for time averaged atmospheric
334 sampling and other applications. Latin American Applied Research, v. 40, n. 4, p. 377–
335 381, 2010.

336

337 Gordiano, L. A. Emissão de metano por caprinos em pastejo na caatinga, nos períodos
338 seco e chuvoso. Petrolina: UNIVASF, 2015. 68p Dissertação Mestrado.

339

340 Hammond, K. J.; Crompton, L. A.; Bannink, A.; Dijkstra, J.; Yáñez-Ruiz, D. R.;
341 O’Kiely, P.; Kebreab, E.; Eugenè, M.A.; Yu, Z.; Shingfield, K.J.; Schwarm, A.; Hristov,
342 A.N.; Reynolds, C.K. Review of current in vivo measurement techniques for
343 quantifying enteric methane emission from ruminants. Animal Feed Science and
344 Technology, v. 219, p. 13-30, 2016.

345

346 Hill, J.; Mcsweeney, C.; Wright, A. G.; Bishop-Hurley, G.; Kalantar-Zadeh, K.
347 Measuring methane production from ruminants. Trends in Biotechnology, v. 34, n. 1, p.
348 26–35, 2016.

349

350 IPCC. Climate change 2014: mitigation of climate change working. Contribution of
351 working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on
352 climate change. Reino Unido e Nova York: Cambridge University Press, Cambridge,
353 2014.

354

355 Johnson, K. A.; Huyler, M. T.; Westburg, H. H.; Lamb, B. K.; Zimmerman, P. Johnson,
356 K. A.; Huyler, M. T.; Westburg, H. H.; Lamb, B. K.; Zimmerman, P. Measurement of
357 methane emissions from ruminant livestock using a SF₆ tracer technique.
358 Environmental Science and Technology, v. 28, n. 2, p. 359–362, 1994.

359

360

- 361 Jonker, A.; Molano, G.; Antwi, C.; Waghorn, G. C. Enteric methane and carbon dioxide
362 emissions measured using respiration chambers, the sulfur hexafluoride tracer
363 technique, and a GreenFeed head-chamber system from beef heifers fed alfalfa silage at
364 three allowances and four feeding frequencies. *Journal of Animal Science*, v. 94, n. 10,
365 p. 4326-4337, 2016.
- 366
- 367 Nogueira, G. H. M. de S. M. F. Produção de leite e emissão de metano entérico de
368 ovelhas mantidas em pastagem com diferentes suplementos. Petrolina: UNIVASF,
369 2019. 60p Dissertação Mestrado.
- 370
- 371 Okpara, M.O. Methane emissions in ruminants: perspectives on measurement and
372 estimation methods. *Russian Agricultural Sciences*, v. 44, n. 3, p. 290–294, 2018.
- 373
- 374 Pinares-Patiño, C.; Gere, J.; Williams, K.; Gratton, R.; Juliarena, P.; Molano, G.;
375 Maclean, S.; Sandoval, E.; Taylor, G.; Koolaard, J. Extending the collection duration of
376 breath samples for enteric methane emission estimation using the SF₆ tracer technique.
377 *Animals*, v. 2, n. 2, p. 275–287, 2012.
- 378
- 379 Primavesi, O.; Frighetto, R.T.S.; Pedreira, M. S.; Lima, M.A.; Berchielli, T. T.;
380 Demarchi, J. J. A. A.; Manella, M. Q.; Barbosa, P. F.; Johnson, K. A.; Westberg, H. H.
381 Técnica do gás traçador SF₆ para medição de campo do metano ruminal em bovinos:
382 adaptações para o Brasil. 1^a ed. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004.
- 383
- 384 Primavesi, O.; Frighetto, R.T.S.; Pedreira, M. S.; Lima, M.A.; Berchielli, T. T.;
385 Barbosa, P. F. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 3, p. 277-283, 2004a.
- 386
- 387 Sakamoto, L. S. Intensidade de emissão de gás metano em bovinos de Nelore
388 terminados a pasto e cruzados em confinamento. Pirassununga: FZEA/USP, 2018.
389 125p. Tese Doutorado.
- 390
- 391 Satyanagalakshmi, K.; Sridhar, G. T.; Sirohi, S. K. An overview of the role of rumen
392 methanogens in methane emission and its reduction strategies. *African Journal of*
393 *Biotechnology*, v. 14, n. 16, p. 1427-1438, 2015.
- 394
- 395 Zimmerman, P. R. System for measuring metabolic gas emissions from animals,
396 5,265,618, 1993.
- 397

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Manter a temperatura interna da câmara o mais próximo possível da temperatura do ar é uma característica importantíssima para se obter uma amostragem de GEEs bem-sucedida e que represente fielmente a realidade. As menores diferenças entre a temperaturas internas e externas foram obtidas com a câmara apenas pintada de branco e com a câmara recoberta com manta térmica aluminizada, embora esse primeiro tratamento tenha apresentado o menor custo associado para o seu desenvolvimento. Portanto, pintar as câmaras de branco é uma solução barata e eficiente para a mensuração de GEEs emitidos pelo solo para as condições climáticas aqui observadas.

Obter amostradores, para coleta de metano entérico, que atinjam a condição de calibração, acaba com a dependência de uma marca específica, possibilitando montar mais amostradores e avaliar mais animais, resultando em dados mais precisos.

O aperfeiçoamento de ambas as técnicas pode contribuir com a elaboração dos inventários brasileiros de GEEs, aumentando assim, a sustentabilidade e a competitividade da agropecuária brasileira.