



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV

**ANÁLISE DO FLUXO DE GASES EM UM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO CERRADO
UTILIZANDO O MÉTODO DE COVARIÂNCIA DE
TURBILHÕES – 2018/2019**

Andressa Blasi Paiva

Brasília, DF
Novembro de 2021



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV

Andressa Blasi Paiva

**ANÁLISE DO FLUXO DE GASES EM UM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO CERRADO
UTILIZANDO O MÉTODO DE COVARIÂNCIA DE
TURBILHÕES – 2018/2019**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientadora: Dra. Selma Regina Maggiotto

Brasília, DF
Novembro de 2021

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAV

Termo de Aprovação

Autor: Andressa Blasi Paiva

Título: Análise do fluxo de gases em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária no cerrado utilizando o método de covariância de turbilhões – 2018/2019

Aprovado em: Brasília, 17 de novembro de 2021.

Banca examinadora:

Professora Dra. Selma Regina Maggiotto
Universidade de Brasília – UnB
Orientadora

Professor Dr. João José da Silva Júnior
Universidade de Brasília – UnB
Examinador

Dra. Lurdineide de Araújo Barbosa Borges
Examinadora

FICHA CATALOGRÁFICA

BP149a

PAIVA, A. B.

Análise do Fluxo de Gases em um Sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado Utilizando o Método de Covariância de Turbilhões – 2018/2019.
/ Andressa Blasi Paiva; orientadora: Profa. Dra. Selma Regina Maggiotto. – Brasília, 2021. 40 p.

Monografia (Graduação – Agronomia) – Universidade de Brasília, 2021.

1. Metano 2. Gás Carbônico. 3. Eddy Covariance. 4. Gases de Efeito Estufa. I. Maggiotto, Selma Regina, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PAIVA, A. B. **Análise do Fluxo de Gases em um Sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado Utilizando o Método de Covariância de Turbilhões – 2018/2019.** 2021. 40f. Monografia (Curso de Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: Andressa Blasi Paiva

Título da Monografia de Conclusão de Curso: Análise do Fluxo de Gases em um Sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado Utilizando o Método de Covariância de Turbilhões – 2018/2019.

Ano: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

DEDICATÓRIA

A minha família e aos meus amigos que estiveram ao meu lado ao longo dessa jornada, sempre me estimulando a fazer o meu melhor e acreditando em minhas capacidades.

AGRADECIMENTOS

A meus pais por todo apoio e ensinamento que me foram dados durante a minha formação.

Ao meu irmão Mateus pelo companheirismo e amizade, sempre me lembrando a ver o lado divertido da vida.

A todos os meus familiares que estiveram presentes na minha vida, por todo carinho e união, em especial às primas Isabella, Amanda e Daniela pela amizade desde sempre.

Às amigas Lauanda e Isabella por todos os momentos compartilhados, estando sempre presentes na minha vida, mesmo que as dificuldades da vida adulta às vezes nos distanciem.

Ao Gabriel por todo o companheirismo durante a longa jornada da graduação, estando sempre presente. Por me auxiliar a crescer como pessoa e pela ajuda na realização deste trabalho da melhor maneira possível.

Ao José Victor por toda colaboração e parceria durante a produção deste trabalho.

À minha orientadora Selma Regina Maggiotto e ao professor João José da Silva Júnior por toda a dedicação e contribuição não somente durante as aulas da graduação e na produção da monografia, como também para a minha formação como profissional e como ser humano.

À Embrapa, por conceder o acesso aos dados utilizados na realização deste estudo e pelas visitas em campo que permitiram melhor entendimento ao trabalho que realizamos.

Paiva, A. B. Análise do Fluxo de Gases em um Sistema de Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado Utilizando o Método de Covariância de Turbilhões – 2018/2019. 40f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2021.

RESUMO

A agropecuária atual é uma das atividades antrópicas de grande importância, tratando-se de alterações no meio ambiente e da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEEs). Neste contexto, é necessário que haja estudos sobre métodos de cultivo e manejo das áreas que visem a mitigação da emissão dos GEEs ao mesmo tempo em que mantém a produtividade necessária para atender a demanda mundial. O sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP) vem sendo pesquisado como um meio alternativo de cultivo que gera bons resultados para uma produção sustentável. O estudo que vem sendo realizado na Fazenda Capivara, Embrapa Arroz e Feijão visando analisar os fluxos dos gases metano, dióxido de carbono e vapor de água e seu comportamento em uma área de ILP. O método utilizado para tal é o *Eddy Covariance* (Covariância de Turbilhões), uma técnica micrometeorológica, considerada como a mais direta para a obtenção desses fluxos. A área em análise foi a parcela denominada Creche 4, no período de 01/10/2018 até 01/10/2019, onde foram cultivados capim braquiária e soja, nesta ordem. Os dados obtidos passaram por pré-processamento para que não fossem levados em consideração dados de baixa qualidade, que poderiam comprometer os resultados. Foi possível perceber a dinâmica dos GEEs nessas circunstâncias, onde houve maior fluxo positivo de metano durante o cultivo de braquiária. Os fluxos de gás carbônico e vapor de água sofreram influência das condições climáticas da área, principalmente da umidade relativa do ar e da pluviosidade.

Palavras-chave: Metano, Gás Carbônico, Eddy Covariance, Gases de Efeito estufa.

ABSTRACT

The current agriculture is one of the anthropic activities of great importance, dealing with changes in the environment and the emission of Greenhouse Gases (GHGs). In this context, it is necessary to carry out studies on methods of cultivation and management of areas aiming at mitigating the emission of GHGs while maintaining the productivity necessary to comply with world demand. The Crop-Livestock Integration System (CLI) has been researched as an alternative means of cultivation that generates good results for sustainable production. The study being carried out at Farm Capivara, Embrapa Rice and Beans, evaluates the fluxes of methane, carbon dioxide and water vapor gases and their behavior in a CLI area. The method used for this is the Eddy Covariance, a micrometeorological technique considered as the most direct to measure gaseous fluxes. The area under studied was a parcel named Creche 4, from 10/01/2018 to 10/01/2019, where Brachiaria grass and soybeans were cultivated, in that sequence. The data went through pre-processing so that low quality data, which compromise the results were not considered. It was possible to see the dynamics of GHGs in these circumstances, where there was a greater positive flow of methane during the cultivation of brachiaria and during the rainy weather. The fluxes of carbon dioxide and water vapor were impacted by climatic conditions, mainly from the relative humidity of the air and precipitation.

Key words: Methane, Carbon dioxide, Eddy Covariance, Greenhouse gases.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema demonstrando o método da Covariância de Turbilhões (HU et al., 2014).	18
Figura 2. Croqui das áreas experimentais com as posições de suas respectivas estações de Covariância de turbilhões.	21
Figura 3. Imagem de satélite da área experimental contendo as creches 4 e 5 da Fazenda Capivara, Embrapa Arroz e Feijão, 2021.	21
Figura 4. Vista da Creche 4 com área florestal ao fundo, Fazenda Capivara. Imagem feita em 21/10/2021.	22
Figura 5. Equipamentos instalados na área da Creche 4, com foco nos sensores de fluxo de gás metano, anemômetro sônico e fluxo de gás carbônico e água, à direita na imagem (21/10/2021).	24
Figura 6. Valores médios diários de umidade relativa (%) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão, no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.....	26
Figura 7. Valores médios diários de temperatura do ar (°C) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.	27
Figura 8. Valores médios diários de conteúdo de água no solo (m^3/m^3) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 – 01/10/2019....	28
Figura 9. Precipitação diária (mm) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.....	29
Figura 10. Valores de radiação global diária média (W/m^2) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.	30
Figura 11. Valores médios diários de saldo de radiação em W/m^2 na área da Creche 4, Embrapa Arroz e feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.....	31
Figura 12. Valores médios diários de radiação fotossinteticamente ativa em $\mu mol s^{-1} m^{-2}$ na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.....	32
Figura 13. Valores médios diários de fluxo de gás metano em $\mu mol s^{-1} m^{-2}$ (em azul) e do conteúdo de água no solo em m^3/m^3 (em verde) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.....	33
Figura 14. Valores médios diários de fluxo de gás carbônico em $\mu mol s^{-1} m^{-2}$ (em laranja) e do conteúdo de água no solo em m^3/m^3 (em azul) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.....	34
Figura 15. Fluxo de CO_2 em $\mu mol s^{-1} m^{-2}$ em função da temperatura do ar (°C) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão.....	35
Figura 16. Valores médios diários de fluxo de vapor de água em $mmol s^{-1} m^{-2}$ na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.....	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO.....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1. Importância dos gases de efeito estufa	14
3.1.1. Metano	14
3.1.2. Gás Carbônico	15
3.1.3. Vapor de água.....	15
3.2. Sistema de Integração Lavoura-Pecuária.....	16
3.3. Método micrometeorológico de Covariância de Turbilhões (<i>Eddy Covariance</i>)	17
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1. Descrição da área de estudo	20
4.1.1. Sistema de Produção – Creche 4.....	21
4.2. Equipamentos utilizados	22
4.3. Análises	24
4.3.1. Cálculos dos Fluxos de Gases de Efeito Estufa.....	24
4.3.2. Controle de qualidade, preenchimento dos dados	25
4.3.3. Obtenção dos dados meteorológicos da área	25
4.3.4. Análise dos dados	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1. Dados meteorológicos da área	26
5.1.1. Umidade relativa do ar	26
5.1.2. Temperatura do ar.....	27
5.1.3. Conteúdo de Água no Solo e Precipitação.....	28
5.1.4. Radiação Global.....	29
5.1.5. Saldo de Radiação	30
5.1.6. Radiação Fotossinteticamente Ativa	31
5.2 Fluxo de gás metano	32
5.3. Fluxo de gás carbônico.....	33
5.4. Fluxo de vapor de água	36
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

O aumento da temperatura global é um problema crescente e cada vez mais sério, ameaçando modificar todos os aspectos da vida humana se medidas não forem tomadas. A agricultura, em especial, está em uma situação mais complicada em relação às mudanças globais, pois é um dos setores que mais tem a perder com a situação, além de ser um dos ramos que tem influência direta sobre o clima. Para estudar a influência das culturas no clima, é necessário compreender a dinâmica dos gases e contabilizar o balanço de gases retirados da atmosfera e gases liberados para a atmosfera durante o ciclo da cultura, principalmente os gases poluentes ou causadores de efeito estufa. Além disso, é importante analisar as práticas agropecuárias comuns, os tipos de manejo e sempre procurar melhorar os processos, buscar produzir mais sem aumentar a área plantada e sem degradar o meio ambiente, produzir com menos emissões, garantindo um futuro melhor.

Para o Brasil, em especial, existe uma pressão dos mercados exteriores para manter uma agricultura limpa, com baixas emissões e preservação ambiental. Uma exigência válida, já que são mercados que pagam bem pelas exportações e são importantes para a força do setor agropecuário. A proteção do setor agropecuário nacional é muito importante para um desenvolvimento sustentável, pois a população precisa dessa renda e desses empregos. Buscar apenas uma melhoria ambiental, mas em detrimento da qualidade de vida da população local não é solução.

As ações antrópicas são as principais responsáveis pelo aumento da emissão de gases do efeito estufa, sendo que uma parcela dessa emissão ocorre através das práticas de agricultura e pecuária. A contribuição da agricultura para a emissão de gás carbônico (CO_2) é de 25% do total de emissões, enquanto para a emissão de metano (CH_4), a contribuição é de 65% (DUXBURY, 1994).

O efeito estufa em si é um fenômeno necessário para a vida no planeta, já que sem a ocorrência desse fenômeno, a temperatura global seria negativa, o que é insustentável para boa parte dos seres vivos, incluindo os humanos. Mas se os gases responsáveis pelo efeito estufa tiverem um aumento muito grande e significativo de suas concentrações na atmosfera, a intensificação do efeito estufa vai gerar um aumento na temperatura global que pode provocar a extinção de muitas espécies do planeta. É ainda mais alarmante quando se considera o fato de que a temperatura não

precisa aumentar muito para desencadear uma série de eventos catastróficos para a vida no planeta, tais como inundações e secas prolongadas. É com base nessa situação que muitas questões ambientais têm sido colocadas em pauta, o que acaba colocando o Brasil em primeiro plano nesse contexto, com grandes preocupações quanto à preservação ambiental e no controle das emissões da agricultura, podendo-se citar os desmatamentos e queimadas como os maiores emissores, não obstante, o manejo adequado do solo é de grande importância para o balanço de emissão e sequestro dos GEEs. Dessa forma, é necessário mostrar esforços e buscar alternativas para proteger o agronegócio nacional.

2. OBJETIVO

Os objetivos do presente trabalho foram:

- realizar pré-processamento das variáveis meteorológicas e dos fluxos dos gases metano, dióxido de carbono e vapor d'água;
- caracterizar e avaliar a qualidade dos dados das variáveis meteorológicas e dos fluxos dos gases metano, dióxido de carbono e vapor d'água;
- avaliar o comportamento do fluxo dos gases metano e dióxido de carbono em um sistema de integração lavoura-pecuária, para gerar dados de comparação com a emissão de gases de efeito estufa em outros sistemas agropecuários.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Importância dos gases de efeito estufa

3.1.1. Metano

O metano é um dos principais gases influenciadores do clima, estando em destaque por causa do aumento de sua concentração na atmosfera desde a revolução industrial. Por causa dos processos biológicos do solo, áreas e cultivos inundados são uma grande fonte de emissão de metano, aliado à produção de bovinos por meio da fermentação no rúmen e a queima de culturas (VIEIRA et al., 2009). Esses fatores tornam o estudo de como as práticas e culturas mais comuns do país afetam a dinâmica climática e liberam metano na atmosfera importantes para o futuro.

Um dos problemas do metano é a sua grande capacidade de aumentar a temperatura do ambiente como causador do efeito estufa, sendo mais forte que o gás carbônico nesse sentido, uma vez que ele possui uma alta capacidade de absorção de radiação infravermelha (PEARCE, 1989), e a sua relativamente longa vida na atmosfera, chegando a 10 anos (STEUDLER et al., 1989). Outro problema está na interação do metano com os outros gases da atmosfera, em que o metano pode formar moléculas de gás carbônico (WATSON et al., 1992), que possui tempo de vida na atmosfera muito maior do que o metano. Embora o metano possua tempo de vida na atmosfera limitado a uma década, o aumento rápido da concentração de metano na atmosfera é problemático a curto e médio prazo, principalmente com o ritmo da mudança climática atual.

O aumento do metano atmosférico, aliado ao aumento dos outros gases do efeito estufa estão alertando a população humana, gerando uma situação em que as fontes de metano precisam diminuir. Embora as fontes de metano tenham aumentado de acordo com a ação humana, o processo de retirada desse gás da atmosfera é dependente de poucos processos, com destaque para as interações com o radical OH (VIEIRA et al., 2009) e as oxidações microbiológicas (STEUDLER et al., 1989). Por esses motivos, verificar as emissões, aprimorar os sistemas de produção analisando o balanço entre a emissão e consumo de gases e minimizar as emissões são importantes para o futuro do agronegócio brasileiro.

3.1.2. Gás Carbônico

O gás carbônico, assim como o metano, também é um gás de efeito estufa, tendo sua presença na atmosfera aumentando desde a revolução industrial. O aumento de CO₂ na atmosfera é mais associado a outras atividades humanas, como a produção industrial, mas a agricultura pode ser contribuinte dependendo da cultura e do manejo, sendo as queimadas, o desflorestamento e a queima de combustíveis fósseis suas principais fontes (LIMA, 2000).

Apesar de ser associado à poluição, o CO₂ é um gás essencial para a vida no planeta, pois faz parte do efeito estufa e contribui para a manutenção da temperatura global. As plantas utilizam desse gás para realizar o processo de fotossíntese, fazendo a conversão de energia solar para energia disponível no planeta, que é distribuída para os outros animais por meio das cadeias alimentares. Os animais, por sua vez, liberam gás carbônico na atmosfera por meio da respiração, formando um ciclo sustentável.

A agricultura contribui para a liberação de gás carbônico para atmosfera, além de outros gases do efeito estufa por meio de queimadas, desmatamento e expansão agrícola (PELLEGRINO et al., 2007). A coleta de dados de emissão ou captação de gás carbônico atmosférico é importante para fins de pesquisa e documentação de dados, principalmente na criação de uma base de dados de vários anos.

3.1.3. Vapor de água

O H₂O é um gás com capacidade de aumentar a temperatura do planeta, como o gás carbônico e o metano, e as suas interações com o ambiente podem ser problemáticas para o clima. DA SILVA DIAS (2006) afirma que quanto maior a temperatura da atmosfera, maior a capacidade de retenção de vapor d'água da atmosfera criando uma situação em que o vapor d'água é capaz de intensificar o efeito estufa. Ainda de acordo com DA SILVA DIAS (2006), aumentos na concentração de nuvens e chuvas são capazes de influenciar o balanço energético, salientando a importância do estudo desse gás.

3.2. Sistema de Integração Lavoura-Pecuária

O Sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP) é um método de produção onde em uma mesma área se faz o cultivo de lavouras, e de pastagens para a alimentação animal, com as duas atividades sendo alternadas ao longo do tempo, consorciadas ou rotacionadas. Os objetivos da Integração Lavoura pecuária são a recuperação ou reforma de pastagens degradadas, melhorar as condições físicas e biológicas do solo com a pastagem na área de lavoura, produzir pasto, forragem conservada e grãos para alimentação animal na estação seca, diminuir a dependência por insumos externos, e reduzir os custos, tanto da atividade agrícola quanto da pecuária (ALVARENGA & NOCE, 2005).

Os sistemas de monocultura, principalmente as pastagens, acabaram por agredir muito o solo ao longo dos anos, e, em muitas localidades, as fontes de água também foram altamente prejudicadas. Nesse sentido, a integração lavoura-pecuária foi bem-sucedida em recuperar algumas áreas degradadas e servir de alternativa de manejo para produtores que buscam uma forma mais sustentável de produção.

O ponto forte desse sistema é a possibilidade de produzir em áreas degradadas, ao mesmo tempo que se faz um processo de recuperação dessas áreas, um aspecto muito importante quando se leva em conta a dificuldade de abertura de novas áreas agrícolas no país, visto que as áreas ainda não exploradas pela agricultura no Brasil são áreas de grande importância ambiental em âmbito nacional e global. Também serve para mitigar alguns riscos através da diversificação de renda (AMBROSI et al., 2001), sendo assim ainda mais importante para propriedades com a proposta de recuperação de áreas degradadas. Pode-se citar alguns outros benefícios para o produtor que implementa esse sistema, tais como, maior biodiversidade (TRACY & ZHANG, 2008), aumento da qualidade do solo (RAO et al., 2003), melhor rendimento da área e diminuição dos custos de produção (BALBINOT JUNIOR et al., 2009). Estudos indicam ainda que o sistema ILP tem potencial para manutenção dos estoques de carbono no solo, bem como de ampliar esses estoques, devido às práticas de rotação de culturas e de conservação da palhada advinda das culturas de cobertura na superfície do solo (COSTA et al., 2015).

Nesse contexto, um ponto chave dos sistemas de integração é a promessa de que se trata de um sistema mais sustentável e que então promove menos liberação

de gases poluentes, quando comparado aos sistemas convencionais e de monocultura. O princípio básico do funcionamento da integração lavoura-pecuária é o uso eficiente dos recursos disponíveis, de forma que as atividades na mesma área são compatíveis o suficiente para se complementar, utilizando o máximo dos recursos disponíveis sem agredir o meio ambiente e sem comprometer a produção.

A criação de animais ruminantes é uma fonte conhecida de liberação de metano na atmosfera (VIEIRA et al., 2009), portanto o estudo de seu comportamento em diferentes sistemas de produção é uma necessidade.

É necessário salientar que para que a implantação e manutenção do sistema de integração lavoura-pecuária tenha êxito, segundo BALBINOT JUNIOR et al. (2009), o produtor deve seguir algumas recomendações, tais como: uso do Sistema Plantio Direto, rotação de culturas, utilização de espécies animais e culturas adaptados à região, correção e fertilidade do solo e fazer o manejo adequado das pastagens. Caso ocorra o manejo inadequado das pastagens, corre-se o risco de gerar uma compactação superficial do solo (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

Conforme a população mundial cresce, a demanda por carne e outros alimentos também cresce, mas, como citado anteriormente, não é interessante desmatar novas áreas agrícolas, então a produção deve se tornar mais eficiente e planejada. O Brasil é um dos maiores exportadores de carne bovina no mundo, exportando 2.012.973 toneladas de carne bovina no ano de 2020, de acordo com a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC, 2020), sendo bastante relevante no cenário mundial nesse setor.

3.3. Método micrometeorológico de Covariância de Turbilhões (*Eddy Covariance*)

A Covariância de Turbilhões é uma técnica micrometeorológica que realiza as medidas em alta frequência e é utilizada para a medição dos fluxos de Gases de Efeito Estufa (GEE), por exemplo, CO₂ e CH₄, bem como dos fluxos de calor latente e sensível. Para tal, utiliza-se a determinação da covariância entre as flutuações na velocidade e direção do vento e a taxa de mistura de GEE, como ilustrado na Figura 1 (HU et al., 2014). Esse método é mais vantajoso quando comparado com outros

métodos de medida, tais como métodos de câmara, em razão dos seguintes fatores: as técnicas micrometeorológicas não geram perturbações nem modificações no ambiente da parte aérea das plantas no local em estudo, permitindo então uma amostragem mais concordante com a realidade. Além disso, possibilitam que sejam feitas medidas contínuas ao longo do tempo, para análise de quaisquer alterações sofridas na área. Por último, fornecem uma média do que está ocorrendo na área e do conjunto das taxas de câmbio de gases entre a superfície e a atmosfera (BALDOCCHI, et al., 1988). Assim, pode-se gerar aprimoramento dos modelos que estudam os GEE.

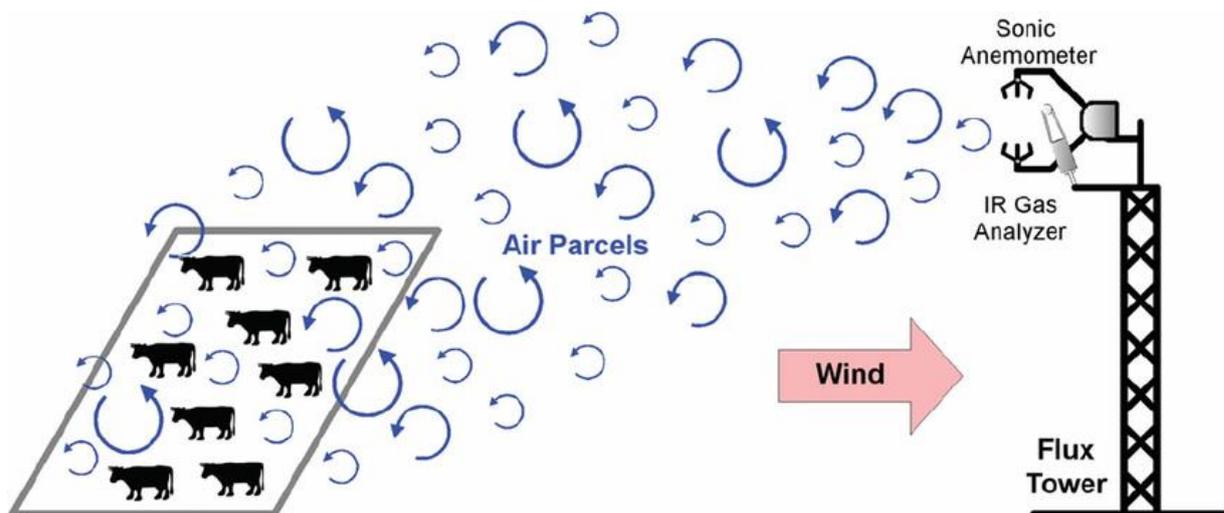


Figura 1. Esquema demonstrando o método da Covariância de Turbilhões (HU et al., 2014).

O sistema da covariância de turbilhões é considerado o método micrometeorológico mais direto para a medição dos fluxos de gases entre a superfície e a atmosfera (BALDOCCHI, 2003; DABBERDT et al., 1993). Utilizando esse sistema, assume-se que as medições são feitas abrangendo uma área extensa e homogênea, sem obstáculos para os fluxos de ar (JONES et al., 2011).

A teoria micrometeorológica se baseia em uma equação de conservação, que afirma que a taxa de tempo de alteração da concentração de um constituinte químico atmosférico em um certo ponto é equilibrada pela convecção e advecção médias, pela convergência ou divergência média do fluxo turbulento, pela difusão molecular e por qualquer outra fonte ou sumidouro (BALDOCCHI et al., 1988).

Para a utilização desse método, é necessária a instalação de uma torre, que possua uma altura tal que permita a avaliação dos fluxos de forma precisa, estando os sensores próximos o suficiente para captar os gases liberados no ambiente em estudo (lavoura, pastagem, vegetação nativa) mas sem adentrar a camada mais próxima ao dossel da vegetação, devido a probabilidade de ocorrerem medições incorretas, com valores desconexos dos que ocorrem na realidade (BURBA, 2013). Outro ponto importante, ainda segundo BURBA (2013) é o *footprint*, ou seja, a área abrangida pela torre de medição. O tamanho dessa área é estimado em função das seguintes variáveis: altura de medição, distúrbios na superfície e direção, velocidade e estabilidade do vento. É necessário que o *footprint* seja adequado, para que o fluxo mensurado seja precisamente da área de interesse.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da área de estudo

O experimento está sendo realizado em duas áreas, denominadas Creche 4 (7,53 ha) e Creche 5 (8,12 ha) em integração lavoura-pecuária na Fazenda Capivara (área experimental), Embrapa Arroz e Feijão, Zona Rural, Santo Antônio de Goiás – GO. Neste estudo, serão apresentadas as informações obtidas na Creche 4. O tipo de clima da região é o Aw (clima tropical com estação seca no inverno), de acordo com a Classificação Climática de Köppen-Geiger (CARDOSO et al., 2014). O local tem duas estações bem definidas, sendo a seca nos meses de maio até setembro e a chuvosa de outubro a abril, com precipitação pluvial média anual de aproximadamente 1.472,8 mm (SILVA et al., 2000). Ainda segundo SILVA et al. (2000), a umidade relativa média anual no local é de 70%. No mês de agosto ocorrem os ventos mais fortes (1,3 m/s) e a umidade relativa média mais baixa (51%).

O município possui latitude de 16°28'00" S, longitude de 49°17'00" W e altitude de 823 m. A área da Embrapa Arroz e Feijão possui predominância de solo argiloso, de classificação Latossolo vermelho-escuro (SILVA et al., 2000) e tem uma declividade aproximada de 0,3%. A vegetação nativa era de floresta tropical subcaducifólia, pertencente ao bioma do Cerrado, do tipo cerradão, segundo Silveira et al. (2010).

As creches ficam posicionadas entre a rodovia GO-462, a nordeste, e uma área de preservação, a sudoeste, como observado nas Figuras 2 e 3.

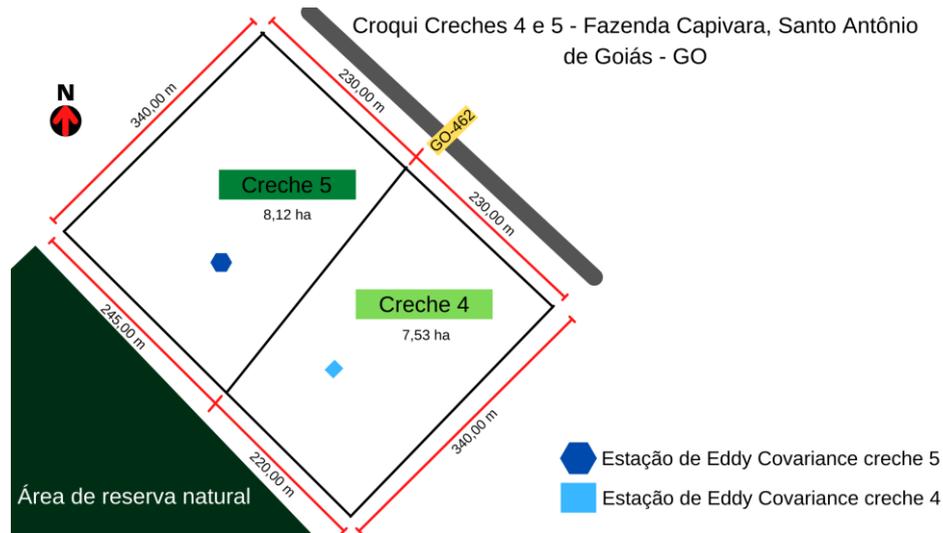


Figura 2. Croqui das áreas experimentais com as posições de suas respectivas estações de Covariância de Turbilhões,



Figura 3. Imagem de satélite da área experimental contendo as creches 4 e 5 da Fazenda Capivara, Embrapa Arroz e Feijão, 2021.

4.1.1. Sistema de Produção – Creche 4

Neste estudo, a área analisada foi a da Creche 4 (Figura 4). A ILP no local foi consolidada entre 2000 e 2003. De 2004 em diante, adotou-se a seguinte sequência de culturas: fase agricultura (duração de 2 anos e meio) com cultivo de soja (*Glycine max*) BRS 7755RR, arroz de terras altas (*Oryza sativa*), feijão (*Phaseolus vulgaris*) no inverno e milho (*Zea mays*) em consórcio com capim braquiária (*Brachiaria brizantha* cv. Piatã); e fase pecuária (duração de 3 anos e meio) com cultivo de capim braquiária. Antes da implementação da ILP essa área foi preparada de modo convencional, com

uma aração e duas gradagens. A partir do início desse sistema, utilizou-se o plantio direto durante a fase agricultura.

Desde o início do experimento em ILP foram realizadas as medições dos fluxos dos gases de efeito estufa, óxido nitroso, dióxido de carbono e metano, por meio de diferentes métodos. Neste estudo, foram analisados os dados medidos no intervalo de um ano (01/10/2018 a 01/10/2019), quando o método da covariância de turbilhões foi utilizado para a medição dos fluxos. A área da Creche 4 esteve, nesse espaço de tempo, com os seguintes cultivos: capim braquiária sem presença de gado (10/11/2015 – 15/12/2018); lavoura de soja (21/12/2018 – 26/04/2019); pousio (27/04/2019 – 22/10/2019).



Figura 4. Vista da Creche 4 com área florestal ao fundo, Fazenda Capivara. Imagem feita em 21/10/2021.

4.2. Equipamentos utilizados

Os equipamentos analisadores de gases utilizados são dispositivos ópticos, de forma que avaliam o comportamento da luz na presença de determinado gás, gerando informações sobre a densidade do mesmo (BURBA, 2013).

São usados dois sensores baseados na radiação infravermelha (*Infra Red Gas Analyser* – IRGA) diferentes para a mensuração dos gases, sendo um para CO₂ e vapor d'água e outro para CH₄. O sensor para o gás metano possui uma dimensão maior do que o sensor do gás carbônico devido à baixa concentração do gás metano no ambiente, quando comparada com a concentração de gás carbônico. Para a

utilização do método da covariância de turbilhões, os sensores precisam medir o fluxo de gases em alta resolução e alta frequência (10 Hz), para capturar a maior parte do transporte de gases, em diversas condições (BURBA, 2013).

O sensor utilizado para análise de CO₂ e vapor d'água é o LI-7500A, da LI-COR Inc., um dispositivo NDIR (infravermelho não dispersivo) de banda larga que funciona medindo a luz absorvida em uma ampla faixa do espectro eletromagnético. Um feixe de banda larga infravermelho é transmitido da base do aparelho até o detector, localizado na outra extremidade. Para medir o CO₂ usa-se uma banda de absorção centralizada em 4,46 µm, e para o vapor d'água, uma em 2,59 µm (LI-COR BIOSCIENCES, 2009).

No caso do sensor para medição do gás metano, o equipamento utilizado é o LI-7700 (LI-COR Inc.) Trata-se de um dispositivo de banda estreita, que utiliza várias técnicas de espectroscopia a laser, para medir a luz absorvida em uma única faixa ou banda estreita do espectro eletromagnético. A diferença para um dispositivo de banda larga é que neste caso, a luz está em uma banda muito estreita (banda do gás de interesse), que é fornecida geralmente por um laser. O método que esse sensor utiliza é o *Wave-length Modulation Spectroscopy* (WMS) - Espectroscopia de Modulação de Comprimento de Onda, onde o raio laser é emitido da fonte, passando pela célula aberta, é refletido múltiplas vezes por dois espelhos e então chega ao detector. Ele não usa a absorção direta para a medição, mas analisa as mudanças na luz que ocorrem na presença do CH₄ (LI-COR BIOSCIENCES, 2010).

Juntamente com os sensores analisadores dos gases, também está instalado um anemômetro sônico tridimensional modelo GILL-WMP (Gill Instruments Limited) para medição da velocidade vertical do vento.

Além dos equipamentos citados acima, outros sensores utilizados para o experimento estão conectados à torre, sendo eles: termohigrômetro modelo HMP 155 (LI-COR Inc.) para a medição da umidade relativa e temperatura do ar; sonda Stevens Hydra Probe II para a medição do conteúdo de água e temperatura do solo (instalada a 10 cm de profundidade no solo); pluviômetro modelo TR525-M (Texas Electronics) para precipitação; sensores de fluxo de calor no solo modelo HFP 01 (3 sensores instalados a 5, 10 e 15 cm de profundidade no solo); sensor quântico modelo LI-190R (LI-COR Inc.) para radiação fotossinteticamente ativa; piranômetro modelo LI-200R (LI-COR Inc.) para radiação solar; saldo radiômetro modelo NR-Lite2 (Kipp-Zonen)

para saldo de radiação. Todas as informações foram armazenadas utilizando um coletor de dados da marca Sutron, modelo 9210B. Na Figura 5 é possível observar alguns destes equipamentos instalados em campo.

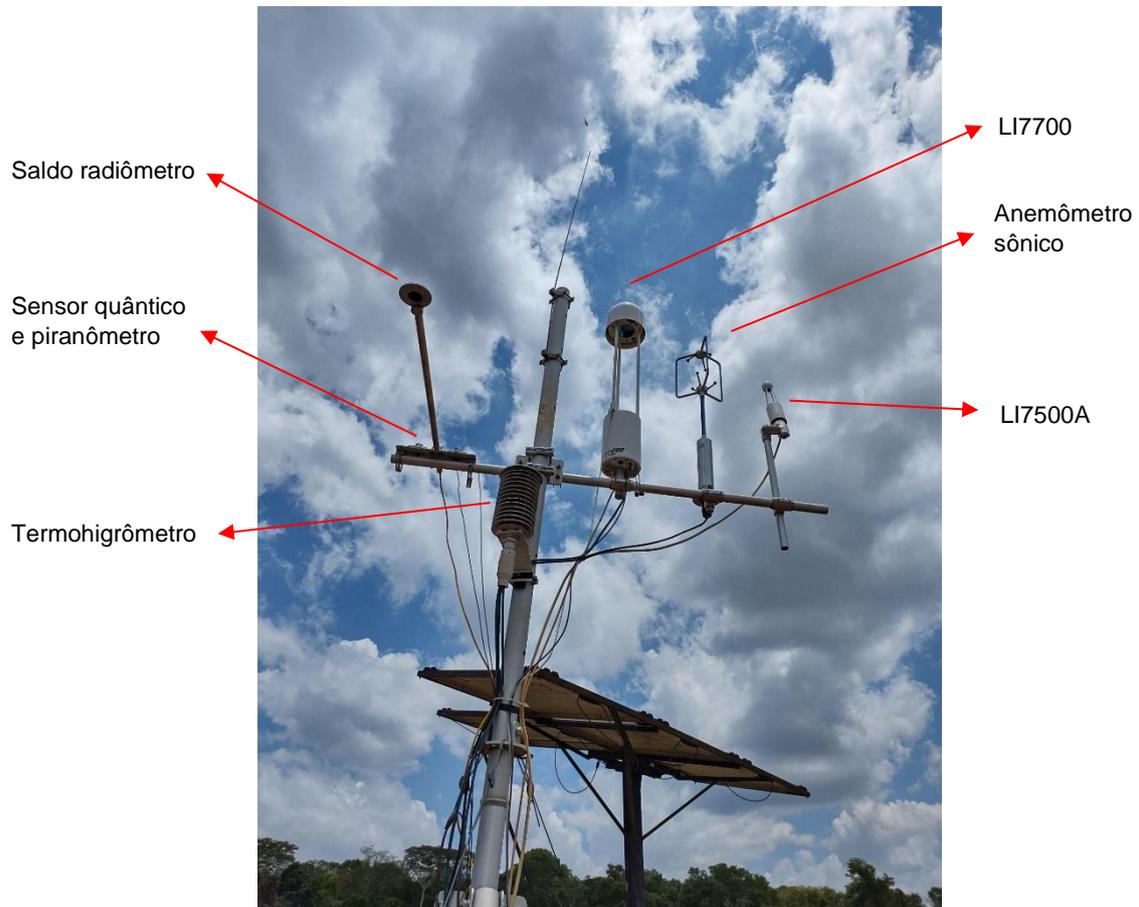


Figura 5. Equipamentos instalados na área da Creche 4, com foco nos sensores de fluxo de gás metano, anemômetro sônico e fluxo de gás carbônico e água, à direita na imagem (21/10/2021).

4.3. Análises

4.3.1. Cálculos dos Fluxos de Gases de Efeito Estufa

Para a avaliação dos fluxos de CO₂ e CH₄ o sistema utilizado neste estudo foi a Covariância de Turbilhões (*Eddy Covariance*).

O cálculo dos fluxos de gases foi feito através do software EddyPro (LI-COR Inc.). O programa calcula as flutuações turbulentas de 30 em 30 minutos, realizando as correções necessárias para a estimativa dos fluxos, utilizando-se a metodologia sugerida por Aubinet et al. (2012).

4.3.2. Controle de qualidade, preenchimento dos dados

O primeiro controle de qualidade dos dados brutos coletados no método da covariância de turbilhões é feito com a eliminação de dados considerados de baixa qualidade pelo próprio software Eddy Pro®, segundo parâmetros indicados por Mauder & Foken (2006) e Foken et al. (2012). Os dados considerados de baixa qualidade foram aqueles que estão fora dos limites aceitáveis nos padrões de medidas e também aqueles que possuem problemas de continuidade ao longo do tempo.

O controle de qualidade secundário dos dados obtidos foi realizado a partir de uma filtragem, fazendo-se a eliminação daqueles com comportamento anormal ou fora das máximas e mínimas esperadas para o ambiente em que o experimento se encontra. Essa filtragem foi feita de forma manual, com os dados de fluxo obtidos em intervalos de 30 minutos. É indispensável fazer esse pré-processamento para que os dados mantidos sejam apenas aqueles com boa qualidade.

4.3.3. Obtenção dos dados meteorológicos da área

Os dados meteorológicos médios da área, tais como temperatura do ar, umidade relativa, radiação global, saldo de radiação, radiação fotossinteticamente ativa e pluviosidade foram obtidos em períodos de 30 minutos. A filtragem desses dados foi feita de forma manual com a eliminação de dados considerados de baixa qualidade, sendo eles: dados repetidos em sequência, que expressam travamento do sistema; dados com valor “-9999”, que simboliza erro. Para os valores de radiação global foi necessário realizar também uma filtragem dos dados negativos, que configuram erro de leitura do sensor. Após esse pré-processamento, fez-se a média dessas medidas, para se obter os valores meteorológicos diários da área.

4.3.4. Análise dos dados

Os valores obtidos dos coletores de dados foram organizados em planilhas Excel. A análise desses dados foi realizada a partir da geração de gráficos, para possibilitar a observação do comportamento das variáveis ao longo do período e a comparação desses comportamentos, de forma a verificar se há influências tanto entre os fluxos de gases observados e as variações climáticas do local, quanto entre esses fluxos e o tipo de produção cultivada na área.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Dados meteorológicos da área

5.1.1. Umidade relativa do ar

Durante o período de um ano, foi possível observar a variação nos valores médios diários da umidade relativa do ar na área a partir do gráfico apresentado na Figura 6. Os valores permaneceram na maior parte do período entre 100% e 60% de umidade relativa do ar. A partir do dia 04/06/2019, esses números caíram gradativamente, até alcançar 25,14%, no dia 13/09/2019. Após isso, os valores tornam a subir novamente, coincidindo com o início das chuvas (valor máximo de 92,72% no dia 26/09/2019, quando houve precipitação de 17,7 mm, segundo dados de precipitação na Figura 9).

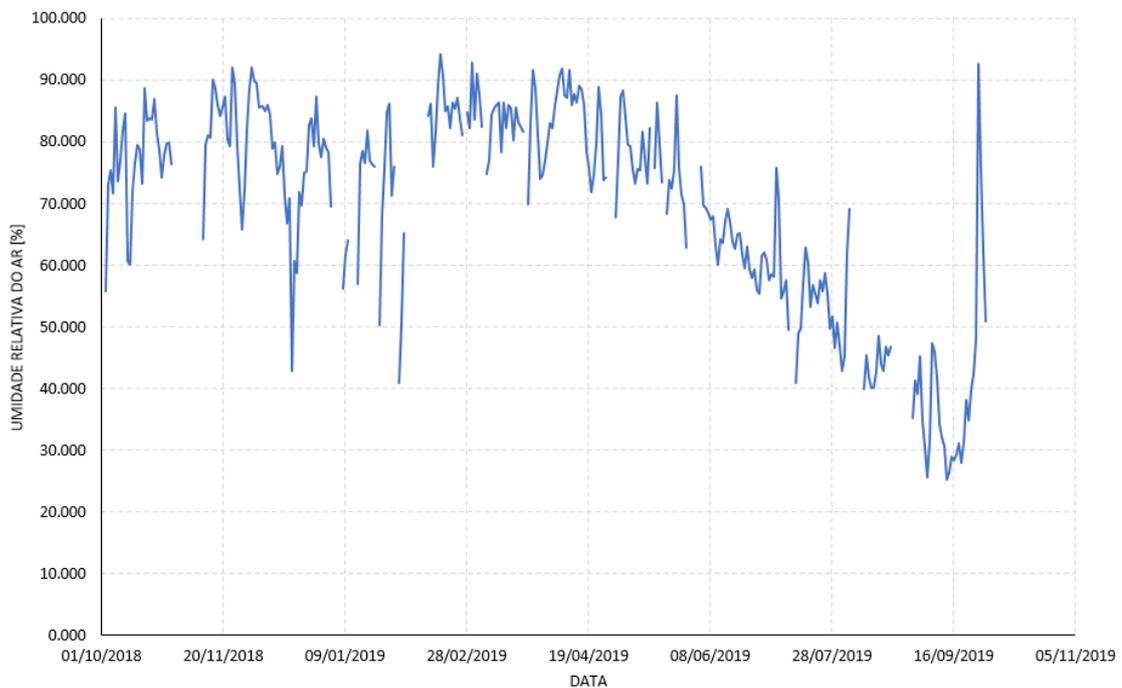


Figura 6. Valores médios diários de umidade relativa (%) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.

A flutuação ocorrida ao longo do ano é natural para o clima do cerrado, uma vez que a umidade relativa do ar está relacionada com a precipitação. Com a diminuição gradativa das chuvas até sua completa ausência durante o período da

seca, a umidade relativa tende a diminuir também, tornando a aumentar com o período das águas.

5.1.2. Temperatura do ar

Durante o estudo, a temperatura máxima registrada no local foi de 37,3 °C, no dia 22/09/2019, às 14h30. Já a temperatura mínima de 7,2 °C ocorreu no dia 07/07/2019 às 07h00.

A temperatura média diária do ar na área ao longo do período estudado variou dentro dos limites de 30,3 °C (maior temperatura média observada, ocorrida no dia 23/01/2019) e 15,4 °C (menor temperatura média registrada na área, ocorrida no dia 07/07/2019), como pode ser observado na Figura 7.

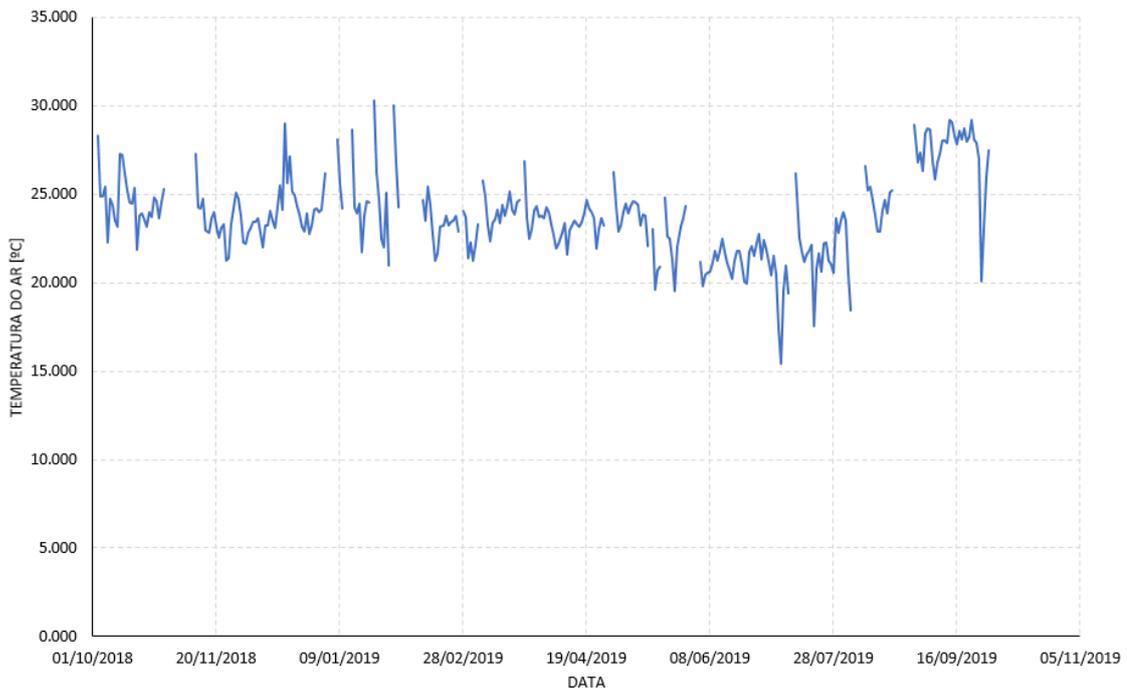


Figura 7. Valores médios diários de temperatura do ar (°C) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.

A flutuação ocorrida nos valores de temperatura média do ar ao longo do ano acompanhou o padrão esperado para o clima do local, em que há uma estação seca com temperaturas mais amenas e outra quente e chuvosa. A temperatura mínima registrada ocorreu em julho, quando a área já se encontra no período da seca, assim

como o que ocorreu com as temperaturas médias do ar, que permaneceram com valores mais baixos entre 04/06/2019 e 21/08/2019. Durante o período de 03/10/2018 – 30/04/2019 as temperaturas médias se mantiveram com valores mais elevados, coincidindo com a estação quente e chuvosa.

5.1.3. Conteúdo de Água no Solo e Precipitação

Dos três sensores para conteúdo de água no solo instalados na área, apenas um funcionou durante a maior parte do período estudado (gráfico da Figura 8), sendo que dos outros dois, um não funcionou em nenhum momento e o outro registrou dados apenas no intervalo de 03/10/2018 – 15/02/2019, voltando a funcionar apenas a partir do dia 24/09/2019, portanto, utilizou-se somente os dados do sensor com maior período de funcionamento.

Os valores de conteúdo de água no solo registrados estão em concordância com os períodos de seca e de chuva da área, em que os maiores valores ocorreram no intervalo de 05/10/2018 – 29/05/2019, enquanto os menores valores ocorreram entre 05/06/2019 e 21/09/2019.

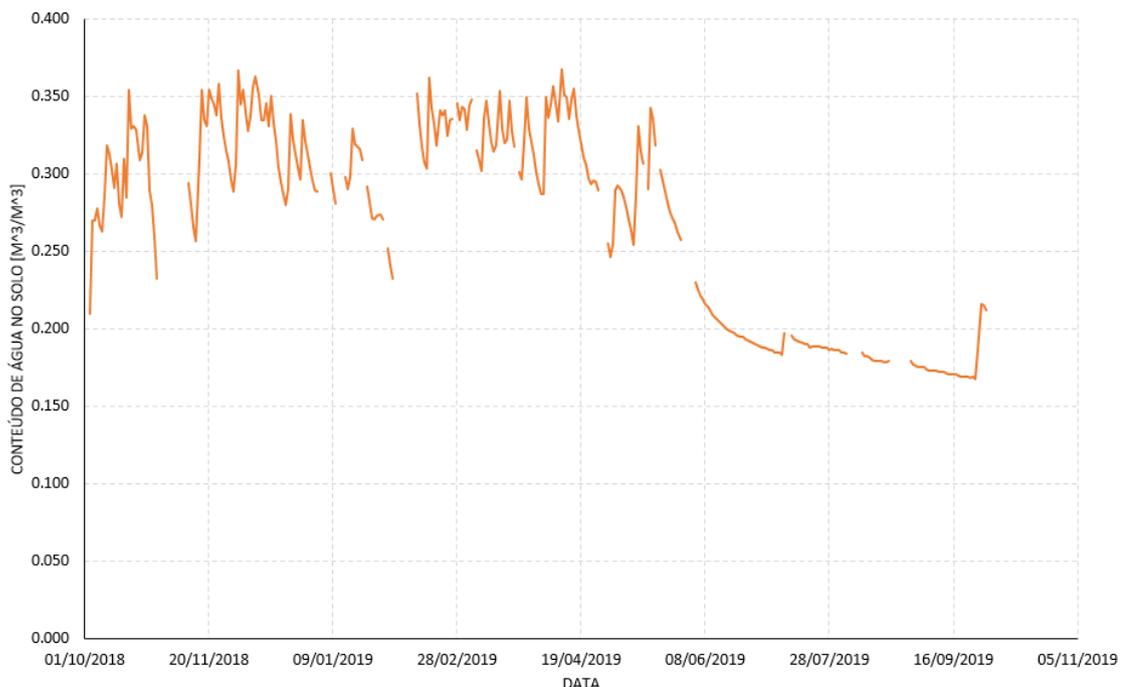


Figura 8. Valores médios diários de conteúdo de água no solo (m^3/m^3) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.

Os dados pluviométricos da área permitem perceber a distribuição de chuvas no local (Figura 9). Entre os períodos 13/10/2018 – 21/12/2018 e 27/05/2019 – 25/09/2019 houve pouca ou nenhuma chuva. Durante o resto do ano pode-se analisar uma boa distribuição de chuvas.

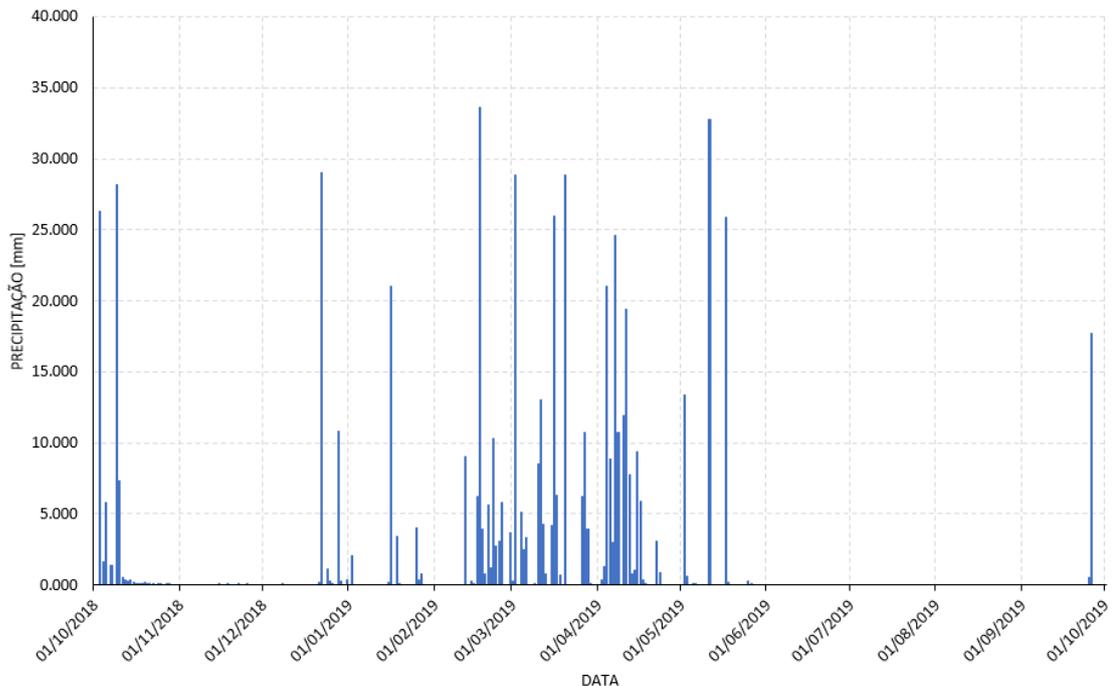


Figura 9. Precipitação diária (mm) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.

A distribuição das chuvas ocorreu da forma esperada ao longo do ano, acompanhando o período das águas (outubro a maio), com exceção do intervalo entre 13/10/2018 e 21/12/2018, em que não se registrou precipitação, apesar deste estar dentro do período chuvoso. Segundo observado nos dados de conteúdo de água no solo, os valores indicam a ocorrência de chuvas na área durante esse intervalo, sendo assim, é provável que o pluviômetro tenha apresentado falhas. O segundo período sem chuvas (27/05/2019 – 25/09/2019) ocorreu dentro do esperado, coincidindo com a época da seca.

5.1.4. Radiação Global

Os dados de radiação global sofreram maiores variações durante o período das águas (outubro a maio), variando entre 594,85 W/m² e 54,62 W/m² (Figura 10). Essa

maior flutuação pode ser explicada pelos períodos nublados que ocorrem durante a época chuvosa, diminuindo a incidência solar. Durante o período da seca (junho a setembro), os valores sofreram menores variações, limitando-se entre 411,32 W/m² e 45,76 W/m². Ao longo do período estudado o equipamento apresentou problemas, reduzindo a disponibilidade de dados de qualidade.

As falhas no sistema ocorridas podem comprometer a qualidade desses dados, uma vez que quando ocorrem falhas nas medições durante a noite, os dados podem ser superestimados, enquanto falhas durante o dia geram dados subestimados.

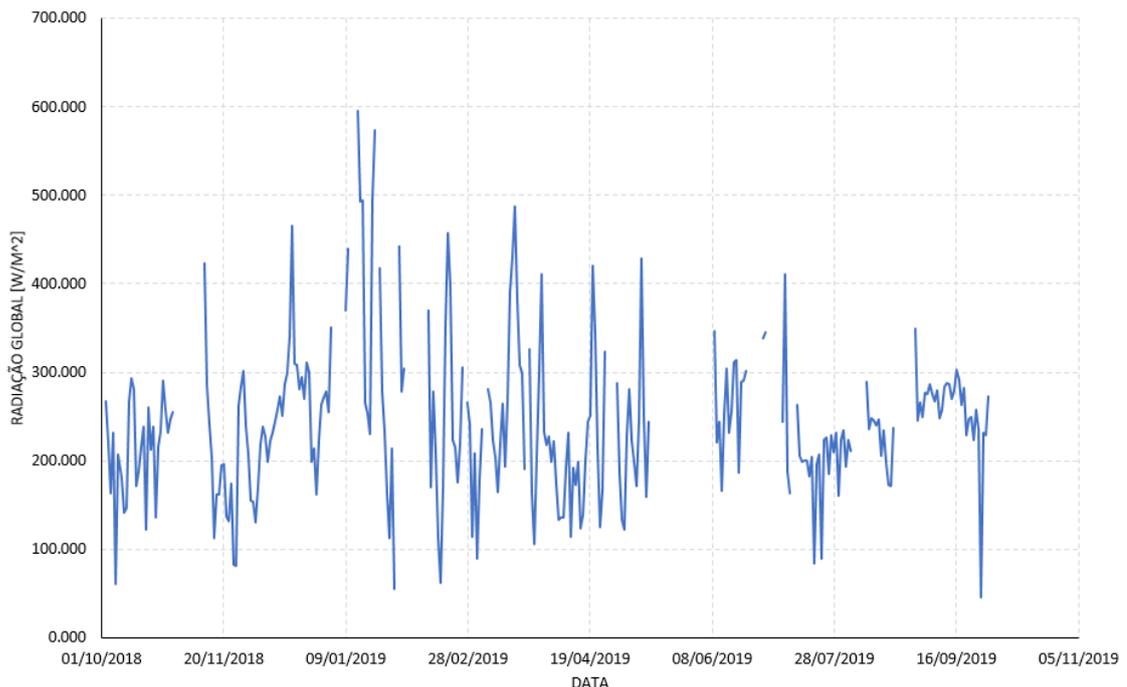


Figura 10. Valores de radiação global diária média (W/m²) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.

5.1.5. Saldo de Radiação

Os dados do saldo de radiação manifestaram comportamento semelhante aos de radiação global conforme a Figura 11, onde ocorreram maiores variações ao longo do período chuvoso, com valores entre 301,33 W/m² e -9,02 W/m², e menores oscilações durante a seca, onde os dados ficaram na faixa entre 152,71 W/m² e -26,71 W/m².

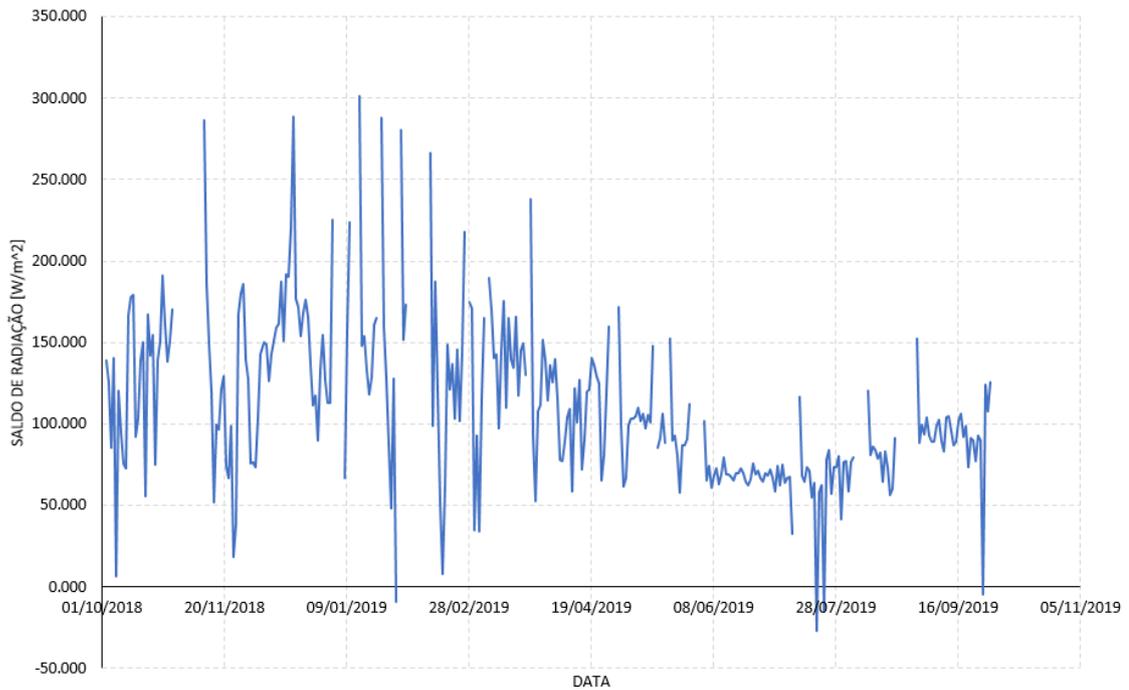


Figura 11. Valores médios diários de saldo de radiação em W/m² na área da Creche 4, Embrapa Arroz e feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.

5.1.6. Radiação Fotossinteticamente Ativa

A radiação fotossinteticamente ativa apresentou dados com comportamento similar aos de radiação global e de saldo de radiação, como pode ser observado a partir do gráfico na Figura 12. No período das águas, o valor máximo atingido foi de 997,12 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ e o valor mínimo foi de 117,04 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, enquanto no período da seca esses valores ficaram entre 617,92 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ e 92,19 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$.

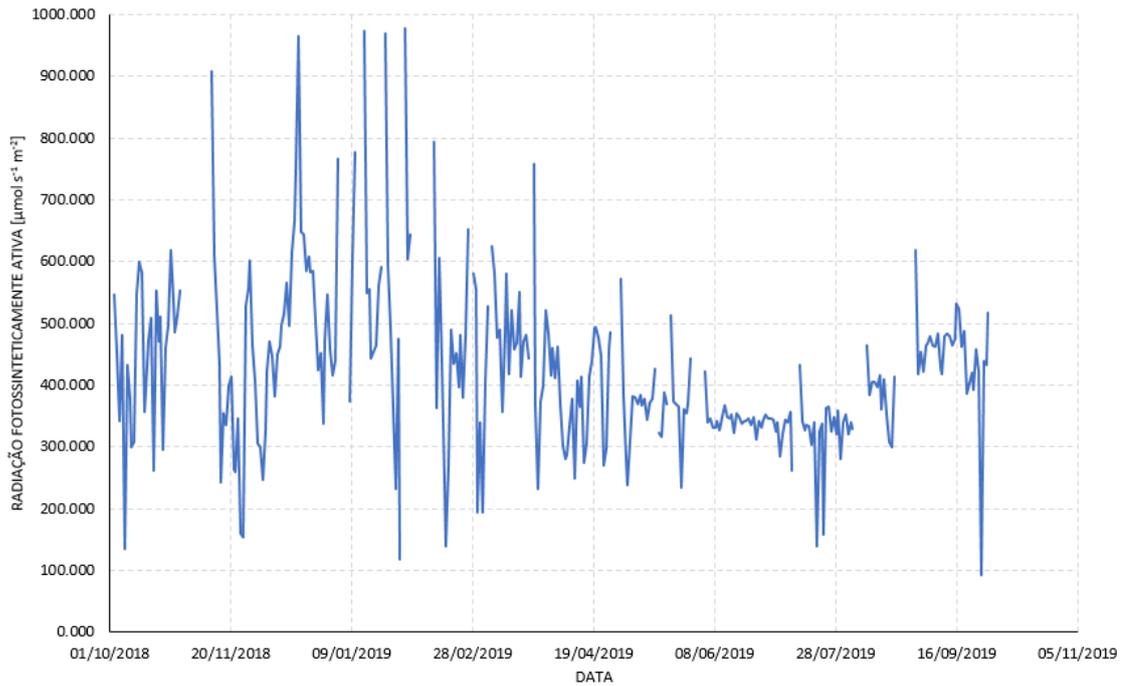


Figura 12. Valores médios diários de radiação fotossinteticamente ativa em $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.

5.2 Fluxo de gás metano

A partir dos dados de fluxo de gás metano obtidos, é possível perceber as flutuações que ocorrem ao longo do ano (Figura 13). Os valores em sua maioria ficaram dentro da faixa de $0,5 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ a menos $0,5 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$. As maiores medições foram observadas nos dias 01/11/2018, com um valor muito discrepante do que ocorreu no resto do período ($1,250 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$) e 14/05/2019, com um valor mais próximo do comum observado ($0,640 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$). Durante o período de 12/03/2019 a 19/05/2019 obteve-se os menores valores de fluxo, incluindo o valor mais baixo registrado, no dia 07/04/2019 ($-0,813 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$).

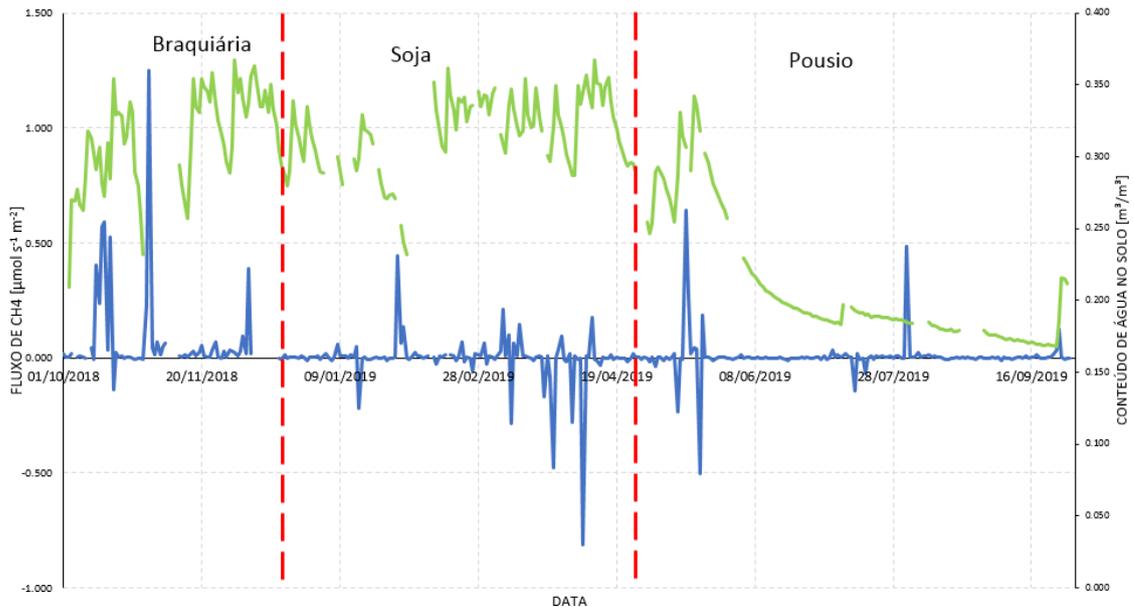


Figura 13. Valores médios diários de fluxo de gás metano em $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ (em azul) e do conteúdo de água no solo em m^3/m^3 (em verde) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.

Segundo observado no gráfico, o fluxo de gás metano foi mais alto no sentido solo-atmosfera durante o período em que houve o cultivo de capim braquiária na área (11/10/2018 – 07/12/2018) e a presença de chuvas, evidenciando maior liberação de gás metano para a atmosfera. Por outro lado, os dados de fluxo mais negativos (sentido atmosfera-solo) foram observados durante o cultivo de soja e o início do pousio no local (12/03/2019 - 19/05/2019), demonstrando um sequestro desse gás pelos microrganismos do solo, conforme também observado no estudo de STEUDLER et al. (1989). Durante o período das chuvas, onde as temperaturas estão mais elevadas e o solo úmido, há maior atividade dos microrganismos do solo, o que explica o fluxo maior no sentido positivo nessa época. Com a seca e as temperaturas mais amenas, a atividade microbiana fica menor e o fluxo se mantém com valores próximos de zero.

5.3. Fluxo de gás carbônico

Os dados de fluxo de gás carbônico foram analisados após a filtragem, assim como feito para o gás metano. Observa-se na Figura 14 que as flutuações ocorridas tiveram um comportamento semelhante ao longo do ano, exceto a partir do dia 22/04/2019, onde houve um aumento maior de fluxo ($17,335 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$) comparado

com as medidas anteriores, seguido de uma diminuição gradual nos valores, de forma que os dados ficaram mais próximos de zero, até o dia 27/09/2019, onde começaram a se elevar novamente.

Observou-se que na faixa de temperatura de 20 a 25 °C o fluxo de CO₂ atinge os valores mais altos, tanto no sentido positivo (superfície-atmosfera) quanto no sentido negativo (atmosfera-superfície), indicando que nesta faixa tanto a respiração vegetal quanto a fotossíntese foram favorecidas (Figura 15).

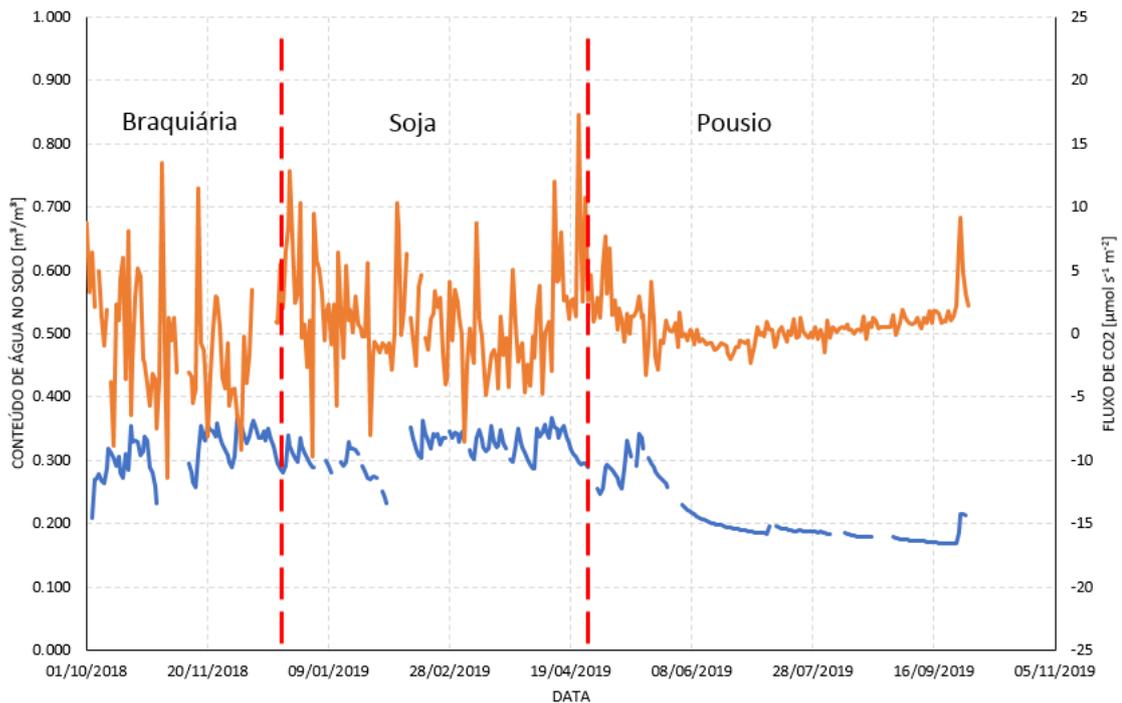


Figura 14. Valores médios diários de fluxo de gás carbônico em $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ (em laranja) e do conteúdo de água no solo em m^3/m^3 (em azul) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.



Figura 15. Fluxo de CO₂ em $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ em função da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) na área da Creche 4, Embrapa Arroz e Feijão.

O fluxo de gás carbônico obteve seus valores mais próximos de zero aproximadamente em sincronia com o período de diminuição da umidade relativa do ar e ausência de chuvas (estação seca), em que a área estava em época de pousio (22/05/2019 – 23/09/2019). O fluxo volta a aumentar a partir do dia 27/09/2019, coincidindo com o início do período das águas, quando as chuvas retornaram e a umidade relativa do ar voltou a subir (26/09/2019). Esse resultado pode ser explicado pela ausência de culturas na área (pouca respiração vegetal e fotossíntese). Mesmo no caso de presença de plantas espontâneas na área durante o período, a respiração vegetal e a fotossíntese são menos expressivas devido a estação seca, comportamento vegetal observado por ROCHA et al. (2005). A atividade microbiana durante o período das águas também contribui para o fluxo positivo de CO₂, na época da seca essa atividade cai, assim como a atividade vegetal, contribuindo para manter o fluxo com valores próximos de zero.

Foi possível perceber que o fluxo de carbono durante o período em que havia capim braquiária na área (11/10/2018 – 07/12/2018) variou de forma semelhante no sentido solo-atmosfera (positivo) e atmosfera-solo (negativo). No caso do cultivo de soja (21/12/2018 – 26/04/2019), o fluxo de carbono acompanhou o desenvolvimento da cultura, no sentido positivo, devido a respiração da cultura, e no sentido negativo, em função da fotossíntese. O período de cultivo de capim braquiária foi onde houve

maior fluxo negativo de dióxido de carbono, indicando sequestro desse gás, enquanto na produção de soja, houve maior fluxo positivo, indicando liberação de CO₂ para a atmosfera.

5.4. Fluxo de vapor de água

Analisando-se os dados limpos de fluxo de vapor de água foi possível perceber a dinâmica desse gás ao longo do ano, que se manteve parecida do início do período de avaliação, até o dia 22/05/2019, onde os valores começaram a diminuir de forma gradual, até manter certa estabilidade entre os valores de 1,5 mmol s⁻¹ m⁻² e 0,5 mmol s⁻¹ m⁻². Os dados voltam a sofrer aumento a partir do dia 25/09/2019, como demonstrado na Figura 16.

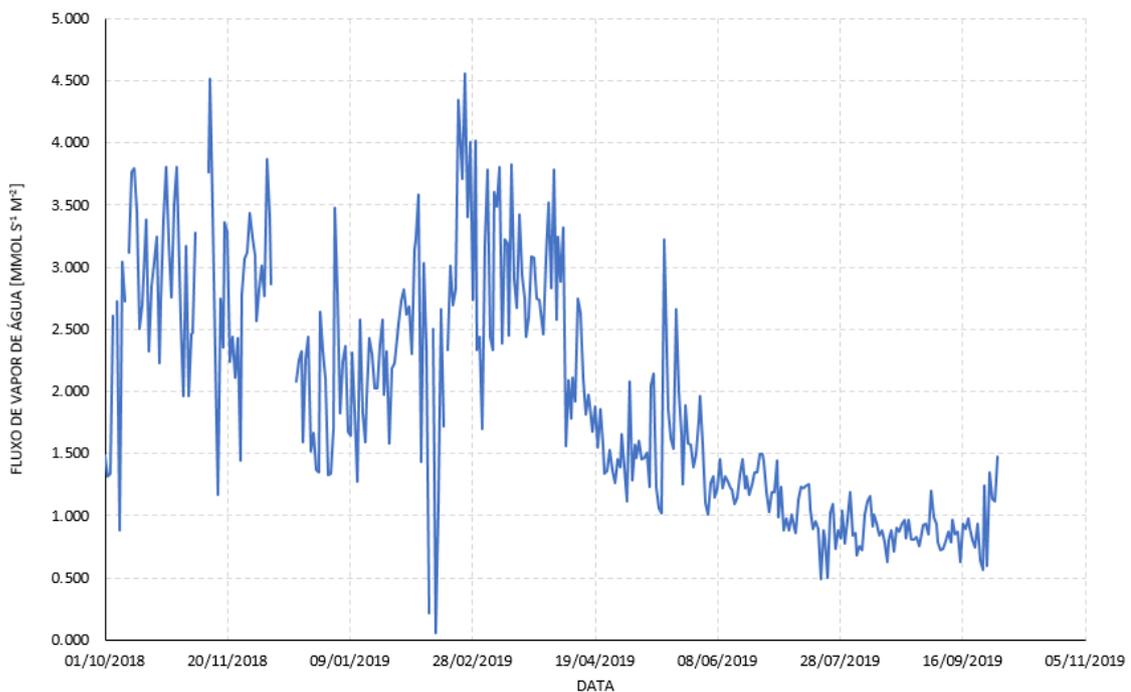


Figura 16. Valores médios diários de fluxo de vapor de água em mmol s⁻¹ m⁻² na área da creche 4, Embrapa Arroz e Feijão no período de 01/10/2018 a 01/10/2019.

O fluxo de vapor de água acompanhou as medidas de umidade relativa do ar, conteúdo de água no solo e pluviosidade. Onde houve início da queda desse fluxo, ocorreu também a diminuição gradativa da umidade relativa do ar e do conteúdo de água no solo e ausência de chuvas (aproximadamente no período entre 22/05/2019 e 23/09/2019).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao realizar este estudo no intervalo de um ano, percebeu-se que o fluxo de Gases de Efeito Estufa (GEEs) apresenta variações principalmente de acordo com as alterações climáticas do ambiente. As diferentes variações observadas nos fluxos em função do tipo de cultura produzida não possuem um período de dados suficiente para confirmar sua influência, sendo necessário observar o comportamento desses gases na presença de diferentes culturas em uma mesma época do ano.

Alguns dos desafios para esse tipo de estudo foram as falhas de equipamento, que diminuem a quantidade de dados de qualidade a serem avaliados. Portanto, é essencial, além do uso de equipamentos cada vez mais desenvolvidos, o acompanhamento frequente a campo para a correção rápida de falhas que possam acontecer. Apesar disso, o método do *Eddy Covariance* ainda é o mais eficaz para a mensuração do fluxo de GEEs.

O estudo do fluxo de gases de efeito estufa ao longo do tempo deve ser considerado fundamental, não só para o monitoramento e compreensão do comportamento desses gases, como também com o objetivo de testar novas formas de cultivo que gerem menos impacto na emissão de gases poluentes. Deste modo, pode-se desenvolver uma agropecuária mais sustentável, que vise o aumento da produção conjuntamente com a preservação do meio ambiente. O setor agropecuário tem grande potencial de auxiliar na mitigação da emissão desses gases e até mesmo para gerar formas de sequestrar aqueles já presentes na atmosfera, como é o caso do dióxido de carbono e do metano.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Série Histórica das Exportações de Carne Bovina: ano 2020. Disponível em: <<http://abiec.com.br/exportacoes/>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

ALVARENGA, R. C.; NOCE, M. A. Integração lavoura-pecuária. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2005.

AMBROSI, I. et al. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36, n. 10, out. de 2001. p. 1213-1219. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pab/a/RdcxmykdDGsnWhY9ryYrZ9M/?lang=pt>>. Acesso em 27 de outubro de 2021.

AUBINET M.; VESALA T.; PAPALE D. Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis. Springer, 2012.

BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1925-1933, set. de 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cr/a/nbsHhcVgsQmz7SnHSqVKSYN/abstract/?lang=pt#>>. Acesso em 30 de outubro de 2021.

BALDOCCHI, D. D.; HICKS B. B.; MEYERS T. P. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. **Ecological Society of America**, v. 69, n. 5, p. 1331-1340, out. de 1988.

BALDOCCHI, D.D., 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. **Global Change Biology**. 9 (4), p. 479–492.

BURBA, G. Eddy Covariance Method: for Scientific, Industrial, Agricultural and Regulatory Applications. Lincoln, Nebraska: LI-COR Biosciences, 2013.

CARDOSO, M. R. D. MARCUZZO F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação Climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 8, n. 16, jan./mar. de 2014. p. 40-55. Disponível em: <<https://revista.ufrr.br/index.php/actageo/article/view/1384>>. Acesso em 27 de outubro de 2021.

COSTA, N. R. et al. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Online, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140269>>. Acesso em 28 de outubro de 2021.

DA SILVA DIAS, M. A. F. Efeito estufa e mudanças climáticas regionais. **Revista USP**, n. 71, p. 44-51, 2006.

DABBERDT, W. F. et al., 1993. Atmosphere-surface exchange measurements. **Science**, 260 (5113), 1472–1481.

DUXBURY, J. M. The significance of agricultural sources of greenhouse gases. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 38, p. 151-163, 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF00748775>>. Acesso em 28 de outubro de 2021.

FOKEN, T. et al., 2012. Corrections and Data Quality Control. In: Aubinet M., Vesala T., Papale D. (eds) Eddy Covariance. Springer Atmospheric Sciences. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2351-1_4.

HU, E. et al. Methods and Techniques for Measuring Gas Emissions from Agricultural and Animal Feeding Operations. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 44, n. 3, p. 200-219, 2014.

JONES, S. K. et al. Nitrous oxide emissions from managed grassland: a comparison of eddy covariance and static chamber measurements. **Atmospheric Measurement Techniques Discussions**, v. 4, n. 10, p. 2179-2194, Oct. 2011. DOI: 10.5194/amt-4-2179-2011.

LI-COR Biosciences, 2009. LI-7500A Open-path CO₂/H₂O Analyzer Instruction Manual. Publication No. 984-10563, 127 p.

LI-COR Biosciences, 2010. LI-7700 Open-path CH₄ Analyzer Instruction Manual. Publication No. 984-10751, 170 p.

LIMA, M. A. Emissão de gases de efeito estufa provenientes de sistemas agrícolas no Brasil. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v. 3, n. 17, p. 38-43, 2000.

MAUDER, M.; FOKEN, T. Impact of post-field data processing on eddy covariance flux estimates and energy balance closure. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 15, n. 6, p. 597-609, 2006.

PEARCE, F. Methane: the hidden greenhouse gas. **New Scientist**, London, v. 6, n. 1663, p. 37-41, 1989.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, v. 8, p. 139-162, 2007. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp->

content/uploads/sites/36/2014/05/mc_agricultura_brasil.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.

RAO, S.C. et al. Potential grain and forage production of early maturing pigeon pea in the Southern Great Plains. **Crop Science**, Madison, v.43, n.6, p. 2212-2217, 2003.

ROCHA, Humberto et al. Ciclo do Carbono. *In*: ROCHA, Humberto et al. **As relações entre a vegetação e o meio físico no Cerrado pé-de-gigante**. São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, 2005. p. 189-196.

SILVA, et al. Informações meteorológicas para pesquisa e planejamento agrícola: 1999. **Documentos** / Embrapa Arroz e Feijão, 2000. ISSN 1516-7518; 109.

SILVEIRA, P. M., et al. Descrição Morfológica de Perfis de Solos da Fazenda Capivara da Embrapa Arroz e Feijão. **Documentos 258**, Santo Antônio de Goiás, dez. de 2010. 52 p.

STEUDLER, P. A.; et al. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. **Nature**, London, v. 341, p. 314-316, 1989.

TRACY, B.F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response, and soil nutrient pool dynamics within an integrated crop livestock system in Illinois. **Crop Science**, Madison, v.48, n.3, p.1211-1218, 2008.

VIEIRA, C. F. et al. Efeitos climáticos do metano na atmosfera. **Revista Tecnologia**, [S. l.], v. 29, n. 1, 2009. Disponível em: <<https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/46>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

WATSON, R. T. et al. Greenhouse Gases: Sources and Sinks. **IPCC 1992 Supplementary Report**, Section A1, 1992.