

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

FRANCISCO WILLIAM RODRIGUES DA SILVA

**IMPACTO DO MANEJO DO SOLO E PLANTAS DE COBERTURA
SOBRE AS EMISSÕES DE METANO NO CERRADO**

CHAPADÃO DO SUL-MS

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

**IMPACTO DO MANEJO DO SOLO E PLANTAS DE COBERTURA
SOBRE AS EMISSÕES DE METANO NO CERRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
de Mato Grosso do Sul, como parte
dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque

Coorientador: Me. Jorge Luiz Locatelli

CHAPADÃO DO SUL-MS

2024



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTOR: FRANCISCO WILLIAM RODRIGUES DA SILVA.

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque.**

COORIENTADOR: **Me. Jorge Luiz Locatelli.**

Aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHAREL E, AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Chapadão do Sul.

Prof. Dr. Cassiano Garcia Roque

Presidente da Banca Examinadora e Orientador

Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke

Membro da Banca Examinadora

Me. Jorge Luiz Locatelli

Membro da Banca Examinadora e Coorientador

Eng. Agr. Eduarda Santana Soares

Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 05 de abril de 2024.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Cassiano Garcia Roque, Professor do Magisterio Superior**, em 05/04/2024, às 15:03, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Felipe Ratke, Professor do Magisterio Superior**, em 05/04/2024, às 15:08, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de](#)

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Luiz Locatelli, Usuário Externo**, em 05/04/2024, às 15:39, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Eduarda Santana Soares, Usuário Externo**, em 05/04/2024, às 15:49, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4765447** e o código CRC **D8270B79**.

COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Câmpus de Chapadão do Sul - Rod MS 306,

Km 105, Caixa Postal 112 Fone:

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

Referência: Processo nº 23455.000175/2024-50

SEI nº 4765447

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Sr. João Bosco Carlos Da Silva e Sra. Marilene Rodrigues Da Silva, por todo seu amor, carinho e sacrifícios dedicados a mim e minha formação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me guiar por todo esse caminho, sem ele nada disso seria possível;

Aos meus pais, Sr. Joao e Dona Nina, por todos os almoços, e me ajudar nos meus intemperes;

Aos meus amigos por me apoiarem nessa jornada, um agradecimento especial ao meu irmão de consideração que esteve junto comigo desde o início deste projeto Igor Eduardo Martins Menezes, um agradecimento especial também, a família do Igor, que me deu apoio;

Agradecer a todos os envolvidos neste grandioso projeto, ao Magno Borges, João Pedro, Guilherme Hartmann, Alisson Graciano Perego, Marcos Eduardo, Leonardo Araujo, Ruth Guilherme, Daniele Palma, Gustavo Martins Menezes, Douglas Rocha, Breno Fernandes de Oliveira e Geovane Matos;

Agradecer aos meus professores Dr. Cassiano Garcia Roque e Dr. Rafael Felipe Ratke que sempre me orientaram, e principalmente ao Jorge Luiz Locatelli e ao Dr. Carlos Pellegrino Cerri pela oportunidade e apoio de participar de um projeto tão grande como tal;

A Universidade Federal De Mato Grosso Do Sul em Chapadão do Sul (UFMS-CPCS) e a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), sem todas essas pessoas nada disso seria possível, obrigado a todos.

EPIGRAFE

“TODA REALIDADE UM DIA FOI SONHADA”
(GARCIA BRUNO)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	10
RESUMO	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUÇÃO	13
2. MATERIAL E MÉTODOS	18
2.1. <i>Descrição da área experimental</i>	18
2.1.2. <i>Características das culturas implantas</i>	19
2.2. <i>Mensuração dos fluxos de CH₄</i>	20
2.2.1. <i>Preparativos para coleta</i>	21
2.3. <i>Análise cromatográfica</i>	22
2.4. <i>Cálculos dos fluxos e emissões acumuladas de GEE</i>	23
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
3.1. <i>Precipitação e temperatura</i>	24
3.2. <i>Fluxo de CH₄</i>	25
3.3. <i>Emissões acumuladas de CH₄</i>	26
4. CONCLUSÃO	30
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

LISTA DE FIGURAS

1. Variação de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação (mm) ao longo das amostragens...24
2. Fluxo de metano ($\text{CH}_4\text{-C}$; $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$)26
3. Emissão acumulada de metano ($\text{CH}_4\text{-C}$; kg ha^{-1}) na fase de plantas de cobertura (A), algodão (B), e no período total avaliado (C).27

LISTA DE TABELAS

1. Resultados da análise de solo da área utilizadas no experimento. Costa Rica, MS, 2023.20

RESUMO

Desde a revolução industrial (1750-1850), a intensificação das atividades antrópicas tem levado ao aumento nas emissões dos gases do efeito estufa (GEE), promovendo o aumento na temperatura média do globo (~1.5°C) e intensificando a problemática das mudanças climáticas. Neste sentido, a agricultura, quando baseada na adoção de boas práticas de manejo, tem se destacado como uma prática capaz de promover a mitigação da problemática das mudanças climáticas. O objetivo deste trabalho foi avaliar qual o impacto da adoção de diferentes plantas de cobertura e do manejo com e sem revolvimento do solo sobre as emissões de metano (CH₄). Foi selecionado um experimento de longa duração localizado na cidade de Costa Rica- MS. Foi utilizado o delineamento em faixas com cinco tratamentos e quatro repetições sendo: SA-PC: solo manejado em sistema convencional, com cultivo de soja e algodão, nas principais culturas e pousio na safrinha; SA+M: solo manejado em sistema de plantio direto, com cultivo de soja e algodão, seguindo colheita de milho na safrinha; SA+C: solo manejado em sistema de plantio direto, com o cultivo de soja e algodão nas principais culturas, *Crotalaria juncea*, na safrinha; SA-PD: solo manejado de forma que o sistema de preparo do solo utilizado foi o plantio direto, com cultivo de soja e algodão nas principais culturas, e pousio na safrinha. As emissões de CH₄ foram avaliadas de fevereiro de 2022 à agosto de 2023, utilizando câmaras estáticas manuais. Os dados obtidos foram submetidos a ANOVA (5%), e as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey. As emissões de CH₄ foram significativamente afetadas pelos tratamentos avaliados, tanto no período das plantas de cobertura quanto no período de cultivo do algodão. Os fluxos variam entre -40 a 100 µg m⁻² h⁻¹ para o CH₄, com os maiores picos sendo registrados no período de algum evento presente, como semeadura, adubação e colheita. As variações nos fluxos observados impactaram significativamente as emissões acumuladas de CH₄. Os resultados gerados indicam que o manejo com plantas de cobertura e um preparo de solo adequado com as adubações nitrogenadas devidamente posicionada, tem impactos significativamente benéficos relacionado a emissão de CH₄.

PALAVRAS-CHAVE: Fluxos de gases; gases do efeito estufa; mudanças climáticas; plantas de cobertura, plantio direto.

ABSTRACT

Since the industrial revolution (1750-1850), the intensification of anthropogenic activities has led to an increase in greenhouse gas (GEE) emissions, promoting an increase in the average temperature of the globe (~1.5°C) and intensifying the problem of climate change. In this sense, agriculture, when based on the adoption of good management practices, has stood out as a practice capable of mitigating the problem of climate change. With this in mind, the aim of this study was to assess the impact of adopting different cover crops and managing the soil with and without turning it over on methane (CH₄) emissions. A long-term experiment located in the city of Costa Rica - MS. Was selected. A strip design was used with five treatments and four replications: SA-PC: soil managed in a conventional system, with soybeans and cotton grown as the main crops and fallow in the off-season; SA+M: soil managed in a no-till system, with soybeans and cotton grown, followed by corn harvest in the off-season; SA+C: soil managed in a no-till system, with soybeans and cotton grown as the main crops, *Crotalaria juncea*. in the off-season; SA-PD: soil managed in a no-till system, with soybeans and cotton grown as the main crops, followed by corn harvest in the off-season; SA-PD: soil managed in a no-till system, with soybeans and cotton grown as the main crops, followed by corn harvest in the off-season. in the off-season; SA-PD: soil managed in such a way that the tillage system used was no-till, with soybean and cotton grown as the main crops, and fallow in the off-season. CH₄ emissions were assessed from February 2022 to August 2023 using manual static chambers. The data obtained was submitted to ANOVA (5%), and the means were compared using the Tukey test. CH₄ emissions were significantly affected by the treatments evaluated, both during the cover crop period and the cotton growing period. Flows ranged from -40 to 100 μg m⁻² h⁻¹ for CH₄, with the highest peaks being recorded in the period of some event, such as sowing, fertilizing and harvesting. The variations in the flows observed had a significant impact on the accumulated CH₄ emissions. The results generated indicate that management with cover crops and adequate soil preparation with properly positioned nitrogen fertilization have significantly beneficial impacts on CH₄ emissions.

KEYWORDS: Climate change; cover crops; gas flows; greenhouse gases; no-tillage.

INTRODUÇÃO

Globalmente são emitidos cerca de 50 bilhões de toneladas de CO₂eq (equivalência de todos os gases em equivalente de dióxido de carbono - CO₂eq) anualmente, onde 73% das emissões são provenientes do setor de energia, 5% do setor industrial, 3% de resíduos, e por fim o setor da agricultura, silvicultura e uso da terra, que contribuem com pouco mais de 18% das emissões totais (OWD, 2020).

O aumento histórico nas emissões é justificado, parcialmente, pelo crescente aumento por recursos e a intensificação das atividades antrópicas. As consequências deste processo têm causado mudanças substanciais no equilíbrio dos processos naturais que ocorrem no planeta (DMP Blanck, 2015). Os gases do efeito estufa (GEE) são representados principalmente pelo CO₂, metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e vapor d'água (H₂O). Juntos eles retêm parte do calor irradiado pelo planeta terra tornando-o mais quente (WWF, 2016). O planeta aqueceu em média 1.1 °C, com um maior efeito sobre os continentes (1,6 °C; IPCC, 2021). Como resultado o aquecimento do globo apresenta também distúrbios climáticos mais severos (por exemplo, secas mais severas, inundações, furacões e tornados, etc.) (IPCC, 2021). O aumento da frequência de eventos como os supracitados causa certa ameaça à estabilidade dos ambientes naturais.

O CH₄ apresenta um Potencial de Aquecimento Global (PAG_{100 anos}) de 21 vezes. Isto significa que uma molécula de metano tem um potencial de aquecimento na atmosfera equivalente à 21 moléculas de CO₂. A molécula de N₂O, por outro lado, apresenta um PAG₁₀₀ de 310 moléculas de CO₂ (CETESB, 2023). Os níveis de CH₄ atmosférico atingiram em média 1908 partículas por bilhão (ppb) em 2021 (WMO, 2022), muito acima dos níveis pré-industriais (1750), que era de 700 ppb. Neste mesmo período, a concentração de CO₂ 280 ppm, e a de N₂O era 270ppb (EMBRAPA, 2006).

O Brasil é o 5º país no ranking de emissões mundiais de CH₄, com 5,5% do despejo global deste gás na atmosfera, representando 20,2 milhões de toneladas em 2020 (SEEG, 2023). O CH₄ é um gás proveniente de diversas fontes, sendo que as principais são: erupção vulcânicas, decomposição de resíduo orgânico, digestão de alguns animais herbívoros, reservatórios de hidroelétricas, extração de combustíveis minerais, produção de combustíveis fósseis, queima de combustíveis fósseis (MEDEIROS, 2005).

No Brasil a principal fonte de emissão de CH₄ é a fermentação entérica em ruminantes, o rebanho bovino do Brasil é estimado em cerca de 234,4 milhões de animais (IBGE, 2023). A fermentação do alimento ingerido, no rúmen, é um processo anaeróbio efetuado pela população microbiana ruminal, em que os carboidratos celulósicos são convertidos em ácidos graxos de cadeia curta, os quais são utilizados pelo animal como fonte de energia. Bactérias metanogênicas, presentes no rúmen, obtêm energia para seu crescimento ao utilizar H₂ para reduzir CO₂ e formar metano (CH₄), o qual é eructado ou exalado para a atmosfera (COTTLE et al., 2011).

No solo, o CH₄ é obtido como resultado do processo de oxidação anaeróbica da matéria orgânica por microrganismos (COLLADO, 2023), através do processo chamado metanogênese. A metanogênese é um tipo de respiração anaeróbica em que um composto de Carbono (como o CO₂) funciona como acceptor de elétrons, ela ocorre principalmente na ausência de sulfatos, nitratos, metais oxidados e, em especial, de oxigênio. O processo ocorre quando estes aceptores de elétrons, “mais favoráveis” que o composto de Carbono, estão ausentes (DIAS, 2013).

O CO₂ se apresenta como gás de origem antrópica de maior relevância para a problemática de mudanças climáticas, contribuindo com 78% da força radiativa oriunda dos gases antropogênicos (COSTA, 2023). Embora a queima de combustíveis fósseis e a indústria sejam as principais fontes emissoras de CO₂ no globo a expansão da agricultura

por meio da mudança do uso da terra também contribui de forma expressiva para as emissões deste gás. No Brasil, diferentemente do padrão observado no mundo (principal emissão proveniente da indústria), têm-se que a agricultura associada à mudança do uso da terra é a principal atividade responsável pela emissão de CO₂ para a atmosfera, as quais contribuem com ~60 - 70% das emissões totais anuais (inclui-se aqui as emissões de CO₂ originadas da queima da vegetação). Neste caso, a mineralização/oxidação da matéria orgânica por meio da atividade dos microrganismos é a principal causa do fenômeno, que normalmente é intensificado mediante a adoção de práticas de manejo que aumentam a exposição do carbono estabilizado, e potencializam a atividade microbiana.

No caso do N₂O, o mesmo se destaca como o terceiro gás mais relevante o qual contribui com 7% da força radiativa responsável pelo aquecimento do globo (INMET,2021). O N₂O tem aproximadamente 334ppb isso equivale a 124% a mais do que no período pré-industrial (WMO, 2022). Entre as atividades o uso de fertilizantes nitrogenados se destaca como a maior fonte de emissões do gás. Na mesma linha, a adição de fertilizantes orgânicos com alta concentração de N também se destaca como uma prática que contribui de forma significativa (WMO,2022). A parte das atividades agropecuárias, o N₂O é produzido no tratamento de água residuais, atividades industriais diversas, bem como na queima de combustíveis fósseis.

No Brasil, o Cerrado possui uma área de 2 milhões de km², o que representa cerca de 25% do território nacional (MMA, 2023). No bioma, esta área se divide em 87 milhões de hectares (Mha) destinados a agropecuária, 111 Mha de vegetação nativa, 3 Mha silvicultura, 24 Mha agricultura anual e perene, 60 Mha de pastagem plantada, 0,9 Mha de área urbana (CARNEIRO FILHO E COSTA, 2016). Da área nacional cerca de 17,2 Mha são destinados ao cultivo de soja, 7,7 Mha de milho, 1 Mha de algodão, estão

concentrados na região do cerrado, o que indica a grande relevância da região (IPEA, 2016).

O Cerrado tem uma grande relevância para economia Brasileira, especialmente para a agricultura. Estima-se que mais de 60% da produção de grãos no Brasil seja proveniente da região do Cerrado. O setor da agricultura é responsável por 24,8% da participação do PIB (produto interno bruto) nacional de 2022 (CEPEA/CNA, 2022), isso mostra a importância do setor na economia brasileira, o agronegócio gera mais de 350 mil empregos formais. Além disso, é um setor que está em constante crescimento e desenvolvimento, assim fomentando a geração de novos empregos (FGV Agro, 2023).

Recentemente esforços substanciais têm sido destinados ao entendimento do efeito da adoção de práticas conservacionistas na agricultura (ex. plantio direto, rotação de culturas), com vistas a promover o aumento da produção de alimentos com menor uso de insumos. O sistema de plantio direto tem sido amplamente adotado como uma prática benéfica (EMBRAPA, 2022). O plantio direto reduz erosão e perda de nutrientes, enriquece o solo com matéria orgânica na superfície, menor compactação do solo, menos aração e gradagem, resultando em uma redução das operações de aração e gradagem e reduzindo também o desgaste de maquinários (EMBRAPA, 2015). Relacionando essas informações com as emissões do CH₄ podemos chegar na seguinte sentença: o plantio direto com todo aporte de matéria orgânica, promove uma melhor areação no solo, já que retarda a compactação do solo, aumentando a distribuição dos poros do solo, diminuindo os sítios de anaerobiose.

Já o plantio convencional tem por objetivo básico fornecer condições ótimas para a germinação, a emergência e o estabelecimento das plântulas (EMBRAPA, 2021). Entretanto no plantio convencional têm-se revolvimento contínuo do solo que não

contribui para o aumento da matéria orgânica no solo, deixando propenso à compactação do solo, criando o “pé de grade” (EMBRAPA, 2021).

Além do plantio direto, outra prática utilizada que apresenta grande potencial para melhoria da qualidade do solo e aumento da produtividade agrícola é de rotação de culturas. A rotação de culturas consiste na alternância ordenada de diferentes culturas, em determinado espaço de tempo (ciclo), na mesma área e na mesma estação do ano (EMBRAPA, 2011). A adição de espécies tem sido muito importante nesse processo pois apresentam inúmeros benefícios ao sistema para suprir a demanda de biomassa e proteção ao solo. A adição de espécies como as gramíneas, auxiliam na descompactação do solo, aumento da aeração do solo, proteção contra erosão, as gramíneas se destacam pela elevada produção de fitomassa e alta relação C:N, o que confere ao solo uma palhada com maior tempo de permanência (TAVARES et al, 2020). Já as leguminosas possuem capacidade de transformar o nitrogênio (N) atmosférico em formas assimiláveis de N para plantas e animais por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN) (EMBRAPA, 2023).

A inclusão de plantas de cobertura auxilia na melhora da estrutura física do solo, tem uma melhor agregação do solo, por conta do alto volume de raízes no solo, conseqüentemente havendo uma melhor distribuição de poros em todo perfil do solo, aumentando a resistência à compactação do solo, difusão de ar, bem como a infiltração de água (ALVARENGA et al., 2001).

Ainda existem poucas evidências acerca do efeito destas práticas sobre a dinâmica de emissões dos GEE, especialmente para a região do cerrado. Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o impacto da adoção de diferentes práticas de manejo como sistema de plantio direto e a inclusão de plantas de cobertura sobre as emissões de CH₄ do solo na região do Cerrado brasileiro.

1. MATERIAL E METODOS

2.1 Descrição da área experimental

O experimento avaliado está localizado na fazenda Planalto, pertencente ao grupo SLC Agrícola, (18°12'29"S e 53°11'51"W), situado a 860 m de altitude, na região da Baús, município de Costa Rica - MS. O experimento foi instalado em 2005, e foi disposto em delineamento em faixas com quatro repetições e quinze sistemas de intensificação, que compõe o sistema de preparo do solo (plantio direto, cultivo mínimo, e sistema convencional) e diferentes níveis de adição de biomassa, contemplando diferentes espécies utilizadas como cobertura (pousio, milheto, (*Urochloa spp.*), crotalária, e milho – este último, utilizado para produção de grãos em segunda safra).

Neste trabalho, foram selecionados 5 tratamentos, sendo: SA-PC: solo manejado em sistema convencional, com cultivo de soja e algodão, nas principais culturas e pousio no inverno; SA+M: solo manejado em sistema de plantio direto, com cultivo de soja e algodão, seguido do cultivo de milho no inverno; SA+C: solo manejado em sistema de plantio direto, com cultivo de soja e algodão e *Crotalaria juncea* no inverno após o cultivo da soja e antecedendo o cultivo do algodão; SA+B: solo manejada em sistema de plantio direto, com o cultivo de soja e algodão nas principais culturas e *Urochloa spp.* no inverno após o cultivo da soja, antecedendo o cultivo do algodão; SA-PD: solo manejado de forma que o sistema de preparo utilizado foi o plantio direto, com cultivo de soja e algodão nas principais culturas, e pousio no inverno. Os tratamentos avaliados foram dispostos no campo de modo a completar uma sequência de sucessão de culturas de dois anos, semelhante a rotação de culturas realizada na propriedade.

No ano um, a cultura do algodão sempre foi semeada em meados de dezembro, sendo colhida em meados de agosto sendo colhida em meados de junho do ano seguinte (ano dois), com a área permanecendo em pousio até o início da próxima estação chuvosa.

No início da estação chuvosa (meados de outubro), a cultura da soja foi semeada, sendo colhida em meados de fevereiro do ano seguinte, tendo as plantas de cobertura semeadas logo na sequência.

2.1.2 Características das culturas implantadas

As cultivares utilizadas foram soja (BMX FOCO IPRO) com uma densidade de 27 plantas por m² e algodão (FM 983 GLT) com 7 plantas por metro linear e híbrido de milho (P3889rr) com 3 plantas por metro nas culturas principais, já nas culturas de cobertura foram *Urochloa* com 4 kg ha⁻¹ que foram semeados e crotalária com 40 kg ha⁻¹ aplicados a lanço.

A dose de adubo utilizada no milho foi de 250 kg ha⁻¹ de super simples + 165 kg ha⁻¹ de KCl no plantio e de cobertura foi utilizado 150 kg ha⁻¹ de ureia + 300 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio em cobertura. Na soja foi aplicado 250 kg ha⁻¹ de super simples no plantio e 165 kg ha⁻¹ de KCl na cobertura. No algodão aplicou-se 120 kg ha⁻¹ de ureia, 280 kg ha⁻¹ de sulfato de amônia na semeadura, 140 kg ha⁻¹ de KCl sendo aplicado seis vezes e 300 kg ha⁻¹ de NPK 0-18-18.

A Tabela 1 apresenta a caracterização química do solo da área experimental, as aplicações de calcário são feitas da seguinte forma 1,5 – 2,0 ton ha⁻¹ a cada 2,5/3 anos (média), sempre de acordo com o monitoramento dos níveis de fertilidade do campo.

Tabela 1. Resultados da análise de solo da área utilizadas no experimento. Costa Rica, MS, 2023.

Prof cm	pH CaCl ₂	Ca	Mg cmol _c dm ⁻³	H+Al	K	P res	Cu	Fe mg dm ⁻³	Mn	Zn	B
0,0-5,0	5,5	6,4	3,1	3	0,49	109	1,1	25	6,8	5,0	6,4
5,0-20,0	5,0	2,7	1,2	6	0,2	69	2,3	38	3,4	2,7	
Prof. cm	S mg dm ⁻³	MO	C %		SB	CTC	V %				
0,0 -5,0	37	2,99	1,74		10,0	13,1	76				
5,0 – 20,0	8	2,99	1,16		4,1	10,2	70				

M.O. = Matéria orgânica; V = Saturação de Bases; CTC= Capacidade de Troca Catiônica; S.B. = Soma de Base.

2.2 Mensuração dos fluxos de CH₄

Os fluxos de CH₄ foram monitorados por um período de 533 dias, entre o período de 25 de fevereiro de 2022 a 11 de maio de 2023, representando a fase de cultivo das plantas de cobertura (pós-colheita da soja) e da cultura do algodão. As emissões dos gases foram monitoradas utilizando o método das câmaras estáticas manuais (Stuedler et al., 1991), sendo instaladas uma câmara para cada repetição (4 repetições) nos cinco tratamentos avaliados, totalizando 20 câmaras. A câmara estática em sua composição possui duas partes independentes: a base (constituída de aço galvanizado) que é introduzida no solo, e possui uma altura de 13,5 cm e diâmetro total de 34 cm; a câmara, que consiste em um corpo móvel feito de material PVC (30 cm de diâmetro, e 5 cm de altura), que é introduzido sobre a base metálica a qual permanece inserida no solo. No topo da base, há uma calha (3 cm de altura) onde é adicionado água para vedar o espaço de contato base – câmara e permitir o acúmulo dos gases que são coletados. No topo da câmara há uma válvula para retirada das amostras com as seringas, que também possuem válvulas em sua composição.

Durante a coleta das amostras foram utilizadas seringas de 60ml (Becton Dickinson Ind. Cirur. Ltda.), onde foram coletadas em intervalos de 0, 15 e 30 minutos após o fechamento das camadas foi suficiente para obter a concentração dos gases no interior da câmara (DA ROCHA et al., 2022). Em cada coleta, foram registradas as temperaturas do ar, avaliadas no começo e no final da coleta sendo duas: dentro da câmara e a temperatura externa da câmara. O horário das amostragens foi padronizado entre as 8h e 10h da manhã no horário de Brasília. As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas refrigeradas, após foram transferidas para vials em laboratório a fim de evitar a perda de amostras no período de transporte e leitura da concentração dos gases.

A frequência das coletas foi ajustada de acordo com as variações climáticas estação chuvosa e seca e manejo das áreas (preparo do solo, adubação com bases nitrogenadas, semeadura), portanto, quando houve alguma intempérie no campo, as avaliações foram feitas com frequência, realizando amostragens semanais (dia sim dia não) totalizando quinze dias de coletas mais intensas, esses eventos intensificam os fluxos de gases. Pois durante o período seco, as coletas foram realizadas quinzenalmente pois os fluxos de gases costumam ser menos intensificados. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas via correios para Piracicaba – SP, onde a mensuração da concentração dos gases foi determinada por meio da técnica de cromatografia gasosa no departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP. O cromatógrafo utilizado foi um Shimadzu 14A.

2.2.1 Preparativos para a coleta

Para as coletas foram utilizados:

- Câmara de coleta sem vazamentos e com termômetros em perfeito funcionamento;
- Seringas (em quantidade adequada e devidamente identificadas);
- Caixa térmica; -bolsa gel térmica congelada (para conservação das amostras);

- Prancheta, lápis e planilha para anotações dos dados de campo;
- Cronômetro;
- Garrafas de água;
- Fracos de armazenamento de amostras (previamente evacuados);
- EPI's, (botas, e perneiras).

As coletas ocorriam na parte da manhã portanto os materiais eram organizados no dia anterior. Para o andamento correto das coletas, eram revisadas câmeras com antecedência e caso houvesse necessidade de reparos. como por exemplo, a substituição das bases em caso de acidente com implementos, ou substituição dos termômetros com mal funcionamento. No campo o trabalho foi realizado com cautela para que as câmaras não permanecessem fechadas sobre o chão no período anterior ao acoplamento, evitando o acúmulo indesejado de gases é que o sol incida diretamente no interior da câmara, aquecendo a haste do termômetro. Estes cuidados ajudaram evitar o acúmulo de GEE no interior da câmara e também que o aumento da temperatura inicial da câmara seja, simulando condição não real. Evitamos deixar as seringas e os vials expostos ao sol no momento da coleta, eram mantidos na caixa térmica, retirado apenas para amostragens (ZANATTA et al., 2014).

2.3 Análise cromatográfica

As amostras foram enviadas periodicamente para Piracicaba, evitando o acúmulo de amostras por um período superior a 30 dias. A análise da concentração do CH₄ foi realizada em cromatógrafo gasoso. O tempo de duração da análise varia conforme o equipamento disponível. Quanto ao tipo de injeção da amostra no equipamento, utilizou-se de injeção manual que foi acoplada à uma válvula de injeção com loop de amostragem, para melhorar a precisão analítica. Foi adotada uma estratégia de análise fixa e consolidada em relação à sequência de análise para os tempos de coleta e repetições. Com

relação aos padrões analíticos, as curvas de calibração foram realizadas em intervalos regulares durante as análises, sendo pelo menos duas vezes por dia, ao iniciar as atividades pela manhã e após o intervalo de 4 horas de atividade. Eventualmente, quando qualquer configuração de análise do equipamento é alterada, uma nova calibração é realizada (ZANATTA et al., 2014).

2.4 Cálculos dos fluxos e emissões acumuladas de GEE

Os fluxos de CH₄ foram calculados a partir da concentração do gás obtido nos tempos 0, 15 e 30 min após o fechamento das câmaras, utilizando a equação 1:

$$f = \frac{\Delta C}{\Delta \tau} \times \frac{V}{A} \times \frac{m}{Vm}$$

onde $\Delta C/\Delta \tau$ é a mudança na concentração de CH₄ na câmara durante o tempo de avaliação $\Delta \tau$; V e A são respectivamente o volume da câmara e a área de solo coberta pela câmara; m é o peso molecular do CH₄ (16,043g/mol⁻¹); Vm é o volume molecular do CH₄.

Os fluxos cumulativos foram calculados traçando os fluxos diários ao longo do tempo, interpolando linearmente entre eles e integrando a área sob a curva.

2.5 Análise estatística

A normalidade e a homoscedasticidade dos dados foram verificadas pelos testes Shapiro-Wilk e O'Neill-Mathews, respectivamente ($p > 0.05$). A significância do conjunto de dados foi avaliada por meio da ANOVA ($p < 0,05$) para o CH₄, nos diferentes períodos considerados. Quando significativo, teste de comparação de médias Tukey ($p < 0,05$) foram aplicados. As análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software R, e as figuras foram construídas utilizando o software Origin (Origin, Version 2020, OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Precipitação e temperatura

A variação climática no período de avaliação do trabalho foi avaliada através da estação meteorológica da fazenda (18°13'14"S e 53°11'51"W). A precipitação acumulada do período foi de 2465 mm (Figura 1), concentrada principalmente no período de fevereiro a abril de (2022), e outubro de 2022 a maio de 2023. A temperatura também foi avaliada no mesmo período, tendo uma temperatura média de 21,2 °C.

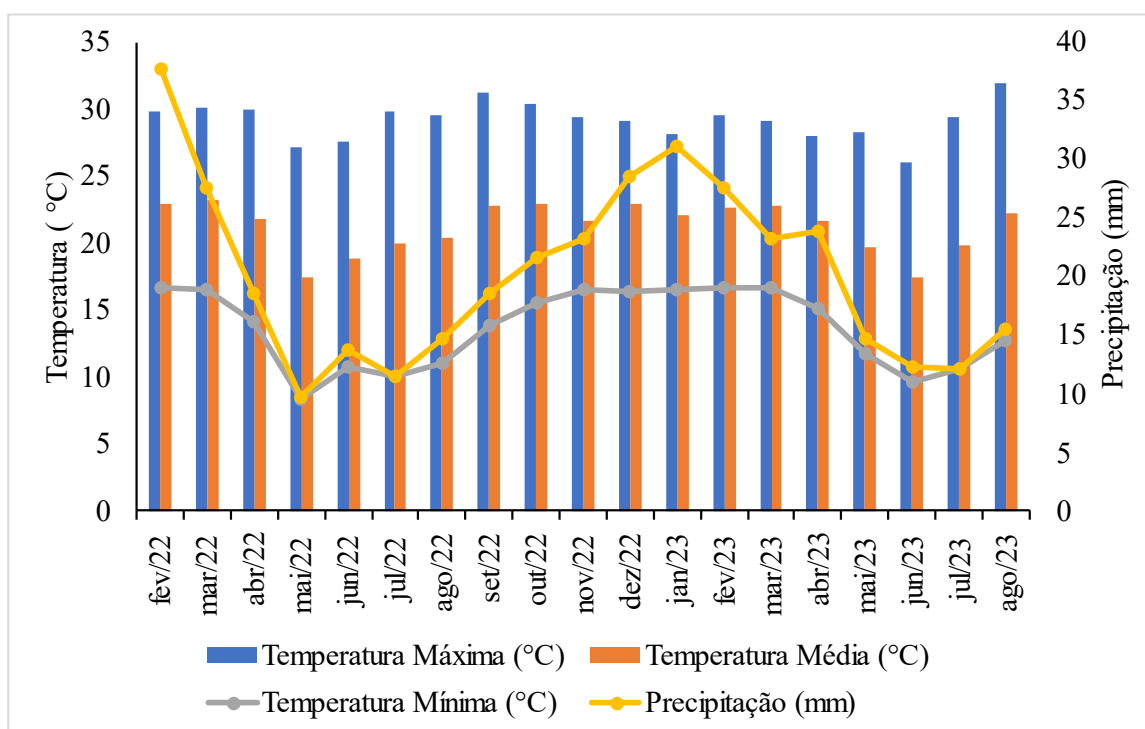


Figura 1. Variação de temperatura (°C) e precipitação (mm) ao longo do período de monitoramento das emissões no campo.

3.2 Fluxo de CH₄

As emissões de CH₄ foram significativamente afetadas pelos diferentes eventos de manejo ocorridos durante o período de avaliação (Figura 2). Os fluxos do CH₄ variaram entre -40 e 100 µg m⁻² h⁻¹, e tenderam a superiores no tratamento SA-PD. O

maior pico observado foi registrado entre os dias 02 e 30 de dezembro de 2022. Observando o gráfico da Figura 1, pode-se observar que foi em um período de maior precipitação e de elevadas temperaturas. A precipitação elevada pode ser um fator condicionante a formação de sítios de anaerobiose em solos compactados, quando sujeitos a eventos de chuva, podem apresentar expressiva condição de anaerobiose, o que resulta na emissão de CH₄ para a atmosfera (GOMES, 2006).

Além da elevada precipitação no período, os maiores picos de emissão do gás coincidiram com as adubações nitrogenadas, principalmente quando realizadas na cultura do algodão (Figura 2). A presença de N na forma de NH₄ compete com o CH₄, e os microrganismos que seriam responsáveis pelo consumo de CH₄ no solo acabam utilizando o NH₄ - reduzindo a absorção de CH₄ e aumentando o potencial de emissão (ALVEZ, 2017).

Além dos períodos que coincidiram com a adição de fertilizantes nitrogenados (elevada precipitação e temperatura), houve a predominância de picos negativos, o que indica o consumo de CH₄ pelos microrganismos do solo (Figura 2).

Em condições de aerobiose, os menores valores (maior consumo) de CH₄ observados sob o tratamento SA-B indicam que a presença da *urochloa spp.* como planta de cobertura podem ter sido benéfica para o sistema.

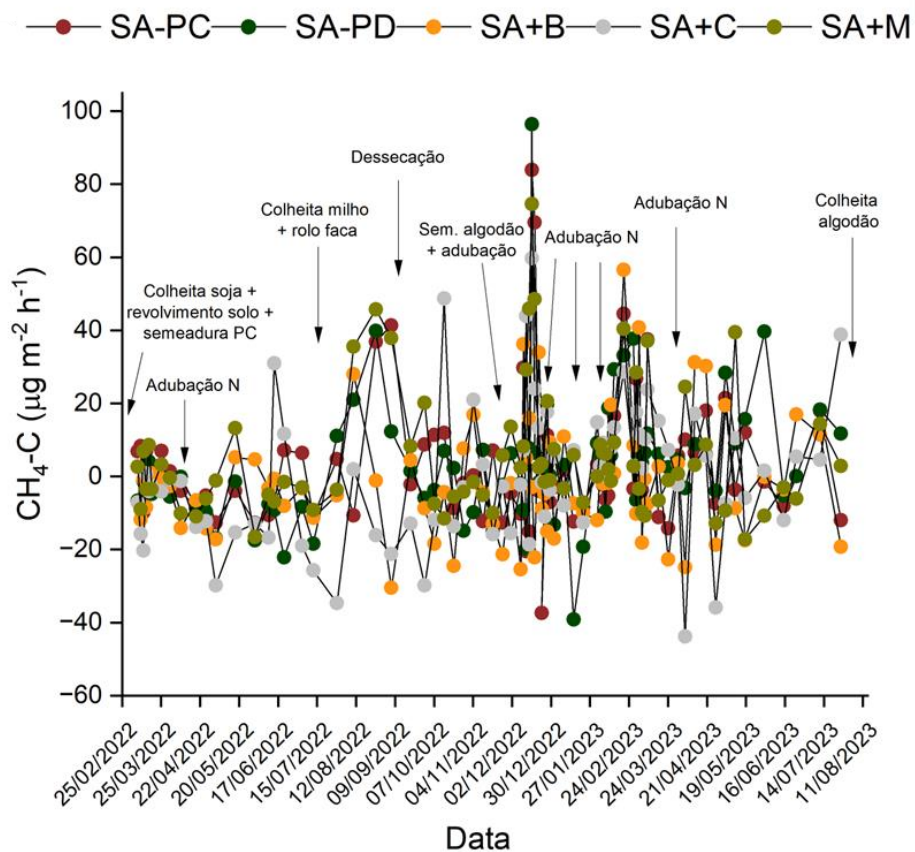


Figura 2. Fluxo de metano ($\text{CH}_4\text{-C}$; $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$); SA-PC (soja e algodão; plantio convencional), SA-PD (soja e algodão; plantio direto), SA+B (soja e algodão + brachiaria); SA+C (soja e algodão + crotalária); SA+M (soja e algodão + milho).

3.3 Emissões acumuladas de CH_4

As emissões acumuladas de CH_4 foram significativamente distintas entre si em todas as fases mensuradas (plantas de cobertura, algodão e período total; $p < 0,05$; Figura 3). Na fase plantas de cobertura (Figura A), houve diferença estatística entre os tratamentos. O tratamento SA+M ($0,3 \text{ kg ha}^{-1}$) apresentou valores maiores (e positivo) que SA-C ($-0,7 \text{ kg ha}^{-1}$) e SA-B ($-0,3 \text{ kg ha}^{-1}$), SA+PC ($0,1 \text{ kg ha}^{-1}$) foi maior do que SA+B ($-0,3 \text{ kg ha}^{-1}$) e SA+C ($-0,7 \text{ kg ha}^{-1}$), sendo superior a todos os tratamentos exceto para SA+PC, indicando assim emissão de CH_4 . Na safra do algodão (Figura 4B), os tratamentos não se diferenciaram estatisticamente, mas todos tiveram a característica de emissão de CH_4 : SA+M ($0,5 \text{ kg ha}^{-1}$), SA-PD ($0,5 \text{ kg ha}^{-1}$), SA-PC ($0,3 \text{ kg ha}^{-1}$), SA+C ($0,2 \text{ kg ha}^{-1}$) e SA+B ($0,1 \text{ kg ha}^{-1}$). Embora diferenças estatísticas não tenham sido

observadas, houve uma tendência de menores emissões nos tratamentos manejados com *Urochloa spp.* e crotalária.

No período total avaliado (Figura 3C), os tratamentos SA+B (-0,2 kg ha⁻¹) e SA+C (-0,4 kg ha⁻¹) não se diferiram entre si e demonstram não só uma redução das emissões em relação aos demais tratamentos, bem como uma significativa capacidade de sequestro de CH₄. Os demais tratamentos (SA+M - 0,6 kg ha⁻¹, SA-PD - 0,4 kg ha⁻¹, e SA-PC - 0,4 kg ha⁻¹) tiveram uma emissão positiva, indicando que os referidos sistemas estão contribuindo para as emissões do gás.

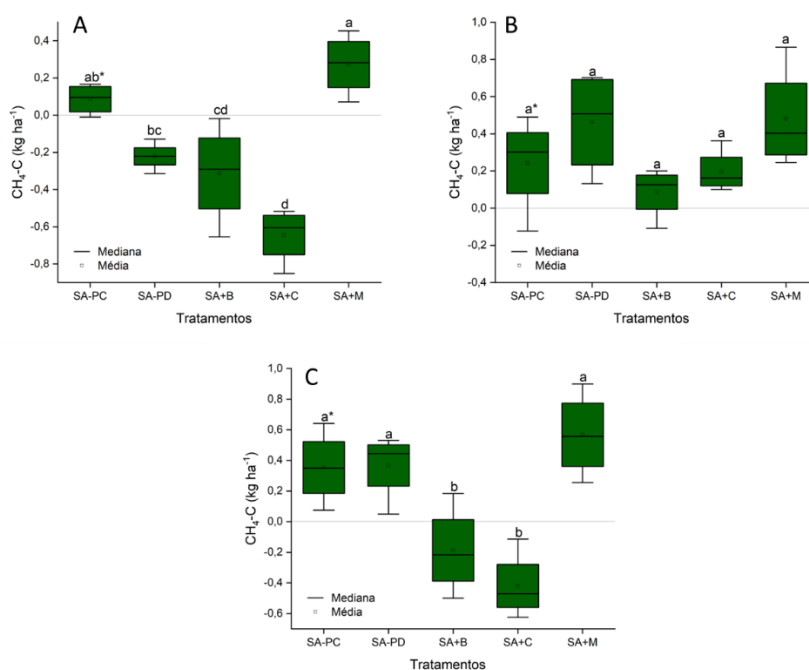


Figura 3. Emissão acumulada de metano (CH₄-C; kg ha⁻¹) na fase de plantas de cobertura (A), algodão (B), e no período total avaliado (C).

Em todo o período avaliado, as menores emissões (emissões negativas) observadas foram nos tratamentos em que haviam plantas de cobertura, sendo estas emissões inferiores às observadas nos demais tratamentos que não apresentavam plantas de cobertura. A presença das plantas de cobertura no sistema é notória por apresentarem diversos benefícios ao solo, podendo estar diretamente associados a manutenção de um

ambiente menos favorável às emissões de CH₄ e que possam potencializar o sequestro do gás.

Existe uma vasta literatura acerca dos benefícios da inclusão de plantas de cobertura sobre a melhoria da qualidade física do solo (ALVARENGA et al., 2001), que pode estar diretamente associada a redução do potencial de emissão do gás e o aumento do sequestro do mesmo. A inclusão de plantas de cobertura é frequentemente associada ao aumento da adição de biomassa via raízes, que podem causar benefícios diretos por meio da melhoria da estrutura física (agregação), bem como indiretos devido a adição de matéria orgânica no meio. Em suma, a melhoria da estrutura contribui para a manutenção de um ambiente aeróbico, que inibe as condições necessárias para a metanogênese. Tais ambientes são favorecidos pelo aumento da porosidade do solo, maior difusão de oxigênio, maior infiltração de água e menor suscetibilidade a compactação (SILVA et al, 2021).

Na mesma linha, a presença de plantas de cobertura pode ser benéfica para a redução das emissões de CH₄ por conta da intensificação da ciclagem de nutrientes. A presença de biomassa viva sob o solo contribui para a absorção de N inorgânico presente no solo, diminuindo a disponibilidade de N no meio (SOUSA NETO, 2008). Conforme já mencionado, a presença de formas inorgânicas de N pode modificar o consumo de N que pode estar livre no meio. Logo, reduzindo a competição com o CH₄.

Por outro lado, as maiores emissões observadas nos tratamentos SA-PC e SA-PD podem estar associadas a degradação da qualidade física do solo. Esta pode ser causada tanto pelo revolvimento constante observado no tratamento com revolvimento (SA-PC), quanto pelo uso constante da cultura da soja associada ao algodão (mesmo em plantio direto SA-PD), a qual pode ser insuficiente para a manutenção da condição necessária para não emissão do gás. No caso do ambiente com revolvimento, embora alguns

benefícios possam ser observados nos primeiros anos após o revolvimento do solo, a tendência é que ao longo do tempo as sucessivas perturbações levem a formação de uma camada compactada na subsuperfície, a qual é denominada “pé de arado” (COSTA et al, 2006). Do mesmo modo, a manutenção do sistema de sucessão entre soja e algodão pode ser insuficiente para manter os níveis de carbono encontrados no solo. Uma redução nos teores de C do solo pode contribuir para a redução da agregação do solo, que consequentemente pode reduzir a porosidade total, bem como aumentar a suscetibilidade a compactação. Como já discutido, um ambiente suscetível a compactação e com baixa capacidade de drenagem (baixa porosidade) pode contribuir para o estabelecimento de sítios de anaerobiose por períodos prolongados (SANTOS et al, 2012), aumentando as condições que podem levar as emissões do gás CH₄.

No caso do SA+M, embora a entrada de C e a proporção de biomassa oriunda de raízes possa ser maior, a o efeito da adição de N, que fez com que apresentasse uma emissão positiva de CH₄.

Em todo o período avaliado, as menores emissões observadas foram nos tratamentos em que haviam plantas de cobertura Tais emissões foram inferiores as observadas nos demais tratamentos que não apresentavam plantas de cobertura no sistema, o que deixa explícito os diversos benefícios que a diversificação de sistemas pode trazer ao solo, contribuindo para a manutenção de um ambiente menos favorável as emissões de CH₄, por exemplo.

CONCLUSÃO

O cultivo de plantas de cobertura associado ao plantio direto impactou significativamente nas dinâmicas das emissões de CH₄, apresentando potencial para redução das emissões do gás, e potencializando o sequestro do mesmo. Por outro lado, as culturas de interesse não corresponderam às expectativas demonstrando dados que geraram emissões positivas, como nas culturas de milho e algodão. Os resultados indicam que as abordagens conservacionistas aqui testadas podem ser utilizadas como estratégias para o aumento da capacidade de sequestro de CH₄, e conseqüentemente são capazes de contribuir para a mitigação das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, Ramon Costa et al. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001. Disponível em: < Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. - Portal Embrapa >. Acesso em: 05 de set. 2023

ALVES, Milene Gondim de Oliveira. **Dinâmica dos gases de efeito estufa do sistema solo-planta em sistemas de integração**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: < <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74131/tde-13122017-104152/publico/ME9223822COR.pdf> >. Acesso em: 20 de ago. 2023.

CARNEIRO FILHO E COSTA. **A expansão da soja no Cerrado**. 2019. Disponível em: < <https://www.agroicone.com.br/wp-content/uploads/2019/12/Expansao-soja-Cerrado.pdf> >. Acesso em 17 de ago.2023.

CERETTA, Carlos Alberto et al. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 32, p. 49-54, 2002. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/cr/a/qC3ybTbj8QKbc4T76BTzxsh/?lang=pt> >. Acesso em: 20 de fev. 2024.

CETESB. Proclima **Gases do Efeito Estufa**. 2023. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/gases-do-efeito-estufa/#> >. Acesso em 27 set. 2023.

COSTA, Eusângela Antônia; GOEDERT, Wenceslau J.; SOUSA, Djalma Martinhão Gomes de. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1185-1191, 2006. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/pab/a/kXrZs9brzjrNzddDp7YMyQR/?lang=pt> > . Acesso em: 20 de fev. 2024.

COSTA, Maria Luiza Giordano da. **Mudanças Climáticas e Impactos Ambientais**. 2023. Disponível em: < https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/28102/Costa_Maria_Luiza_Giordano_da_2023_TCC.pdf?sequence=1 >. Acesso em 26 set. 2023.

COTTLE, D.J.; NOLAN, J.V.; WIEDEMANN, S.G. **Ruminant enteric methane mitigation**: a review. *Animal Production Science*, v.51, p.491-514, 2011.

CPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx#:~:text=Considerando-se%20também%20o%20comportamento,dos%2025%25%20registrados%20em%202022.>> . Acesso em 20 de jun. 2023.

DIECKOW, Jeferson; ZANATTA, Josiléia Acordi; BAYER, Cimélio. **Contribuição do óxido nitroso, do metano e do carbono da matéria orgânica do solo na emissão ou mitigação de gases de efeito estufa totais do solo em plantio direto.** 2023. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1153569/1/Embrapa-2023-EntendendoMateriaOrganicaSolo.pdf>>. Acesso em: 25 de jun. 2023.

DIAS, Naissa Maria Silvestre. **Efeito da aplicação de vinhaça na emissão de gases do efeito estufa e na comunidade desnitrificante e metanogênica do solo.** 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Cap 1 pag 17. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64133/tde-16012014-154412/en.php>>. Acesso em: 17 de ago. 2023.

DMP Blank. **O Contexto Das Mudanças Climáticas e as suas Vítimas.** 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/mercator/a/SgzwvyFQvzynyM8ZhdtRzjr/#>>. Acesso em 27 set. 2023.

EMBRAPA. **Importância da Rotação de Culturas para Produção Agrícola Sustentável no Paraná.** 2011. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/897259>>. Acesso em: 23 de ago. 2023.

EMBRAPA Acre. **Técnicas Conservacionistas Garantem Produção Agrícola em Solos Arenosos.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/69608030/tecnicas-conservacionistas-garantem-producao-agricola-em-solos-arenosos>> Acesso em: 10 out. 2023.

EMBRAPA. **Adubação verde.** 2005. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355054/1527012/4a+-+folder+Aduba%C3%A7%C3%A3o+verde.pdf/6a472dad-6782-491b-8393-61fc6510bf7d>. Acesso em: 17 ago. 2023.

EMBRAPA. **Milho.** 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo/plantio-convencional>>. Acesso em: 03 de set. 2023.

EMBRAPA. **Políticas Ambientais Aplicadas a Questão do Aquecimento Global.** 2006. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/595691/1/Politicaambientaisaplicada.pdf>>. Acesso em: 23 de ago. 2023.

FERREIRA, Murilo de Souza. **Emissões de dióxido de carbono e metano por ecossistemas aquáticos tropicais:** revisão da literatura, aspectos metodológicos e fatores bióticos e abióticos intervenientes. 2023. Disponível em: <<TeseMurilodeSouzaFerreiraVersaoCorrigida.pdf> (usp.br)>. Acesso em: 09 out. 2023.

FGV AGRO. Agroanalysis. **O Brasil que precisamos.** 2022. Disponível em: <<https://agro.fgv.br/publicacao/agroanalysis-ed-novembro-de-2022>>. Acesso em: 29 de fev 2024.

GOMES, J. **Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo.** Porto Alegre (Tese de Tese de doutorado). 2006. 151 p. Disponível em: < <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74131/tde-13122017-104152/publico/ME9223822COR.pdf> >. Acesso em: 20 de ago. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rebanho de Bovinos.** 2022. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br> >. Acesso em 03 de set. 2023.

IMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Os Gases Estufa** Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/noticias/omm-registra-mais-um-recorde-na-emissao-de-gases-estufa> >. Acesso em 18 nov. 2023.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **CRECIMENTO DA AGRICULTURA NO CERRADO NORDESTINO: FATORES CONDICIONANTES, LIMITES E RESULTADOS SOCIOECONÔMICOS.** Disponível em: < <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9240/1/Crescimento%20da%20agricultura.pdf> >. Acesso em: 20 de jun. 2023.

LANFRANCO, Bruno et al. **Las emisiones de metano de nuestra ganadería de carne no inciden en el cambio climático.** Revista INIA, v. 73, p. 22-26, 2023. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Gianni-Comini/publication/372536133_GAS_SERRA_E_CAMBIAMENTO_CLIMATICO/links/64bd4220b9ed6874a53e9802/GAS-SERRA-E-CAMBIAMENTO-CLIMATICO.pdf >. Acesso em 09 de set. 2023.

MEDEIROS, Sófocles Borba de. **Química Ambiental.** 3 ed. Revista e ampliada. Recife, 2005. 122 p. Disponível em: < <https://docente.ifrn.edu.br/samueloliveira/disciplinas/quimicaambiental/apostilas-e-outras-materiais/livro-de-quimica-ambiental> >. Acesso em: 09 de out. 2023.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **O Bioma Cerrado.** Disponível em: < <https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado.html#:~:text=O%20Bioma%20Cerrado&text=A%20sua%20área%20contínua%20incide,no%20Amapá%2C%20Roraima%20e%20Amazonas.>> . Acesso em 20 de jun. 2023.

NOAA. National Ocean and Atmospheric Administration. **Increase in atmospheric methane set another record during 2021.** Disponível em: < <https://www.noaa.gov/news-release/increase-in-atmospheric-methane-set-another-record-during-2021> >. Acesso em 10 de set. 2023.

OWD. Our World in Data. **Global Greenhouse Gas Emissions by Sector.** Disponível em: < <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector> >. Acesso em: 15 de jun. 2023.

PERIN, Adriano et al. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, v. 39, p. 35-40, 2004. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/pab/a/hF8p3kDYvvxgcnXtKDmMBSf/?lang=pt> >. Acesso em: 20 de fev. 2024.

TAVARES, Rose Luiza Moraes; FARHATE, Camila Viana Vieira; ASSIS, Renato Lara. **PLANTAS DE COBERTURA E SEUS BENEFÍCIOS AO SOLO. ANUÁRIO DE PESQUISAS AGRICULTURA-RESULTADOS 2020**, p. 40. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/H-Nascimento/publication/360365314_ANUARIO_DE_PESQUISAS_AGRICULTURA_-RESULTADOS_2020/links/62728e16b1ad9f66c8a11a6e/ANUARIO-DE-PESQUISAS-AGRICULTURA-RESULTADOS-2020.pdf#page=40 >. Acesso em 15 set. 2023.

SANTOS, Fabiane Campos dos et al. **Trocas gasosas de CH₄ E N₂O entre solo e atmosfera em diferentes tipos de cobertura nos municípios de Belterra e Santarém, Pará**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Oeste do Pará. Disponível em: < <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/337> >. Acesso em 20 de fev. 2024.

SEEG. Sistema de Emissões de Estimativa de Gases. **Emissões Totais de Metano**. Disponível em: < https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission >. Acesso em 10 de out. 2023.

SILVA, Mariana Aguiar et al. Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e11101220008-e11101220008, 2021. Disponível em: < <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20008> >. Acesso em 20 de fev. 2024.

SOUSA NETO, Eráclito Rodrigues de. **Perdas de nitrogênio pela emissão de óxido nitroso (N₂O) e sua relação com a decomposição da serapilheira e biomassa de raízes na floresta de Mata Atlântica**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: < https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-28102009-171323/publico/dissertacao_SOUSANETO.pdf >. Acesso em: 29 de fev. 2024.

WMO. Greenhouse Gas Bullet. **The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observation through 2021**. Disponível em: < <https://library.wmo.int/records/item/58743-no-18-26-october-2022t> > Acesso em 11 dez. 2023.

WMO. **WMO Statement on the State of de Global Climate in 2019**. Disponível em: < https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211 >. Acesso em: 08 Ago. 2023.

WRI. World Resources Institute. **How Methane Emission Contribute to Climate Change**. Disponível em: < <https://www.wri.org/insights/methane-gas-emissions-climate-change> >. Acesso em 12 de set. 2023.