



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS

Bruna Da Rosa Dutra

**Gases de efeito estufa e atributos edáficos em sistemas de plantio direto e convencional de couve-flor**

Florianópolis  
2023

Bruna Da Rosa Dutra

**Gases de efeito estufa e atributos edáficos em sistemas de plantio direto e convencional de couve-flor**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Arcângelo Loss  
Coorientador: Dr. Denilson Dortzbach

Florianópolis  
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dutra, Bruna da Rosa

Gases de efeito estufa e atributos edáficos em sistemas de plantio direto e convencional de couve-flor / Bruna da Rosa Dutra ; orientador, Arcângelo Loss, coorientador, Denilson Dortzbach, 2023.

91 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. Sistema de Plantio Direto de Hortaliças . 3. Couve-flor. 4. Gases de efeito estufa . I. Loss, Arcângelo . II. Dortzbach, Denilson . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. IV. Título.

Bruna da Rosa Dutra

**Gases de efeito estufa e atributos edáficos em sistemas de plantio direto e convencional de couve-flor**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Alan Carlos Batistão, Dr. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Cledimar Rogério Lourenzi, Dr. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Agroecossistemas.

---

Prof. Oscar José Rover, Dr. Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Arcângelo Loss, Dr. Orientador

Florianópolis, 2023.

*Dedido esse trabalho à minha família e aos meus amigos  
que estiveram comigo durante essa caminhada!*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, professor Arcângelo Loss, pelo aceite da orientação, pela confiança, atenção, disponibilidade e paciência ao longo desse período do mestrado, meu muito obrigada.

Ao meu co-orientador Denílson Dortzbach, pelo tempo, atenção e disponibilidade no decorrer desse trabalho.

À secretária do

Aos demais professores e colaboradores do Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, em especial ao Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia (NEPEA-SC).

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), em especial ao senhor Júlio Cesar Ramos e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) na pessoa do professor Cimélio Bayer, pela parceria institucional na condução do projeto.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pela concessão da bolsa durante o desenvolvimento do mestrado.

À secretária do programa de pós-graduação em Agroecossistemas, Fabiana Dassoler pela compreensão, disponibilidade, dedicação e atenção dispensada no período do mestrado.

Aos colegas e amigos do Agroecossistemas e agregados, Elelan, Clarissa, Paulo, Marina, Jorge Betancur, Adevan, Antonia, Adriel e Fernando, que se fizeram presentes tanto nos momentos de dificuldades como nos momentos de felicidade, obrigada por todo apoio, sem vocês essa caminhada teria sido bem mais difícil.

Aos meus pais, Hercília e Luiz Dutra, por serem minha base em todas as etapas da minha vida. Obrigada pela dedicação, pelo amor e pela compreensão, sem vocês nada disso seria possível.

Aos meus irmãos, Elizandra e Gustavo, pela amizade, apoio e carinho ao longo dessa caminhada.

Á todos o meu muito obrigado!

## RESUMO

O estado de Santa Catarina (SC) tem sua produção de hortaliças centralizada em propriedades com mão de obra baseada na agricultura familiar, e neste contexto a produção de couve-flor no estado corresponde a 8% do que é produzido em nível nacional. Dentre as técnicas de manejo do solo para esta cultura, tem-se que o sistema de preparo convencional (SPC) ainda é o mais utilizado, porém o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) vem se tornando uma alternativa e sendo utilizado pelos agricultores da região. Levando-se em consideração que o uso do solo no SPC e SPDH modificam de formas distintas os atributos edáficos, assim como emitem diferentes quantidades de gases de efeito estufa (GEEs), realizou-se um experimento em Angelina/SC, em propriedade rural com cultivo de couve-flor por mais de 11 anos, com objetivo de avaliar as emissões dos GEE e os atributos edáficos. Os tratamentos (SPDH e SPC) tiveram os mesmos tratos culturais, diferenciando-se apenas pelo sistema de manejo do solo. As emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) do solo foram avaliadas através do método das câmaras estáticas durante 70 dias, ao longo do cultivo da couve-flor entre novembro/21 e janeiro/22. Amostras indeformadas e deformadas de solo para determinação do diâmetro médio geométrico (DMG), densidade do solo (DS), porosidade total (PT), teores e estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-30 cm. O SPDH, onde se faz uso do consórcio entre mucuna, milho e aveia-preta para produção de massa seca, se mostrou mais eficiente quanto à melhoria dos atributos químicos e físicos do solo, ocorreu o aumento do DMG e a diminuição da DS (0-10 cm) relação ao SPC. Entretanto, o SPDH apresentou maior potencial de emissão de GEE, tanto para  $\text{CO}_2$  quanto para  $\text{N}_2\text{O}$ , o que pode ser devido aos maiores teores de C e N no solo, sendo 27,08 e 36,41% superior em relação ao SPC. Sendo assim, pode-se afirmar que com a maior capacidade de armazenar C e N no solo, de forma a reduzir a relação C/N se tem uma maior emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  para a atmosfera. O SPDH apresentou ainda os maiores estoques de C, após descontar o C equivalente das emissões dos GEEs. O SPDH apresentou as maiores emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  e de  $\text{CO}_2$ , e o SPC apresentou as menores emissões tanto diárias como acumuladas destes GEEs. Por fim, é possível afirmar que quando utilizado o SPDH como sistema de manejo do solo para a cultura da couve-flor a produtividade é superior ao encontrado no SPC.

**Palavras-chave:** Dióxido de carbono. Óxido nitroso. *Brassica oleracea* var. *botrytis*. Plantio Direto de Hortaliças. Plantas de cobertura.

## ABSTRACT

The state of Santa Catarina (SC) has its vegetable production centered on family farms, and in this context cauliflower production in the state corresponds to 8% of what is produced nationally. Among the soil management techniques for this crop, the conventional tillage system (SPC) is still the most widely used, but the no-till vegetable system (SPDH) is becoming an alternative and is being used by farmers in the region. Bearing in mind that the use of the soil in the SPC and SPDH modify the edaphic attributes in different ways, as well as emitting different amounts of greenhouse gases (GHGs), an experiment was carried out in Angelina/SC, on a rural property where cauliflower has been grown for more than 11 years, with the aim of evaluating GHG emissions and edaphic attributes. The treatments (SPDH and SPC) had the same crop treatments, differing only in the soil management system. Emissions of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) from the soil were assessed using the static chamber method during 70 days of cauliflower cultivation between November/21 and January/22. Undeformed and deformed soil samples to determine the geometric mean diameter (GMD), soil density (SD), total porosity (TP), total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) contents and stocks were collected from the 0-5, 5-10 and 10-30 cm layers. The SPDH, which uses a consortium of mucuna, millet and black oats to produce dry mass, proved to be more efficient in terms of improving the soil's chemical and physical attributes, with an increase in DMG and a decrease in DS (0-10 cm) compared to the SPC. However, the SPDH showed greater potential for GHG emissions, both for CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O, which may be due to the higher C and N content in the soil, being 27.08 and 36.41% higher than the SPC. Therefore, it can be said that with the greater capacity to store C and N in the soil, in order to reduce the C/N ratio, there is a greater emission of N<sub>2</sub>O into the atmosphere. The SPDH also had the highest C stocks, after discounting the C equivalent of GHG emissions. The SPDH had the highest emissions of N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub>, while the SPC had the lowest daily and accumulated emissions of these GHGs. Finally, it can be said that when SPDH is used as a soil management system for cauliflower, productivity is higher than that found in SPC.

**Keywords:** Carbon dioxide. Nitrous oxide. *Brassica oleracea* var. *botrytis*. No-tillage of Vegetables. Consortium of roofing plants.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização do município de Angelina no estado de Santa Catarina.....	34
<b>Figura 2</b> - Dados climáticos registrados ao longo do ciclo da couve-flor, safra de 2021/2022. ....	35
<b>Figura 3</b> - Área de implementação do experimento em Angelina/SC, lado esquerdo: SPC e lado direito: SPDH.....	37
<b>Figura 4</b> - Base de metal fixada no solo (A) e modelo de câmara estática que será utilizada no experimento para coleta dos gases de efeito estufa (B). ....	38
<b>Figura 5</b> - Médias de produtividade da couve-flor ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos tratamentos SPC e SPDH, na safra do ano 2021/2022. ....	46
<b>Figura 6</b> - Fluxos médios diários de $\text{N}_2\text{O}$ ( $\text{g N- N}_2\text{O ha}^{-1}$ dia) pelo solo nos tratamentos SPC e SPDH, aplicações de NPK na safra de couve-flor no ano de 2021/2022. ....	52
<b>Figura 7</b> - Emissões médias acumuladas de $\text{N}_2\text{O}$ ( $\text{g N- N}_2\text{O ha}^{-1}$ dia) pelo solo nos tratamentos SPC e SPDH, aplicações de NPK na safra de couve-flor no ano de 2021/2022. ....	53
<b>Figura 8</b> - Emissões médias acumuladas de $\text{N}_2\text{O}$ ( $\text{g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ dia) pelo solo, em cada ciclo de adubação nos tratamentos SPC e SPDH, aplicações de NPK na safra de couve-flor no ano de 2021/2022.....	54
<b>Figura 9</b> - Fluxos médios de $\text{CH}_4$ ( $\text{g C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ dia) pelo solo, nos tratamentos SPD e SPDH na safra de couve-flor na safra de 2021/2022.....	57
<b>Figura 10</b> - Emissões médias de $\text{CH}_4$ ( $\text{g C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ dia) pelo solo, nos tratamentos SPD e SPDH na safra de couve-flor na safra de 2021/2022.....	58
<b>Figura 11</b> - Emissões médias acumuladas de $\text{CH}_4$ ( $\text{g C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ ) pelo solo, em cada ciclo adubação tratamentos SPC SPDH, na safra de couve-flor no ano 2021/2022. ....	59
<b>Figura 12</b> - Fluxos médios de $\text{CO}_2$ ( $\text{Kg C-CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ dia) pelo solo, nos tratamentos SPC e SPDH na safra de couve-flor no ano 2021/2022.....	61
<b>Figura 13</b> - Emissões médias acumuladas de $\text{CO}_2$ ( $\text{kg C-CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ ) pelo solo, nos tratamentos SPC e SPDH, na safra de couve-flor no ano 2021/2022. ....	62

<b>Figura 14</b> - Temperatura do solo (°C) no SPC e no SPDH durante as coletas dos GEE.....	63
<b>Figura 15</b> - Emissões médias acumuladas de CO <sub>2</sub> (kg C-CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> ) pelo solo, em cada ciclo entre aplicação de adubação mineral nos tratamentos SPC e SPDH, na safra de couve-flor no ano de 2021/2022.....	64
<b>Figura 16:</b> Carbono equivalente para neutralizar a emissão acumulada de N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> ao longo do ciclo da couve-flor e estoques de carbono no solo em cada tratamento. ....	66

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Cronograma de coleta de GEE para a cultura da couve-flor de acordo com o manejo de adubação da cultura.....	39
<b>Tabela 2</b> - Teor de COT e seus estoques nas camadas do solo nos tratamentos SPC e SPDH, na safra de couve-flor no ano de 2021/2022.....	47
<b>Tabela 3</b> - Teor de NT e seus estoques em camadas do solo nos tratamentos T1-SPC e T2-SPDH, na safra de couve-flor no ano 2021/2022.....	48
<b>Tabela 4</b> - Diâmetro médio geométrico (DMG) e densidade do solo (DS) em função dos tratamentos SPDH e SPC, na safra de couve flor do ano de 2021/2022. ....	49
<b>Tabela 5</b> - Porosidade total do solo em função dos tratamentos SPC e SPDH, na safra de couve-flor nos anos de 2021/2022. ....	50
<b>Tabela 6</b> - Macroporosidade (MAP) e microporosidade (MIP) do solo em função dos tratamentos SPC e SPDH, na safra de couve-flor nos anos de 2021/2022. ....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COT	Carbono orgânico total
Cfa	Clima Subtropical mesotérmico úmido - Classificação de Köppen-Geiger
CV	Coefficiente de variação
CQFS	Comissão de Química e Fertilidade do Solo
DS	Densidade do solo
DMG	Diâmetro médio geométrico
DAT	Dias após o transplântio
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
GEE	Gases de efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)
LSD	<i>Least Significant Difference</i> (teste de diferença menos significativa)
MAP	Macroporosidade
MOS	Matéria orgânica do solo
MS	Matéria Seca
MIP	Microporosidade
NT	Nitrogênio total
PRNT	Poder relativo de neutralização total
PT	Porosidade total
PAG	Potencial de aquecimento global
pH	Potencial hidrogeniônico
C/N	Relação Carbono/Nitrogênio
RS	Rio Grande do Sul

SC	Santa Catarina
SPDH	Sistema de Plantio Direto de Hortaliças
SPC	Sistema de preparo convencional do solo
TE	Temperatura de equilíbrio
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

## LISTA DE SÍMBOLOS

H <sub>2</sub> O	Água
NH <sub>3</sub>	Amônia
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amônio
C	Carbono
cm	Centímetro(s)
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Centimol de carga por decímetro cúbico de solo
CFCs	Clorofluorocarboneto(s)
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
Ceq	Equivalente em Carbono
P	Fósforo
g	Gramas(s)
g ha <sup>-1</sup>	Gramas(s) por hectare
g kg <sup>-1</sup>	Gramas(s) por quilograma
°C	Grau(s) Celsius
ha	Hectare(s)
H	Hidrogênio
h	Hora
kPa	Kilopascal
Mg	Megagrama(s)
Mg ha <sup>-1</sup>	Megagrama(s) por hectare
CH <sub>4</sub>	Metano
m	Metro(s)
m <sup>2</sup>	Metro(s) quadrado(s)
mg	Miligramas(s)

mL	Mililitros
mm	Milímetro(s)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrito
N	Nitrogênio
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
O <sub>3</sub>	Ozônio
%	Porcentagem
K	Potássio
kg ha <sup>-1</sup>	Quilograma(s) por hectare
Σ	Somatório

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
2.1	Cultivo da couve-flor em Santa Catarina .....	17
2.2	Manejo do solo e uso de plantas de cobertura .....	18
2.3	Carbono, nitrogênio e os fluxos de GEE no solo .....	20
2.4	O potencial de aquecimento global (PAG) .....	21
2.5	Efeito estufa .....	22
<b>2.5.1</b>	<b>Os fluxos de gases de efeito estufa (GEE) na agricultura .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Os fluxos do óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) do solo nos processos agrícolas .</b>	<b>27</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Os fluxos do metano (CH<sub>4</sub>) do solo nos processos agrícolas.....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Os fluxos do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do solo nos processos agrícolas 31</b>	
<b>3</b>	<b>HIPÓTESES .....</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>33</b>
4.1	Geral.....	33
4.2	Específicos .....	33
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
5.1	Caracterização da área experimental.....	34
5.2	Montagem das estruturas para a coleta das amostras gasosas .....	37
5.3	Amostragem e análise de N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> do solo .....	39
5.4	Coletas e análises de amostras de solos .....	42
5.5	Potencial de aquecimento global.....	44
5.6	Análises estatísticas .....	45
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
6.1	Produtividade de couve-flor em SPC e SPDH.....	45
6.2	Teores e estoques de carbono e nitrogênio totais no solo .....	47
6.3	Diâmetro médio geométrico (DMG) e densidade do solo (DS) .....	49



6.4	Porosidade total, macroporosidade e microporosidade.....	50
6.5	Fluxo e emissão N <sub>2</sub> O no solo .....	51
6.6	Fluxo e emissão de CH <sub>4</sub> no solo .....	56
6.7	Fluxo e emissão de CO <sub>2</sub> no solo .....	61
6.8	Carbono equivalente para neutralizar as emissões de N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> ...	65
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>68</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A produção de hortaliças no estado de Santa Catarina é marcada pela produção em pequenas propriedades rurais com mão de obra baseada na agricultura familiar. Diante desse panorama, tem-se a produção de couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), sendo o estado responsável por cerca de 8% do total produzido a nível nacional, apresentando uma produção de 14 milhões de cabeças dessa hortaliça (EPAGRI, 2019).

O sistema predominante de cultivo para a couve-flor em Santa Catarina ainda é o sistema de preparo convencional (SPC) do solo, o qual tem como princípio básico a mobilização periódica do solo, considerando, dessa forma, a ocorrência de aração, gradagem, subsolagem, escarificação e uso de enxada rotativa (MAROUELLI et al., 2010). Entretanto, esse preparo compromete alguns atributos de qualidade do solo (FAYAD et al., 2019), visto que reduz tanto a estabilidade dos agregados, como também o conteúdo de nutrientes e os teores de matéria orgânica do solo (MOS), o que reflete na qualidade do solo e na produtividade das culturas (GIUMBELLI et al., 2020; BORTOLINI et al., 2021). Segundo esses autores, a redução dos teores de MOS compromete processos fundamentais no solo, os quais estão relacionados direta e indiretamente com a continuidade dos ciclos produtivos, a exemplo da agregação do solo, a dinâmica da água e da atividade biológica, bem como, a ciclagem e retenção de nutrientes.

Diante desse contexto, uma alternativa ao uso do SPC é a adoção do Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH), que vem sendo uma opção para a produção de hortaliças, com destaque para a região sul do país (FAYAD et al., 2019). O SPDH promove melhorias aos sistemas de cultivos em relação aos atributos biológicos, químicos e físicos do solo, bem como a produtividade das culturas, de forma a aumentar as interações no redesenho e estabilidade das culturas diante de estresses abióticos (MÜLLER JÚNIOR et al., 2019; GIUMBELLI et al., 2020). Além disso, com a implantação do SPDH é possível reduzir a dependência do uso de insumos externos nos sistemas produtivos, reduzindo os impactos ambientais provenientes de práticas convencionais de preparo do solo em áreas cultivadas (FAYAD et al., 2019).

No SPDH, a mobilização do solo fica restrita apenas às linhas de plantio, considerando, ainda, que são utilizadas plantas de cobertura, objetivando a produção de biomassa que, posteriormente, é mantida na superfície do solo (FAYAD et al.,

2019). Essa biomassa que permanece na superfície do solo atua na redução da erosão, aumenta a infiltração e a retenção de água no solo, proporcionando o acúmulo de MOS (FROUZ et al., 2009; LOSS et al., 2017).

Dessa forma, a dinâmica da decomposição dessa biomassa que permanece na superfície do solo influencia diretamente na emissão dos gases de efeito estufa (GEE), tendo em vista que os dois sistemas (SPC e SPDH) oportunizam duas situações bem distintas. No SPC, ao se iniciar o ciclo da couve-flor não se tem a presença de resíduos vegetais sobre o solo. Já nas áreas de SPDH, se tem a adição de resíduos orgânicos provenientes de origem animal e também a manutenção de resíduos das plantas de cobertura do solo, que tem a potencialidade de fornecer substrato para os processos microbiológicos que são responsáveis pela emissão dos GEE (JANTALIA et al. 2008; CARVALHO et al., 2015).

Ademais a isso, as emissões de GEE são afetadas com a implementação de ambos os sistemas, uma vez que fatores como densidade do solo e a percentagem da porosidade preenchida por água tem influência da dinâmica da fase gasosa do solo (JANTALIA et al., 2008). Sendo assim, a implementação do SPDH está associada a melhorias dos atributos edáficos, considerando o incremento de carbono e nitrogênio no solo, além de ter uma relação direta com a emissão de GEE.

Estudos realizados no Brasil e no mundo vêm buscando avaliar os impactos das práticas agrícolas nas emissões de GEE (JOHNSON et al., 2005; MÜLLER JÚNIOR et al., 2019; DORTZBACH et al., 2021). Porém, estudos que visam um comparativo entre os atributos edáficos e as emissões de GEE, considerando a produção de hortaliças em SPC e SPDH, ainda são incipientes (MÜLLER JÚNIOR et al., 2019). Dessa forma, o presente estudo visa contribuir para o entendimento das contribuições do SPDH na mitigação, tanto da produção como da emissão, de GEE pelo solo cultivado com a cultura da couve-flor, de forma a oportunizar a identificação do melhor manejo do solo, visando uma produção sustentável a curto e longo prazo para a cultura da couve-flor.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cultivo da couve-flor em Santa Catarina

A couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) é uma hortaliça pertencente à família das Brassicaceae, que compreende pelo menos 3.500 espécies que são agrupadas em 350 gêneros (RUEDA, 2013). Cultura essa, que tem expressão econômica principalmente nas regiões sudeste e sul do Brasil. A produção de couve-flor em Santa Catarina se estende por todo o estado, entretanto a produção se destaca na região da Grande Florianópolis (EPAGRI, 2019).

As condições de temperatura que oportunizam condições adequadas para o cultivo de couve-flor, são temperaturas entre 7 e 22°C, conforme descrito por Makishima (1993). Existindo, ainda, cultivares e híbridos que tem resistência e apresentam bom desenvolvimento em temperaturas de até 28°C (HASEGAWA, 2016), o que estende a amplitude de cultivo a regiões mais quentes.

A cultura não apresenta resistência à geada típica de outono-inverno, de forma a exigir temperaturas amenas para que se tenha a passagem do estado vegetativo para o reprodutivo, sendo os avanços no melhoramento genético, o que possibilita seu cultivo durante todo o ano nas regiões produtoras da cultura (MAY et al., 2007).

A produção que ocorre em sistemas convencionais de cultivo, como o SPC, não atende questões de sustentabilidade ambiental, que é uma necessidade eminente de se repensar, causando consequência diretas no desequilíbrio dos solos, perda de biodiversidade, ocorrência de fitotoxidez por nutrientes e susceptibilidade a insetos e doenças (SARANDÓN, 2009). Tendo em vista que esse sistema tem como metodologia principal o revolvimento do solo e a utilização de monoculturas.

Contudo, o SPDH vem se tornando importante opção para a redução dos impactos ambientais provenientes das práticas convencionais de preparo do solo em áreas cultivadas (FAYAD et al., 2019). E se torna uma alternativa em crescente utilização para a cultura da couve-flor, uma vez que proporciona um escalonamento diversificado de culturas em uma mesma área, bem como preconiza o cultivo de plantas de cobertura (seja solteiras ou em consórcios) de forma a elevar a produção de matéria seca e o incremento de MOS e nutrientes no solo (MÜLLER JÚNIOR et al., 2019). Ademais a isso, pelo revolvimento do solo ser restrito apenas à linha de plantio,

tem-se melhorias nas características físicas, químicas e biológicas do solo, de forma a oportunizar um solo bem estruturado e com potencial para atingir altas produtividades ao longo do tempo.

## 2.2 Manejo do solo e uso de plantas de cobertura

O manejo do solo abrange desde os tratos culturais até a colheita das culturas, de forma a interferir na erosão dos solos, na ocorrência de plantas espontâneas, na construção da fertilidade dos solos, no incremento de matéria orgânica e também na disponibilidade de água (SCOPEL et al., 2013; ROBACER et al., 2016). Além disso, o manejo adotado em um solo tem relação direta com o sistema implementado na área, uma vez que este é afetado por diversas características físicas, químicas e biológicas do solo, bem como das espécies a serem cultivadas (ZALAMENA, 2012).

Dessa forma, a utilização de plantas de cobertura no solo tem como premissa a melhoria da saúde deste solo, de forma a potencializar os atributos físicos, químicos e biológicos. Uma vez que com o uso dessas espécies vegetais se tem maior ciclagem de nutrientes, maior fixação biológica de nitrogênio, possibilita o aumento dos teores de matéria orgânica e auxilia na redução da erosão dos solos (WUTKE et al. 2014).

A cobertura do solo é a presença de resíduos de culturas ou de plantas vivas sobre o solo, que proporcionam a redução ou mesmo a supressão do desenvolvimento de plantas espontâneas (SCOPEL et al., 2013; ROBACER et al., 2016). O uso dessas plantas pode variar considerando as necessidades do solo e as culturas a serem implementadas, e devem ser escolhidas de acordo com essas. Essa utilização pode ser tanto na linha de plantio, na entrelinha ou mesmo em ambas.

Considerando essa gama de possibilidades, plantas de espécies gramíneas e de leguminosas predominam nestes manejos, sendo possível a realização de consórcios que comportem plantas dessas duas espécies (BRUNETTO et al., 2016). As gramíneas são plantas que apresentam maior relação C/N, interferindo na decomposição dos resíduos destas sobre o solo, uma vez que é mais lenta que quando comparada com as plantas leguminosas. Além disso, apresentam liberação lenta de nutrientes, o que oportuniza a permanência dos resíduos na superfície do solo por mais tempo, de forma a garantir a proteção destes também por mais tempo.

O consórcio entre gramíneas e leguminosas é uma estratégia para que se tenha melhor aproveitamento de nutrientes pelas plantas, uma vez que a relação C/N

obtida no consórcio será intermediária, ou seja, aquela que é apontada no tecido das plantas cultivadas isoladamente e a decomposição e liberação dos nutrientes será de forma mais gradual, diferindo do uso isolado das espécies (GIACOMINI, 2001).

As leguminosas por sua vez, tem como principal fator um elevado teor de N em seus tecidos, ocasionando uma menor relação C/N, oportunizando que a sua decomposição e liberação de nutrientes para o solo seja mais rápida após as práticas de manejo, de forma a reduzir o sincronismo entre a liberação e a absorção de nutrientes pela planta, e esse fator pode estimular a perda de nutrientes, principalmente, aqueles que possuem baixa energia de adsorção na fração coloidal do solo, como o  $N-NO_3$  (FERREIRA et al., 2014). Além disso, essas espécies apresentam rápida decomposição, o que confere a diminuição de cobertura do solo, de forma a deixá-lo exposto por um período de tempo maior do que comparado com plantas gramíneas.

O uso de plantas de cobertura é uma alternativa a utilização de herbicidas para o eminente controle de plantas espontâneas, visto que dependendo da espécie da planta de cobertura, essa pode exercer o controle dessas. Isso porque proporciona liberação de compostos alelopáticos, pelo efeito físico da palhada associado à ativação dos mecanismos de dormência ou mesmo em decorrência da formação de barreira física impedindo a sobrevivência das sementes germinadas na superfície do solo (GOMES JUNIOR & CHRISTOFFOLETI, 2008).

Após a implementação de um sistema utilizando plantas de cobertura, é preciso que as sementes das mesmas permaneçam no solo para o ano seguinte, possibilitando que elas germinem e emerjam, evitando assim a necessidade de etapas mecanizadas e também de aquisição de sementes, o que aumenta o custo de produção. O manejo por meio da realização da dessecação das plantas espontâneas é utilizado principalmente nas linhas de plantio, e em alguns casos pode ser feito nas entrelinhas (GOMES et al., 2005). Porém, na maioria das vezes as plantas nas entrelinhas não são dessecadas, sendo que o manejo adotado nesses casos geralmente é a utilização de roçadas mecânicas.

A permanência das plantas nas entrelinhas permite maior proteção da superfície do solo, condizente a uma cobertura permanente que assegura menor impacto de diversas ocorrências (ZALAMENA, 2012).

Como por exemplo, do impacto das gotas da chuva, na diminuição de transferência de partículas de solo por escoamento superficial e, dessa forma,

favorecendo a infiltração de água no perfil do solo em virtude da manutenção da macroporosidade, além de permitir a ciclagem de nutrientes (LOSS et al., 2015).

### 2.3 Carbono, nitrogênio e os fluxos de GEE no solo

Quando se aborda o carbono (C) e nitrogênio (N) presentes na biomassa de uma cultura de referência, é necessário apresentar a relação/razão entre ambos (relação C/N), sendo que essa tem ligação com a decomposição e também com a mineralização (GIACOMINI et al., 2003).

Considerando que plantas de cobertura que apresentam uma relação C/N alta (superior a 30), a tendência é que se tenha um maior consumo de N e, por consequência disso, maior imobilização do mesmo no solo. Algo que não ocorre caso a relação C/N seja baixa (menor que 20), ocorrendo dessa forma a mineralização. A relação C/N mais interessante para as plantas adicionadas como cobertura do solo são aquelas que se situam entre 20 e 30, obtendo um equilíbrio entre a ocorrência de imobilização e mineralização (CAS, 2009).

O carbono é um componente chave da MOS e, parte dele está presente na MOS em suas frações lábeis, de forma a alterar a estruturação e a fertilidade solo, assim como da capacidade de retenção do carbono atmosférico e seu armazenamento no solo (GIUMBELLI et al., 2021). A MOS é a principal fonte de nitrogênio (N) orgânico para o solo, e funciona como estoque desse elemento, exigido em grande quantidade pela maioria das culturas, tornam-no o nutriente mais limitante ao desenvolvimento das plantas (BORTOLON et al., 2009; BRUNETTO et al., 2014).

A produção de grãos e cereais apresenta relevância na emissão de GEE nos solos agrícolas. Bayer et al. (2014) em um estudo com o objetivo de avaliar os efeitos a longo prazo, de diferentes sistemas de cultivo, nas emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O do solo na produção de arroz, encontraram uma redução de 21% nas emissões de CH<sub>4</sub> no SPD (utilizando resíduos da cultura de inverno) em comparação com o SPC.

Em relação aos estoques e teores de C e N, Bayer et al. (2011) evidenciaram que o preparo do solo e sistema de cultura interferem diretamente no estoque de C, considerando ainda que em casos de implementação de plantio direto ou a mínima mobilização no cultivo mínimo oportunizam a estabilização de C no solo.

Quando o objetivo é aumentar o acúmulo de carbono, preferencialmente em sistema de plantio direto, se prioriza a utilização de rotação de culturas, culturas de



cobertura na entressafra, fertilização adequada, melhoria da qualidade química do solo, utilização de sistemas de irrigação e incremento das doses de N (Stewart et al., 2007).

Estudos com a cultura do milho, considerando dois sistemas de manejo (SPC e SPD), onde o objetivo do trabalho foi a recuperação de estoques de carbono e nitrogênio total do solo para conseqüentemente se ter aumento no rendimento da cultura do milho. Neste contexto foi possível observar a ocorrência de da recuperação destes estoques quando utilizado o SPD para manejo do solo, indicando dessa forma que a não realização do revolvimento do solo é uma prática fundamental para a recuperação de solos degradados na região Sul do Brasil (LOVATO et al., 2004).

Em outro estudo com as culturas do trigo e da soja, onde o objetivo foi a avaliação do estoque de carbono em diferentes sistemas de preparo do solo, SPC e SPD, também foi possível observar que o maior índice de C foi observado no SPD, de forma a condizer a melhora qualitativa de armazenamento de C no solo, conforme apontado no estudo, além disso é evidenciado que a inclusão de plantas de cobertura também é uma estratégia viável para o sequestro de CO<sub>2</sub> atmosférico (CAMPOS et al., 2011).

O sequestro de carbono em solos com cultivos agrícolas é uma opção de baixo custo para a mitigação das mudanças climáticas globais. Segundo Nicoloso (2009), o plantio direto, em associação com boas práticas agronômicas, tem potencial para compensar até 15% das emissões antrópicas de CO<sub>2</sub> ao armazenar o C drenado da atmosfera na forma de carbono orgânico do solo.

Ademais a isso, em outra pesquisa com o uso do plantio direto como sistema para manejo do solo, onde se teve a inclusão de leguminosas e adubos verde na rotação de cultura, foi possível observar que houve um balanço positivo de N no sistema, de forma a salientar um aumento de estoque de C no perfil do solo (URQUIAGA et al., 2010).

#### 2.4 O potencial de aquecimento global (PAG)

O potencial de aquecimento global (PAG) é uma medida que objetiva a determinação da quantidade que cada GEE contribui para a ocorrência do aquecimento global em relação ao CO<sub>2</sub>, que permite que se realize um comparativo

do impacto de diferentes GEE afim de padroniza-los em uma unidade, CO<sub>2</sub> equivalente (PANDEY; AGRAWAL; PANDEY, 2011). Ademais, a avaliação do PAG é importante para os sistemas conservacionistas de produção agrícola, como por exemplo o sistema que é um dos objetos de estudo deste trabalho, o SPDH, sistema esse que tende a armazenar mais C e N pelo seu grande aporte de material orgânico acumulado na superfície, além de contribuir positivamente nas características físicas, químicas e biológicas do solo (GIUMBELLI et al., 2021), concretizando uma pegada de carbono positiva.

Por outro lado, quando há cultivo intensivo do solo, com sistemas convencionais de preparo, a exemplo do SPC que faz uso intensivo de mecanização e queimadas, o solo torna-se emissor de C e N, contribuindo com o aumento do efeito estufa (VELOSO et al., 2018; ZANATTA et al., 2019).

Em situações de cultivo em consórcio e em monocultivos para pepino, tomate e alface, Pereira et al. (2021) observaram que a pegada de carbono da produção de um quilograma destas hortaliças em condições de rotação de cultura é um quinto do montante total encontrado, 0,105 kg CO<sub>2</sub> eq kg<sup>-1</sup>, quando avaliado nos monocultivos, 0,516 kg CO<sub>2</sub> eq kg<sup>-1</sup>. E essa diferença se deve a maior eficiência do uso da área cultivada e da diversificação vegetal.

Segundo estudo da Embrapa Hortaliças (2018), o sistema plantio direto acumula, em média por hectare de lavoura, cinco toneladas a mais de carbono no solo que o sistema convencional, sendo essa uma diferença significativa quando se aborda a redução das emissões atmosféricas de GEE. Em um experimento com duração de seis anos, os pesquisadores da Embrapa Hortaliças (2018) encontraram que para o SPDH a quantidade acumulada de carbono por hectare foi de 62 toneladas e para o SPC de 60 toneladas por hectare.

## 2.5 EFEITO ESTUFA

O efeito estufa é pauta da maioria dos eventos sobre a temática de mudanças climáticas que ocorreram e que estão previstos na agenda científica a nível mundial para o século XXI. Sendo o efeito estufa um fenômeno natural responsável pela manutenção da vida no planeta Terra (ALMEIDA, 2019; IPCC, 2018). Entretanto, este fenômeno é potencialmente influenciado pelo fator antropogênico, quando se considera os efeitos das atividades industriais, do meio urbano de forma geral e,

também, das atividades agropecuárias. Sendo assim, faz-se necessário o entendimento desse fenômeno natural, com a finalidade de mitigar as mudanças antrópicas (IPCC, 2014; JUNGES et al., 2018; IPCC, 2022).

Como existem muitas definições errôneas deste fenômeno que circulam no meio não científico, Junges et al. (2018) realizaram uma abordagem na qual apontam definições do termo efeito estufa e de cada processo físico necessário que constitui a ocorrência do mesmo. Entretanto, dentro dos processos físicos, o que se faz objeto do estudo do presente trabalho é o entendimento do óxido nitroso, dióxido de carbono e metano, considerando a ocorrência destes no efeito estufa.

Além disso, são necessárias algumas definições e reafirmações, em que é preciso mencionar sobre energia, a qual o Sol é a principal fonte do planeta Terra, sendo que essa energia é emitida no decorrer de ondas eletromagnéticas por essa estrela e, essas, se deslocam pelo vácuo do espaço para a Terra, de maneira com que o fluxo de energia solar que chega ao planeta dependa diretamente de fatores, como a luminosidade do Sol e, também, da distância deste até a Terra (GOODY & WALKER, 1996).

O planeta Terra recebe energia do Sol, que é apontada como luz visível, e reemite a mesma em forma de radiação infravermelha para o espaço, pois na ausência desse processo, o planeta se tornaria cada vez mais quente. E, por consequência disso, tem-se uma temperatura de equilíbrio ( $T_e$ ), que está associada com a taxa de energia absorvida, sendo igual a taxa de energia emitida (PIERREHUMBERT, 2004).

A temperatura de equilíbrio para o planeta deveria ser de 255 K ( $-18^{\circ}\text{C}$ ), entretanto, se essa temperatura média realmente fosse a apontada, impossibilitaria a existência de vida na Terra (JUNGES et al., 2018). Todavia, sabe-se que a temperatura média da superfície terrestre é de 288K ( $15^{\circ}\text{C}$ ). Isso porque a atmosfera terrestre é constituída de gases que são “transparentes” à radiação solar e absorvem grande parte da radiação infravermelho, que é emitida pela superfície aquecida da Terra. Processo esse, denominado de efeito estufa (XAVIER; KERR, 2004).

As moléculas de vapor d’água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), CFCs e ozônio ( $\text{O}_3$ ) absorvem radiação eletromagnética (FROUZ et al., 2009). Levando-se em consideração que estas moléculas apresentam uma eficiência de absorção menor para a radiação de ondas curtas (luz solar) do que

para a radiação de ondas longas (infravermelha), em que esses gases atmosféricos são aquecidos de forma a reter parte da energia infravermelha que é emitida pelo planeta Terra, isso ocasiona a elevação em 33°C da temperatura média do planeta, oportunizando, condições climáticas essenciais ao desenvolvimento da biosfera terrestre (JUNGES et al., 2018).

Dessa forma, é possível afirmar que o efeito estufa é responsável pelo aumento da temperatura média da Terra, sem interferir na temperatura de equilíbrio, devido ao “balanço de energia da Terra”, que é o principal mecanismo a ser considerado quando se trata da temperatura do planeta, uma vez que ele ocorre, levando-se em consideração a energia absorvida, proveniente do Sol, e a energia emitida pelo planeta de volta ao espaço (JUNGES et al., 2018).

Na ocorrência de um desequilíbrio no balanço da energia da Terra (a longo prazo), haverá um aumento ou decréscimo da temperatura no planeta (FROUZ et al., 2009). Levando em conta que, quando se emite mais energia que se recebe, a tendência é que se tenha redução na temperatura e, quando recebe mais energia que emite, a tendência é o aquecimento (PIERREHUMBERT, 2004).

É possível se alterar o balanço de energia do planeta Terra de três formas distintas: alterando a radiação solar que chega na Terra (para isso é necessário uma mudança na órbita do planeta ou mesmo mudanças na própria intensidade de radiação solar); mudando o albedo da Terra (que se refere a alterações na cobertura das nuvens, emissões de partículas de aerossóis e também de mudanças na cobertura do solo como as situações que temos pleno conhecimento: desmatamento e urbanização); e, também, pela mudança na radiação infravermelha emitida pelo planeta para o espaço (o que envolve mudanças nas concentrações dos gases de efeito estufa) (JUNGES et al., 2018; MONTEIRO et al., 2021; XAVIER; KERR, 2004).

Um aumento na concentração de GEE na atmosfera terrestre dificulta a saída da energia que é emitida pela Terra. Em suma, o aquecimento global é uma resposta do sistema terrestre para reestabelecer o seu balanço de energia próximo ao topo da atmosfera (NIEBERT; GROPENGIESSER, 2014).

Fatores históricos, como a Revolução Industrial, acarretaram em um crescimento constante na demanda energética, em que se teve o aumento do consumo e produção de energia elétrica, gerando a queima de combustíveis fósseis (considerando os sistemas de transportes adotados neste período) (MCTI, 2013). Somado a isso, o uso de combustíveis fósseis são responsáveis pela emissão de

dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e outros compostos orgânicos que, em contato com a troposfera, se tornam suscetíveis a reações fotoquímicas contribuindo para o aumento das concentrações de ozônio (XAVIER; KERR, 2004).

O vapor d'água é o principal responsável pelo efeito estufa no planeta (JUNGES et al., 2018), sendo que 50% do efeito é causado pelo vapor que está presente na atmosfera e 25% deste pode estar representado pelas nuvens. Considerando os 25% restantes, pelo menos 20% condizem ao  $\text{CO}_2$  presente na atmosfera e 5% fazem referência aos demais gases. O vapor d'água condensa quando atinge uma certa concentração e dada temperatura, resultando na formação de nuvens. Enquanto os demais GEE não são condensáveis, sendo o aumento de suas concentrações responsáveis pelo aumento da temperatura média da atmosfera.

Os gases de maior importância, quando se trata dos GEE são o dióxido de carbono, metano e o óxido nítrico, que são vistos como gases de longa vida, além de serem quimicamente estáveis e, em virtude disso, podem permanecer na atmosfera por décadas ou mesmo em alguns casos por séculos (ESCOBAR et al., 2010), gerando assim, um comportamento cumulativo ao longo dos anos.

Como consequência desse aumento na emissão e desse efeito cumulativo, tem-se que as concentrações destes três GEE na atmosfera terrestre vêm apresentando aumento desde 1750 (considerando ainda o período pré-industrial) (JUNGES et al., 2018).

### **2.5.1 Os fluxos de gases de efeito estufa (GEE) na agricultura**

Os principais GEE ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e o  $\text{N}_2\text{O}$ ) fazem parte dos ciclos agrícolas, sendo que, em nível mundial a agricultura contribui com aproximadamente 22% das emissões totais de  $\text{CO}_2$ , 55% das emissões de  $\text{CH}_4$  e 80% das emissões  $\text{N}_2\text{O}$  (Bayer et al., 2011). Entretanto, quando esses dados são apresentados em termos somente de Brasil, as porcentagens correspondentes as atividades agrícolas apresentam valores muito superiores à média mundial, sendo 75% das emissões totais de  $\text{CO}_2$ , 94% das emissões de  $\text{CH}_4$  e 91% das emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  (EMBRAPA, 2006).

Essas elevadas emissões de GEE relacionadas ao setor agropecuário nacional contradizem a sustentabilidade do setor. Dentre os GEE, o dióxido de

carbono é o mais consumido nos sistemas agrícolas, levando-se em conta a sua importância no processo de fotossíntese, em que o mesmo é retirado da atmosfera pelas plantas, possibilitando a produção de alimentos, fibras e energia (ESCOBAR et al., 2010).

Em situações isoladas, o dióxido de carbono é devolvido à atmosfera no momento de consumo ou quando se tem a decomposição dos materiais vegetais. Entretanto, a maior parte do CO<sub>2</sub> emitido pelos processos agrícolas tem origem na queima dos combustíveis por meio dos maquinários agrícolas (SNYDER et al., 2009).

Em relação aos fluxos de metano nos sistemas de produção focados na agroindústria, estes são principalmente atribuídos às atividades pecuárias (SNYDER et al., 2009). Essas emissões são provenientes da utilização do esterco como um fertilizante ou até mesmo pela fermentação entérica e pela deposição de excretas dos animais em pastagens (PAULA; PESSOA; ABRÃO, 2019).

O principal GEE para a agricultura é o óxido nitroso, o qual é emitido, principalmente, pelo solo e pelos insumos à base de nitrogênio (N), que são utilizados de forma convencional nos sistemas de cultivo. Embora, em um cenário geral, o N<sub>2</sub>O represente uma pequena parte dos GEE, o setor agrário é considerado o seu principal emissor (SNYDER et al., 2009). Diante disso, Dortzbach et al. (2021) apontam que mediante as preocupações relacionadas ao aquecimento global e ao decorrente aumento das concentrações atmosféricas dos GEE, é necessário que se realize a quantificação desses GEE por setor agrícola e atividades agropecuárias. Considerando que qualquer modificação do uso do solo ou manejo possibilita a ocorrência de mudanças nos estoques de carbono do solo, tais ações podem incidir tanto na emissão como na remoção do GEE (Six et al., 2002; Lal, 2004).

Do montante de emissões de GEE em Santa Catarina, 36% das estimativas totais destas emissões são provenientes do setor agropecuário do estado (SEEG, 2021). Práticas agrícolas, como o sistema de plantio direto fazendo o uso de plantas de cobertura e manutenção constante da palhada sobre o solo, possibilita que o processo de queima de biomassa proveniente da agricultura seja pouco representativo, quando se trata da emissão dos GEE, correspondendo a 0,2% do total de emissões de GEE no estado de SC (DORTZBACH et al., 2021).

Em relação à manutenção da palhada sobre o solo, Vasconcelos et al. (2022) avaliaram que para neutralizar as emissões de GEE provenientes da decomposição do solo e da palhada para a cultura da cana-de-açúcar são necessárias 3,5 Mg ha<sup>-1</sup>

de palha. Entretanto, conforme apontado no estudo para se ter uma boa cobertura do solo, de forma a não apenas neutralizar essas emissões e também compensar as perdas nos estoques de C solo, seria preciso 6 Mg ha<sup>-1</sup> de palhada, oportunizando o aumento da produção de bioenergia.

### 2.5.2 Os fluxos do óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) do solo nos processos agrícolas

O N<sub>2</sub>O é o principal GEE, sendo que esse possui um potencial de aquecimento global (PAG) cerca de 300 vezes maior do que o do CO<sub>2</sub>, além disso, seu tempo de vida na atmosfera é superior a 120 anos (ALMEIDA et al., 2015). A atividade agrícola é apontada como a maior fonte de N<sub>2</sub>O à atmosfera (IPCC, 2007), sendo que as regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste, são as que mais contribuem para essas emissões, correspondendo a 72% de toda emissão em termos de país deste gás.

Tanto a produção como a emissão de óxido nitroso por meio das ações e atividades humanas podem ocorrer por três formas: queima de combustíveis fósseis, implemento de alguns sistemas de tratamentos de efluentes e uso de fertilizantes nitrogenados em sistemas de cultivos no solo. As atividades agrícolas, em nível mundial, contribuem entre 65 a 80% de todo N<sub>2</sub>O emitido para a atmosfera, que provém basicamente do nitrogênio presente nos fertilizantes, como citado anteriormente (FORSTER et al., 2005). Sendo que, a maior parte de óxido nitroso emitido pelo solo é decorrente de dois processos biológicos que são componentes do ciclo biogeoquímico do nitrogênio, sendo eles a nitrificação e desnitrificação (ZUMFT; KRONECK, 2006). Considera-se também que esses processos raramente ocorrem de maneira isolada, podendo, dessa forma, ocorrer a transferência de óxido nitroso ou de produtos intermediários de um processo para o outro, dependendo das condições ambientais predominantes, da estrutura da comunidade microbiana e da localização dentro da matriz do solo (ESCOBAR et al., 2010).

A nitrificação é um processo de oxidação aeróbica do amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) a nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) ou nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), e é realizada por bactérias quimioautotróficas (ALMEIDA et al., 2015). Essas bactérias oxidadoras de amônio (*Nitrossomonas sp.* e *Nitrosospira sp.*) oxidam amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) a nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). A partir do NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, as oxidadoras de nitrito (*Nitrobacter sp.*) convertem o nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) a nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (BORTOLI et al., 2012).

A redução do nitrato à amônia ocorre por meio da ação das bactérias fermentativas, que são capazes de reduzir o nitrito a óxido nitroso (ou amônio),

processo esse que é favorecido em situações em que se tem a limitação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Embora sejam capazes de reduzir nitrito a óxido nitroso, essas bactérias não são capazes de reduzir  $\text{N}_2\text{O}$  a  $\text{N}_2$  (ALMEIDA et al., 2015).

Condizente ao processo de desnitrificação, tem-se a transformação do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) na ausência de oxigênio, pela ação de bactérias anaeróbicas facultativas, as quais representam de 0,1 a 5% da população total de bactérias no solo (PIMENTEL, 2014).

Solos que apresentam altos teores de matéria orgânica aliados a condições de umidade que dificultam a difusão de  $\text{O}_2$  no solo e favoreçam a formação de ambientes anaeróbicos, proporcionam condições ideais para a ocorrência do processo de desnitrificação. A magnitude da volatilização de amônia também determina a disponibilidade de nitrogênio para a nitrificação ou desnitrificação. Desta forma, a desnitrificação é menor quando as perdas de  $\text{NH}_3^+$  são altas, tanto em solos aerados como alagados (ESCOBAR et al., 2010).

Em estudo realizado por Pereira et al. (2021) considerando emissões de óxido nitroso, tem-se que os sistemas integrados de cultivo oportunizam redução das perdas de  $\text{N}_2\text{O}$  para atmosfera, sendo um manejo a ser apontado para a redução de emissão deste gás nas atividades agrícolas. Demonstrando que a ausência da rotação de culturas aumenta os fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$ , devido a influência exercida pelo clima e pelo solo.

A utilização de biocarvão, tem potencial para reduzir a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  de solos agrícolas e para se obter aumento nos estoques de C do solo, preferencialmente em regiões de clima tropical. Visto que, com a aplicação de biocarvão, considerando alta adição do mesmo,  $25 \text{ Mg ha}^{-1}$ , não observaram aumento na produção de óxido nitroso do solo mesmo em condições de aumento de temperatura. Sendo assim, a utilização de biocarvão, segundo os resultados encontrados pelos autores é uma forma de reduzir a mitigação de  $\text{N}_2\text{O}$  em altas temperaturas (RITTIL et al, 2021).

Em estudo realizado por Santos (2013), avaliando as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  em áreas com cultivos de beterraba e de alface, submetidas as aplicações de adubação nitrogenada, com a aplicação de esterco bovino acrescido de esterco de aves, apresentou menores perdas de N pelas emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ . Muller Junior et al. (2019), ao avaliarem as emissões de óxido nitroso em áreas com cultivos de plantas de cobertura em SPDH, observaram que a adição de resíduos de nabo forrageiro favoreceu picos mais intensos de  $\text{N}_2\text{O}$  durante o ciclo da cultura da cebola,



principalmente na ocorrência de deposição de dejetos de aves quando comparado com os resíduos de aveia preta, que não apresentou incremento nas emissões deste gás.

Avaliando as emissões de óxido nitroso em área de cultivo com a cultura da cebola, observou as maiores emissões de  $N_2O$  no sistema de plantio direto de hortaliças em comparação com o sistema de preparo convencional e de plantio direto, e isso tem relação com a adição de resíduos culturais sobre a superfície do solo com menor relação C/N (milheto, mucuna e girassol), visto que nos demais sistemas de preparo do solo não se tem o consórcio dessas plantas de cobertura, levando em consideração ainda que essa palhada proporciona altos teores de C e N no solo, justificando as maiores emissões (CÂMARA, 2022).

### **2.5.3 Os fluxos do metano ( $CH_4$ ) do solo nos processos agrícolas**

O  $CH_4$  é o segundo gás de maior importância quando se trata de efeito estufa no cenário agrícola. Sendo seu potencial pelo menos 21 vezes maior do que o  $CO_2$ , isso porque as moléculas de  $CH_4$  absorvem facilmente uma fração significativa de luz infravermelha térmica, além de que seu tempo de “vida” na atmosfera pode chegar a 12 anos (IPCC, 2014).

Os principais processos agrícolas responsáveis pelas emissões de  $CH_4$  são resultantes da queima de biomassa, cultivos em áreas alagadas, disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários, criação de ruminantes e uso de combustíveis fósseis (exploração e queima de petróleo e gás natural) (TEIXEIRA et al., 2009).

O cultivo de arroz irrigado por inundação é a principal fonte de emissão de  $CH_4$  para atmosfera entre os usos agrícolas. O solo exerce uma função importante no fluxo de  $CH_4$ , podendo se apresentar como fonte ou dreno desse gás em função da comunidade bacteriana presente que se comporta de acordo com as condições ambientais (CERRI et al., 2010).

Nos solos, o  $CH_4$  é formado pela quebra microbiana de compostos orgânicos e redução de  $CO_2$  em ambientes anaeróbicos, pelo processo conhecido como metanogênese, realizado pelas bactérias metanogênicas (MOSIER et al., 2004). Sendo assim, as condições de anaerobiose resultam na produção de  $CH_4$  como produto final da decomposição de compostos orgânicos pelas bactérias metanogênicas (BESEN et al., 2018). No entanto, a ocorrência da emissão de  $CH_4$

pelo solo não é limitada há ambientes totalmente anaeróbio (como ocorrem nas lavouras de arroz), sendo observada a existência de pequenos sítios anaeróbios, como espaços livres entre os agregados, que pode ser suficiente para proporcionar a emissão desse gás (BESEN et al., 2018; GLATZEL; STAHR, 2001).

Referente a emissão de CH<sub>4</sub> em pastagens no cerrado brasileiro, Oliveira et al. (2021) concluíram que cupinzeiros (que são encontrados principalmente em condições de solos degradados) são os principais responsáveis pela emissão de CH<sub>4</sub> em porcentagens superiores (3%) aquelas encontradas no cultivo de arroz irrigado (1%) e na queima de resíduos (2%). Batista et al. (2015) avaliaram a emissão de metano em cultivo de arroz irrigado, e verificaram que a emissão de CH<sub>4</sub> durante os estágios de desenvolvimento da cultura apresentou, para duas cultivares analisadas, pico de emissão quando se tem a floração. Sendo que o cultivo de arroz irrigado, representa 19% das emissões totais em nível mundial de metano (LIMA et al., 2013). Neste contexto, o estudo de Costa (2008), também com arroz irrigado e realizando uma comparação entre o SPD e o SPC, concluiu que o fluxo de CH<sub>4</sub> é superior no SPC, nos períodos de pós-inundação do solo do 22º dia ao 98º dia, em ciclo de 105 dias.

Para a cultura da cebola, avaliando a emissão de CH<sub>4</sub> em comparativo entre SPDH, SPD e SPC, levando em conta as diferenças entre os sistemas de preparo do solo e os acréscimos que o SPDH e o SPD oportunizam ao solo, constatou que ao longo do ciclo produtivo não se teve emissões acumuladas de CH<sub>4</sub>, e isso está relacionado também a não ocorrência de problemas de drenagem na área de condução do experimento, entretanto os maiores fluxos de emissão de CH<sub>4</sub> foram encontrados no SPC (CÂMARA, 2022).

Em pesquisa considerando culturas olerícolas, sendo elas tomate, alface e pepino em duas condições de manejo (uma com consórcio de culturas e outra com monocultivo), Pereira et al. (2021) constatou que a emissão de metano foi menor quando realizado o consórcio das culturas pepino/alface seguido de tomate/alface, em comparação a área que apresentava as culturas em monocultivo.

#### 2.5.4 Os fluxos do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do solo nos processos agrícolas

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é apontado como o GEE antropogênico mais importante, considerando a grande quantidade que é emitida, principalmente devido as atividades industriais e de transportes, com associação a queima de combustíveis fósseis e de florestas. Outra forma de perda significativa é por meio da mineralização da matéria orgânica do solo provocada pelas alterações no uso do solo (IPCC, 2014).

No solo, a produção de CO<sub>2</sub> que é emitido para a atmosfera está diretamente relacionada a processos biológicos, como a respiração de organismos e sistemas radiculares das plantas e os processos fisiológicos dos microrganismos envolvidos na decomposição de resíduos orgânicos (CARVALHO et al., 2010). Alguns fatores, como temperatura, umidade, disponibilidade de nitrogênio e pH do solo podem também influenciar na taxa de emissão de CO<sub>2</sub> (BESEN et al., 2018). É importante ressaltar que a temperatura do solo influencia diretamente na velocidade de decomposição da matéria orgânica, na atividade microbiana e na respiração dos sistemas radiculares das plantas, considerando que o aumento da temperatura do solo eleva a taxa de respiração do mesmo (FANG; MONCRIEFF, 2001).

Em situações onde a umidade do solo é alta, a tendência é que se tenha atividade microbiana elevada, de forma a promover maior mineralização de carbono e de nitrogênio, ocasionando um aumento na produção e na emissão de CO<sub>2</sub> do solo. Porém, em casos em que a falta de água no solo seja o cenário principal, a atividade microbiana será também limitada, resultando em baixos fluxos de CO<sub>2</sub>, considerando um solo seco (HARRISON-KIRK et al., 2014; SCHAUFLENER et al., 2010).

O CO<sub>2</sub> atmosférico que é absorvido pelas plantas e, posteriormente, convertido em C orgânico, pode ser estocado no solo ou mesmo ser utilizado no ciclo de Calvin como substrato para a produção de carboidratos (ESCOBAR et al., 2010). Com o aporte de resíduos vegetais com elevados níveis de C e N, há o aumento da matéria orgânica do solo, fazendo com que o solo se torne dreno de CO<sub>2</sub> a longo prazo (BAYER et al., 2006). A adoção de práticas de manejo do solo mais conservacionistas, à exemplo do SPD em substituição ao SPC do solo, contribui para o aumento dos teores de MOS (JUNGES et al., 2018).

Em um estudo realizado por Pereira et al. (2021), os autores observaram que a emissão de CO<sub>2</sub> na produção de alface, pepino e tomate, considerando dois

sistemas de produção (consórcio entre as culturas e monocultura), foi 35% menor no consórcio das hortaliças que no monocultivo, sendo também consideradas as emissões pelo uso de fertilizantes químicos e pela queima de combustível fóssil (operações utilizando maquinário). Chaves et al. (2009) ao compararem a emissão de dióxido de carbono na cultura da soja em dois sistemas de produção, SPC e SPD, concluíram que o fluxo de CO<sub>2</sub> em ambos os sistemas foi semelhante, não sendo possível apontar diferenças conclusivas neste caso.

Em outra pesquisa acerca da quantificação de emissão de CO<sub>2</sub> nos sistemas de plantio direto e convencional, Costa (2008) observou que o sistema de produção convencional teve maior fluxo de CO<sub>2</sub> do que o encontrado no sistema de plantio direto, tendo como culturas implementadas nessas áreas o arroz, azevém e milho, o experimento foi conduzido no estado do Rio Grande do Sul.

Na cultura da cebola, em um experimento com a finalidade de quantificar a emissão de CO<sub>2</sub> considerando como tratamentos o SPDH, SPD e o SPC, Câmara (2022) encontrou os maiores picos de emissões de CO<sub>2</sub> no SPDH no período inicial de condução do experimento, e isso se deve pela cobertura vegetal apresentar uma baixa relação C/N, com maior teor de N, tendo como base que esse elemento tem papel fundamental para a rápida decomposição do material vegetal. De forma a oportunizar maior liberação de C na forma de CO<sub>2</sub> no decorrer do processo de decomposição dessa biomassa utilizada como planta de cobertura.

### **3 HIPÓTESES**

O cultivo de couve-flor em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) e a deposição da massa seca das espécies de plantas de cobertura, por não revolver o solo e a massa seca dessas plantas permanecer na superfície do solo, melhoram os atributos químicos e físicos do solo e, por consequência, aumentam a produtividade da couve-flor.

O SPDH libera gases de efeito estufa por mais tempo, porém as emissões acumuladas são menores devido ao maior estoque de carbono e nitrogênio quando comparado com o sistema convencional de produção de couve-flor.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 Geral

Avaliar os gases de efeito estufa e os atributos edáficos, bem como a produtividade em sistemas de plantio direto e convencional na cultura da couve-flor.

### 4.2 Específicos

Quantificar as emissões de gases de efeito estufa e o potencial de aquecimento global ao longo de um ciclo de cultivo de couve-flor no sistema de preparo convencional e no sistema de plantio direto de hortaliças;

Avaliar os atributos físicos e químicos do solo cultivado com couve-flor em sistema de preparo convencional e em sistema de plantio direto de hortaliças, bem como o rendimento da cultura;

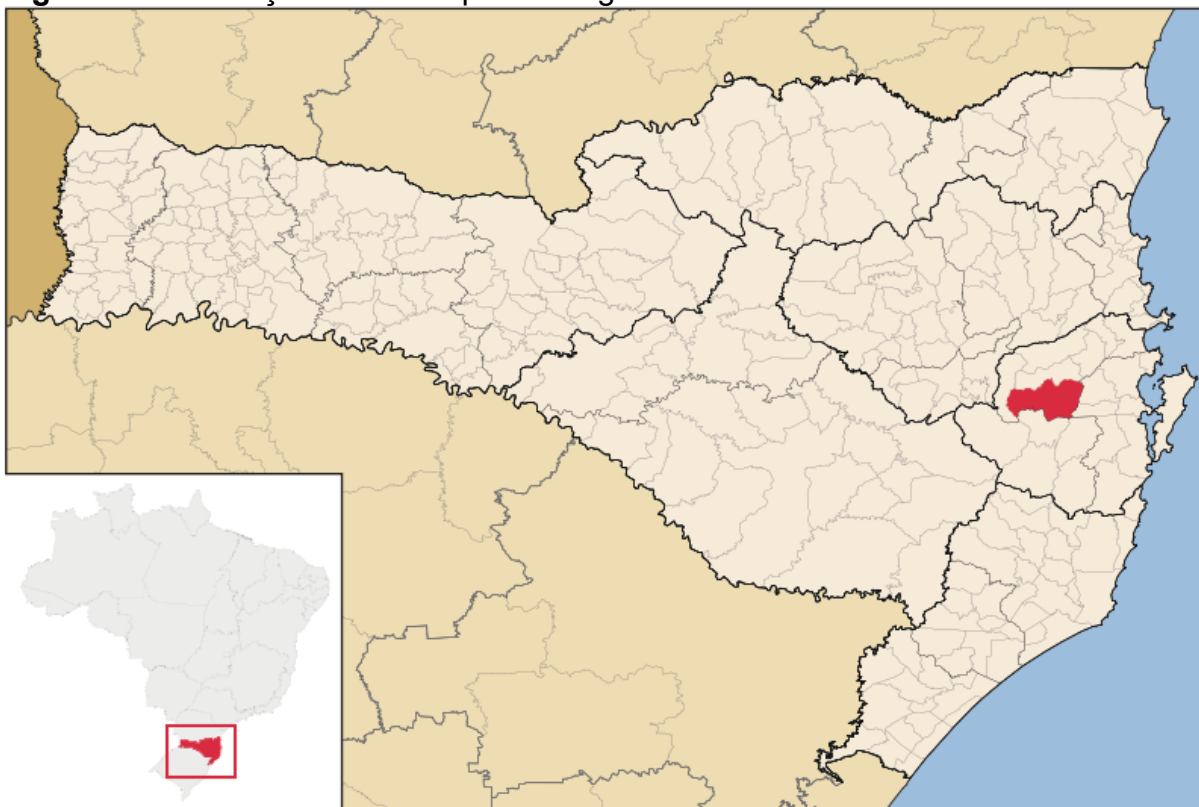
Estimar os estoques de carbono e nitrogênio do solo cultivado com couve-flor no sistema de preparo convencional e no sistema de plantio direto de hortaliças.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi implantado em novembro de 2021, em uma Unidade de Referência Técnica (URT) em uma área de produção comercial de um agricultor localizada no município de Angelina, região da grande Florianópolis, estado de Santa Catarina (27°36'05,8''S, 49°04'15,7''W, 450 m de altitude). O solo foi classificado como Cambissolo Háplico (EMBRAPA, 2018), apresentando textura média. O clima da região é classificado como Cfa (quente e temperado), conforme a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), apresentando ainda temperatura média anual de 17,9°C e com pluviosidade média de 1642 mm ano<sup>-1</sup>.

**Figura 1.** Localização do município de Angelina no estado de Santa Catarina.

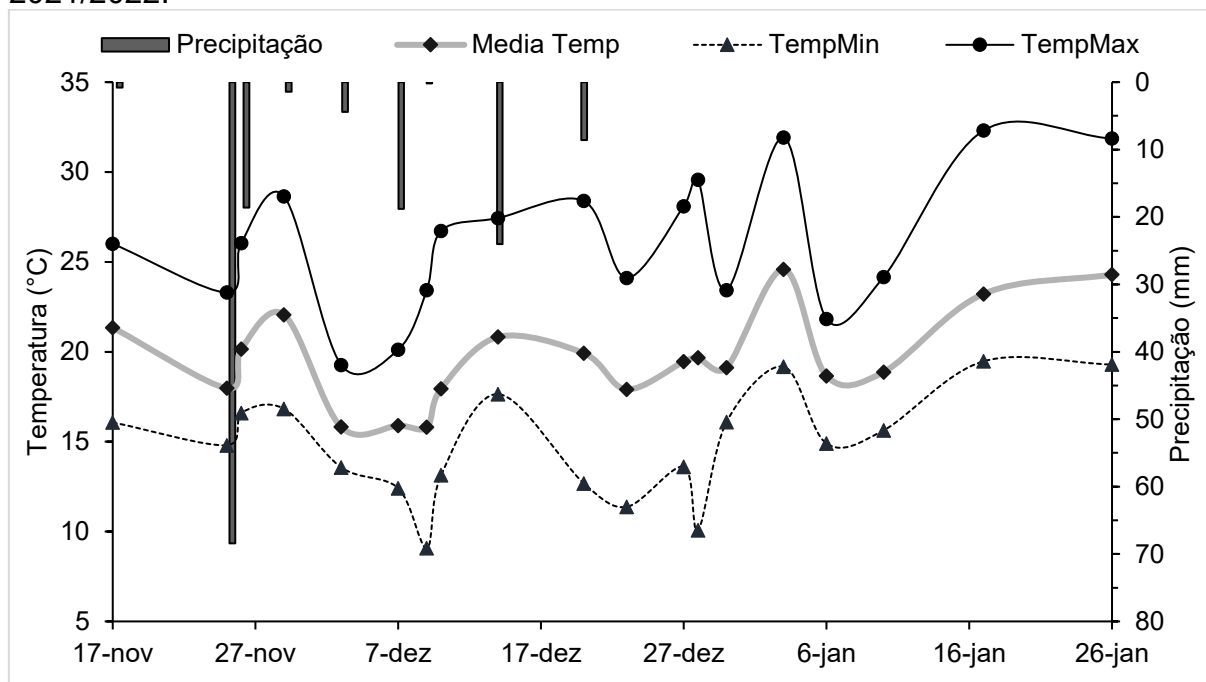


Fonte: Google imagens.

Os dados climáticos registrados durante o período do experimento, apresentados na Figura 2, são referentes a precipitação, temperaturas mínimas e máximas registradas. Esses dados foram obtidos através de uma Estação Meteorológica instalada na área para o experimento, sendo a maior temperatura

encontrada de 24,5 °C, em 03 de janeiro de 2022, e a menor temperatura foi observada em 09 de dezembro (15,8 °C). Para suprir as necessidades hídricas da cultura foi realizado irrigação por aspersão nos dois tratamentos, quando houve longos períodos sem a ocorrência de chuva.

**Figura 2** - Dados climáticos registrados ao longo do ciclo da couve-flor, safra de 2021/2022.



Media Temp: temperatura média; TempMin: temperatura mínima; TempMax: temperatura máxima.

Relacionado ao histórico da área do experimento, são cultivadas hortaliças (couve-flor, brócolis, repolho) no sistema de preparo convencional (SPC) há mais de 30 anos. E nos últimos 11 anos, parte dessa área foi convertida para o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH), com cultivo da couve-flor e de brócolis. Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo nas camadas 0-5, 5-10 e 10-30 cm para a realização da caracterização química e física do solo, conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017) e por Tedesco et al. (1995).

Foram avaliados dois sistemas de manejo: SPDH e SPC com a cultura da couve-flor. Para o tratamento do SPDH, foi realizado o plantio da couve-flor com sucessão de mucuna (*Strizolobium aterrimum*) em consórcio com milho (*Penissetum americanum*) e aveia-preta (*Avena strigosa*), onde o manejo da área consistiu na restrição da mobilização do solo à linha de plantio. Antes da realização do plantio da couve-flor, as plantas de cobertura foram acamadas com o auxílio de um rolo-faca e

posteriormente foram abertos sulcos de semeadura com o aporte de uma máquina adaptada para a realização da semeadura das mudas de forma manual.

Já no SPC foi realizada uma aração e uma gradagem para fins de revolvimento do solo mais o uso de enxadas rotativas, sendo que essas práticas alteram o tamanho e a composição do banco de sementes do solo, modificando a flora vegetativa deste. Destaca-se que todas essas operações no SPC foram realizadas na semana anterior à coleta de amostras de solo e montagem do experimento, estando o solo muito pulverizado e muito homogêneo, solto e macio.

A adubação química das áreas foi feita com NPK (15-00-15), seguindo as recomendações específicas para a cultura da couve-flor (CQFS-RS/SC,2016). O espaçamento utilizado foi de 0,8 m entre linhas e de 0,6 m entre plantas. Posterior a isso, no mês de janeiro de 2022, foi realizada a colheita manual da cultura, juntamente com a finalização do experimento.

Os tratamentos avaliados (SPC e SPDH) estavam dispostos um de frente ao outro, sendo separados por uma estrada (Figura 3). As condições de solo e relevo são as mesmas, variando apenas o sistema de manejo e o tempo de implantação de cada sistema. Cada uma dessas áreas apresentava dimensões de 40 m<sup>2</sup>, onde cada área foi dividida em cinco glebas/parcelas ( $\pm 8$  m<sup>2</sup>), ou seja, com cinco repetições para cada um dos tratamentos.

Para a obtenção da produtividade da couve-flor, foram consideradas 10 plantas de cada uma das três fileiras centrais de cada tratamento avaliado. Sendo que em janeiro/2022 foi realizada a colheita manual da couve-flor, sendo que nesse momento foram retiradas as folhas, permanecendo apenas as inflorescências. Essas foram levadas ao laboratório e pesadas para a obtenção da massa fresca (MF) e posteriormente levadas a estufa para secagem a uma temperatura de 65°C, com a finalidade de se obter a massa seca (MS) e quantificada a produtividade, em Mg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 3** - Área de implementação do experimento em Angelina/SC, sendo uma área em SPC e outra em SPDH.



SPC= sistema de preparo convencional; SPDH=sistema de plantio direto de hortaliças

## 5.2 Montagem das estruturas para a coleta das amostras gasosas

As coletas das amostras gasosas provenientes da respiração edáfica para análise da emissão de GEE foram realizadas pelo método de câmaras estáticas fechadas (MOSIER, 1989). Em cada parcela/gleba dos dois tratamentos foi fixada uma base de metal retangular, que foi inserida no solo a 5 cm de profundidade, sendo em cada tratamento cinco câmaras (Figuras 3 e 4). As bases permaneceram nas parcelas até o fim das coletas (26/01/22) para evitar perturbações ao solo. Cada base de metal apresenta uma canaleta na parte superior onde são acoplados os topos das câmaras no momento da realização das coletas como é representado pela Figura 4.

**Figura 4** - Base de metal fixada no solo (A) e modelo de câmara estática que será utilizada no experimento para coleta dos gases de efeito estufa (B).



As câmaras estáticas para a coleta dos gases eram de formato retangular, com dimensões de: 0,40 m de largura; 0,50 m de comprimento e 0,25 m altura. É construída a partir de chapas de aço galvanizado de 2 mm, em seu interior foram instaladas duas ventoinhas de 12 volts e um circuito elétrico para possibilitar acoplar uma bateria externa que tinha funcionalidade de auxiliar na homogeneização do interior da câmara durante o período de coleta.

Durante a coleta dos gases, as câmaras foram vedadas com o preenchimento das canaletas com água promovendo o isolamento das atmosferas interna e externa, para evitar a troca de gases do interior da câmara com o exterior. A frequência de coletas foi realizada em intervalos de um dia antes da adubação, pós-adubação e outras práticas agrícolas de relevância, conforme cronograma estimado para a cultura da couve-flor (Tabela 1).

**Tabela 1** - Cronograma de coleta de GEE para a cultura da couve-flor de acordo com o manejo de adubação da cultura.

<b>COUVE-FLOR</b> (ciclo 75-80 dias)	<b>DATAS DE COLETA</b>								
TRANSPLANTE	17/11	0	1	3	7	10	14	21	27
<b>Coletas/adubação</b>	17/11								
1ª adubação 7 dias após plantio (DAP)	25/11	25/11	26/11	29/11	03/12	07/12			
2º adubação 21-25 DAP	09/12	09/12	10/12	14/12	20/12	23/12			
3º adubação 45-50 DAP	27/12	27/12	28/12	30/12	03/01	06/01	10/01	17/01	26/01

Fonte: Elaborado pela autora.

A base utilizada é construída com lingotes de aço de carbono de 5 mm, que precisam ser resistentes devido a necessidade de pressão realizada para a fixação dos mesmos no solo. Este material é soldado e forma uma canaleta com dimensões de 4 cm de largura e 3 cm de altura, além disso é centralizado abaixo da canaleta uma base de 5 cm que quando é inserida no solo promove a fixação desta base bem como delimita a área do solo a ser preservada durante a realização do experimento.

A fixação das bases foi realizada uma semana antes do início do experimento e permaneceram no campo até o fim das coletas, com a finalidade de evitar maiores perturbações no solo. No total foram instaladas 10 bases, sendo cinco por tratamento, cada base foi condizente a uma unidade experimental. E para cada repetição, por data de coleta dos gases, eram realizadas quatro coletas de gases nos tempos 0, 15, 30 e 45min.

### 5.3 Amostragem e análise de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> E CH<sub>4</sub> do solo

A avaliação dos fluxos de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> iniciaram sete dias antes da primeira adubação nitrogenada, em 17 de novembro de 2021 e foram finalizadas uma semana depois da colheita da couve-flor, em 26 de janeiro de 2022, totalizando 70 dias de experimento em campo. Durante esse período foram realizadas 19 coletas conforme a Tabela 01.

Para fins de coleta, considerando a emissão diária de CH<sub>4</sub> em solos cultivados, Costa et al. (2008) sugerem que a quantificação seja realizada entre às 9h as 12h. Para o N<sub>2</sub>O, o mais representativo para a determinação dos fluxos é próximo da 1h, porém como este horário é inviável (considerando a duração do experimento), o segundo período mais representativo apontado na literatura é as 10h (JANTALIA et al., 2008). Para fins de padronização, conforme os horários sugeridos na literatura, as coletas foram realizadas entre as 9h e 11h, uma vez que esse horário é comum aos fluxos médios de dois dos 3 gases que foram avaliados no experimento.

O procedimento inicial de coleta tinha como metodologia conectar os terminais das ventoinhas em uma bateria externa por um período de 30 segundos, possibilitando que todo ar presente no interior da câmara fosse homogeneizado. Ademais, o embolo da seringa foi movimento por três vezes seguidas para que todo o ar acumulado no cateter fosse substituído e após isso o embolo da seringa era puxado até a marcação de 20mL, onde eram fechadas as válvulas do cateter e da seringa imediatamente e logo as seringas eram acomodadas em caixa térmica e transportadas até o laboratório para a transferência do conteúdo para os frascos de *exetainers* de 12mL, onde os gases permaneciam até a análise por cromatografia gasosa.

As coletas eram realizadas após 0, 15, 30 e 45 minutos (COSTA et al., 2006), após o fechamento da câmara. Durante o período de coleta, a temperatura interna da câmara foi monitorada com termômetro digital (de modelo igual ao utilizado para o solo).

As amostras foram transferidas das seringas para frascos de vidro (*exetainers*) previamente evacuados no laboratório, onde foram mantidas em armazenamento refrigerado até o envio para análises. As concentrações de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> foram analisadas por cromatografia gasosa (Shimadzu GC 2014, modelo *Greenhouse*) em aparelho constituído de detector de captura de elétrons (*ECD - Electron Capture Detector*) para determinação de N<sub>2</sub>O e detector de ionização de chama (*FID - Flame Ionization Detector*) para determinação de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. A separação dos gases foi feita em coluna empacotada em temperatura de 80° C, utilizando nitrogênio (N<sub>2</sub>) como gás de arraste.

Os fluxos diários de N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> foram calculados de acordo com equação 1 adaptada de Schirrmann et al. (2020), onde a relação linear entre a concentração do

gás na câmara e o tempo entre seu fechamento e a coleta são levados em consideração.

$$\text{Fluxo gás} = \frac{\Delta(\text{gás})}{\Delta t} \times \frac{PV}{RT} \times \frac{M}{A} \times \frac{\text{Elemento}}{\text{Gás}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Fluxo gás é o fluxo de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> (g ha<sup>-1</sup> dia) ou de CO<sub>2</sub> (kg ha<sup>-1</sup> dia);

Δ(gás) é a variação na concentração do gás (N<sub>2</sub>O (ηmol mol<sup>-1</sup>) ou CH<sub>4</sub> (μmol mol<sup>-1</sup>) ou CO<sub>2</sub> (μmol mol<sup>-1</sup>)) no interior da câmara;

Δt é o intervalo de incubação;

P é a pressão atmosférica no interior da câmara (1 atm);

V é o volume da câmara (L);

R é a constante universal dos gases (0,082 atm. L. mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>);

T é a temperatura interna da câmara (kelvin);

M é o peso molecular do gás (g mol<sup>-1</sup>);

A é a área do solo ocupada pela câmara (m<sup>2</sup>);

Elemento/Gás é relação entre a massa atômica do elemento e a massa molecular do gás. No caso 28/44 para o N<sub>2</sub>O, 12/16 para o CH<sub>4</sub> e 12/44 para o CO<sub>2</sub>.

Os fluxos médios foram calculados a partir do valor médio das cinco repetições. O fluxo médio, entre duas coletas consecutivas, foi calculado ao se multiplicar o valor resultante pelo intervalo de tempo, em dias, decorrido entre as duas coletas. Desta forma, as emissões acumuladas de N-N<sub>2</sub>O, C-CH<sub>4</sub> e C-CO<sub>2</sub> foram calculadas pela integração trapezoidal dos fluxos de N-N<sub>2</sub>O, C-CH<sub>4</sub> e C-CO<sub>2</sub>. Para esses cálculos assumiu-se que o fluxo médio entre as 09:00 e 11:00h representa as médias diárias de emissão (JANTALIA et al., 2008). Com os valores de emissão acumulada foram calculadas as emissões em C equivalente, adaptando-se as equações 2, 3 e 4 descritas por Siqueira Neto et al. (2009).

$$\text{C equivalente} = \text{N-N}_2\text{O} \times \left(\frac{44}{28}\right) \times 273 \times \left(\frac{12}{44}\right) \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{C equivalente} = \text{C-CH}_4 \times \left(\frac{16}{12}\right) \times 27 \times \left(\frac{12}{44}\right) \quad \text{Equação 3}$$

$$C \text{ equivalente} = C\text{-CO}_2 \times \left(\frac{12}{44}\right) \times 1 \times \left(\frac{12}{44}\right) \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

N-N<sub>2</sub>O e C-CH<sub>4</sub> são os fluxos de gás;

(44/28) representa a quantidade de N na molécula de N<sub>2</sub>O, sendo N em massa atômica e N<sub>2</sub>O em massa molecular;

273 é o potencial de aquecimento global de 100 anos (PAG-100) ou GWP-100 (100-year Global Warming Potential, em inglês) do N<sub>2</sub>O (IPCC, 2021);

(16/12) representa a quantidade de C na molécula de CH<sub>4</sub>, sendo C em massa atômica e CH<sub>4</sub> em massa molecular;

27 é o potencial de aquecimento global de 100 anos (PAG-100) ou GWP-100 (100-year Global Warming Potential, em inglês) do CH<sub>4</sub> (IPCC, 2021);

(12/44) representa a quantidade de C no CO<sub>2</sub>, sendo C em massa atômica e CO<sub>2</sub> em massa molecular.

#### 5.4 Coletas e análises de amostras de solos

Foi realizado uma coleta de solo antecedendo o plantio da couve-flor, em outubro de 2021, onde foram realizadas amostragens de solo nas camadas 0-5, 5-10 e 10-30 cm em todos os tratamentos, sendo em cada uma das glebas/parcelas, seguindo-se a metodologia preconizada por Veiga (2011) e Embrapa (2011). Para isso, foram abertas trincheiras de 40×40×40cm e coletadas amostras deformadas e indeformadas. Nas amostras deformadas foram avaliados os teores de carbono orgânico total do solo (COT) e nitrogênio total (NT); e nas amostras indeformadas foram avaliadas a densidade do solo, estabilidade de agregados e porosidade. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório.

Para a obtenção e determinação da densidade do solo (Ds), utilizou-se a metodologia do anel volumétrico (EMBRAPA, 2011). As amostras de volume conhecido (50 cm<sup>3</sup>) foram coletadas e posteriormente levadas a estufa de circulação forçada para a secagem do solo em temperatura de 110°C pelo tempo de 72 horas. Em seguida, as amostras foram pesadas para a obtenção da massa seca do solo, a Ds foi obtida pela divisão da massa seca pelo volume do anel (EMBRAPA, 2011).

Para a determinação da estabilidade de agregados, as amostras de solo, sendo essas amostras deformadas, coletadas foram secas ao ar e em seguida destorroadas de forma manual, seguindo-se as linhas de fraqueza. Posteriormente, foram passadas em peneiras de malha 8,00 mm e 4,00 mm para a obtenção dos agregados do solo, conforme propõe metodologia da Embrapa (2011). Dos agregados que foram retidos na peneira de 4,00 mm, foram pesados 25 gramas e transferidos para a peneira de 2,00 mm, que compõe um conjunto de peneiras com diâmetro de malha decrescente, a saber: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25, 0,105 e 0,053 mm, conforme Embrapa (2011) e Loss et al (2015; 2017).

Os agregados que foram alocados na peneira de 2,00 mm foram umedecidos com borrifador de água e o conjunto de peneiras submetido à tamisação vertical via úmida por um período de 15 minutos no aparelho de Yoder (YODER, 1936). Após esse tempo, o material retido em cada peneira foi retirado e separado com jato d'água, para ser colocado em cadinhos de alumínio previamente pesados e identificados, e levados à estufa com circulação de ar forçado a 105° C para a obtenção de massa seca constante.

A partir da massa dos agregados foi calculado o diâmetro médio geométrico (DMG), segundo Embrapa (2011). Para a obtenção da porosidade do solo foi seguida a metodologia de Veiga (2011). As amostras que foram saturadas pela capilaridade foram dispostas em um recipiente com água até atingir metade da altura máxima do anel metálico e foram deixadas nessa condição por 24h com a finalidade de ter toda amostra saturada. Posteriormente, foi aferido a massa dessas amostras saturadas.

A curva de retenção de água do solo foi obtida a partir das amostras saturadas que foram distribuídas em mesa de tensão, aplicando-se tensões de 0,6 e 6kPa, para posteriormente serem levadas ao extrator de Richards, onde foi aplicado tensões de 60 e 600kPa. Após esses processos, foi aferido a massa de cada amostra. A distribuição de tamanho de poros foi obtida através dos dados da curva de retenção de água, onde foram considerados macroporos aqueles com diâmetro maior ou igual a 50  $\mu\text{m}$ , que possibilitam reter água do solo saturado até a tensão de 6kPa e os microporos são aqueles com diâmetro inferior a 5  $\mu\text{m}$  e que retém a água até a tensão de 600kPa.

As amostras deformadas foram secas ao ar e passadas em peneira de malha de 2 mm, em seguida essas amostras foram moídas em gral de porcelana e passadas em malha de 150 mesh (0,149 mm) para fazer a determinação dos teores de COT e

NT em analisador elementar de combustão seca. Com a determinação dos teores de C e N, foi possível calcular os estoques de carbono orgânico e de nitrogênio total, onde foi utilizado o método de massa equivalente (SISTI *et al.*, 2004), conforme a equação 5.

$$C_S = \sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti} + \left[ M_{Tn} - \left( \sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] C_{Tn} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$C_S$  é o estoque total de carbono ou nitrogênio em  $Mg \text{ ha}^{-1}$ ;

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$  é a soma do carbono ou nitrogênio da primeira (superfície) a última camada no perfil do solo no tratamento avaliado em  $Mg \text{ ha}^{-1}$ ;

$\sum_{i=1}^n M_{Ti}$  é a soma da massa do solo da primeira à última camada no perfil do solo no tratamento avaliado em  $Mg \text{ há}^{-1}$ ;

$\sum_{i=1}^n M_{Si}$  é a soma da massa do solo da primeira à última camada no perfil do solo no tratamento referência em  $Mg \text{ ha}^{-1}$ ;

$M_{Tn}$  é a massa do solo na última camada do perfil do solo no tratamento avaliado em  $Mg \text{ ha}^{-1}$ ;

$C_{Tn}$  é a concentração de carbono ou nitrogênio na última camada do perfil do tratamento avaliado em  $Mg \text{ C ou N } Mg^{-1}$  de solo.

## 5.5 Potencial de aquecimento global

O potencial de aquecimento global (PAG) de cada sistema foi calculado pela soma das emissões acumuladas de  $CH_4$  e  $N_2O$  do solo e da taxa anual de acúmulo de C orgânico no solo ( $\Delta C$ ), que foi assumido como um proxy da troca líquida de  $CO_2$  na interface solo-atmosfera (MOSIER *et al.*, 2004). As emissões de  $CH_4$  e  $N_2O$  foram expressas em  $kg \text{ Ceq } ha^{-1}$ , a partir da multiplicação dos fluxos com a razão dos seus respectivos potenciais de aquecimento global (1, 21 e 300 para o  $CO_2$ ,  $CH_4$  e  $N_2O$ , respectivamente) e da razão molar entre o  $CO_2$  e o C ( $44/12=3,67$ ), conforme a equação 7.



$$\text{PAG} = \left[ \left( \Delta\text{C} \times 1 + \text{CH}_4 \times \left( \frac{21}{3,67} \right) \right) + \left( \text{N}_2\text{O} \times \left( \frac{300}{3,67} \right) \right) \right] \quad \text{Equação 7}$$

## 5.6 Análises estatísticas

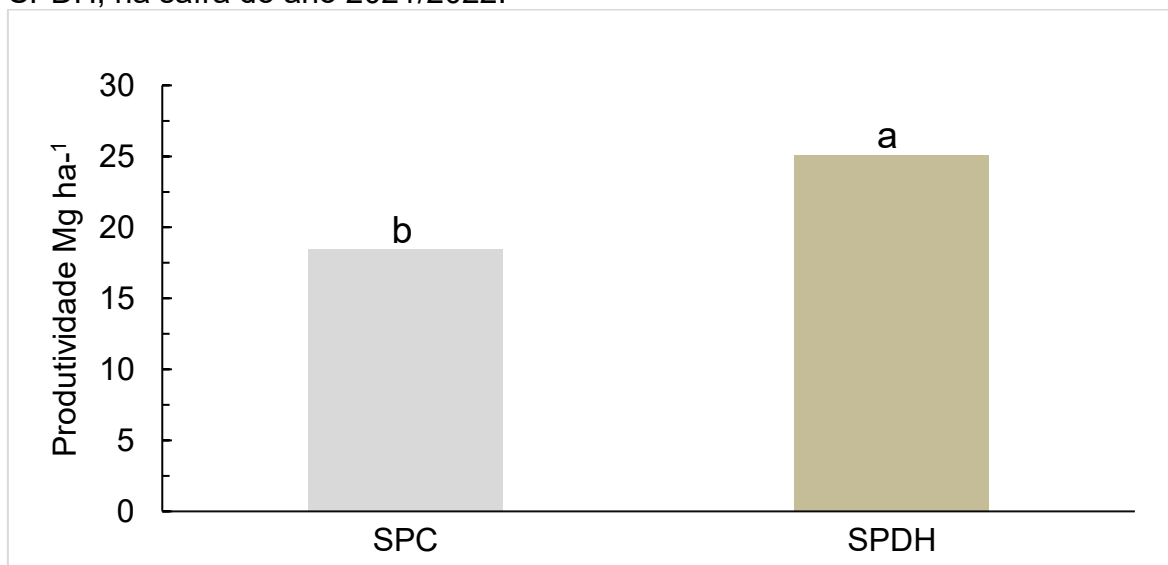
A variação das médias dos fluxos diários e emissão acumulada de N-N<sub>2</sub>O, C-CH<sub>4</sub> e C-CO<sub>2</sub> emitido pelo solo, os teores de COT e NT, bem como seus estoques no solo, e a produtividade média de couve-flor foram submetidos a análise de variância, utilizando o programa estatístico Sisvar® em sua versão 5.8 (FERREIRA, 2019). Quando significativo pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste t (LSD – Diferença Mínima Significante) a 5% de significância (DODGE, 2008).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Produtividade de couve-flor em SPC e SPDH

A produtividade média de couve-flor foi maior no SPDH, 25,1 Mg ha<sup>-1</sup>, que no SPC, 18,4 Mg ha<sup>-1</sup>, proporcionando uma produtividade de 6,7 Mg ha<sup>-1</sup> superior ao tratamento SPC (Figura 5). Essa produção maior no SPDH está relacionada com a produção de matéria seca depositada sobre o solo pela utilização do consórcio milho + mucuna + aveia neste sistema, o que demonstra que o uso de plantas de cobertura favorece a ciclagem de nutrientes, refletindo em melhores condições químicas (Tabelas 2 e 3) e físicas (Tabela 4) em comparação ao SPC, que não faz uso de plantas de cobertura e nem de práticas conservacionistas de manejo do solo.

**Figura 5** - Médias de produtividade da couve-flor ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos tratamentos SPC e SPDH, na safra do ano 2021/2022.



Coeficiente de variação = 11,4%. SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milho e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

As melhores condições químicas e físicas do solo no SPDH em comparação ao SPC também foram observadas em outros trabalhos, entretanto para a cultura da cebola, o que também refletiu em aumento de produtividade nos tratamentos com a implementação do SPDH (LOSS et al., 2020; SOUZA et al., 2021; CÂMARA, 2022).

Além disso, a cobertura de solo encontrada no SPDH possibilita a liberação de nutrientes presentes nestes materiais vegetais, durante seu período de decomposição, possibilitando a melhoria da fertilidade do solo (WOLSCHICK et al., 2016). A combinação de espécies vegetais de famílias botânicas diferentes presentes na área, como a mucuna (Fabaceae) e consórcio desta com milho (Poaceae) e aveia-preta (Poaceae), potencializa a ciclagem de nutrientes, considerando que a mucuna apresenta uma baixa relação C/N, 16,5/1, e grande capacidade de fixação biológica de N, em média  $185 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de N (CARVALHO et al., 2022; LIMA FILHO et al., 2014; SILVA, 2020). A aveia preta por sua vez apresenta uma relação C/N considerada alta, 36,2 (LOBO et al., 2012), assim como o milho, que também apresenta uma alta relação C/N, em média 36,5 (LIMA FILHO et al., 2014).

## 6.2 Teores e estoques de carbono e nitrogênio totais no solo

Os maiores teores de COT foram encontrados no SPDH, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-30 cm (Tabela 2), diferindo significativamente entre os tratamentos. Em todas as camadas também foi possível observar os maiores estoques de carbono no SPDH.

**Tabela 2** - Teor de COT e seus estoques nas camadas do solo nos tratamentos SPC e SPDH, na safra de couve-flor no ano de 2021/2022.

Tratamentos	COT (g kg <sup>-1</sup> )			Est. C (Mg ha <sup>-1</sup> )			
	Camadas (cm)						
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30	0-30
SPC	28,6 b	26,8 b	27,5 a	13,03 b	13,45 b	54,96 b	81,44 b
SPDH	52,7 a	34,3 a	29,8 a	18,65 a	18,23 a	66,62 a	103,50 a
CV %	18,61	11,08	38,95	22,31	16,68	32,23	33,84

SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milheto e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

Dessa forma, no SPC os resultados encontrados tem relação ao constante revolvimento do solo por meio de práticas convencionais (aração e gradagem) de manejo do solo, de forma que ocasiona a ruptura dos agregados do solo, e assim potencializa a mineralização de resíduos vegetais e perda de carbono para a atmosfera em forma de CO<sub>2</sub> (GIUMBELLI et al., 2021).

Os maiores estoques de carbono (Tabela 2), bem como os maiores teores e estoques de NT foram observados no SPDH (Tabela 3). Estes resultados podem ser explicados pela utilização do consórcio de plantas de cobertura, que tem como potencialidade promover que as raízes das espécies cultivadas “explorem” o solo de forma a favorecer o eminente acúmulo de C e N no solo (LIMA et al., 2018; LOSS et al., 2015; PRASAD et al., 2016; SOUZA et al., 2021).

Os resultados obtidos para o SPC podem ser justificados devido à ausência de produção de matéria seca na superfície do solo, aliado ainda a maior velocidade de decomposição dos resíduos vegetais da vegetação espontânea e dos restos culturais da cultura, uma vez que todos esses materiais são incorporados ao solo pelas práticas de preparo do solo, como aração e gradagem, que não ocorrem no

SPDH. Assim, essas práticas facilitam a mineralização e a perda do C e do N, uma vez que esses preparos do solo levam a ruptura dos agregados do solo e também da exposição do COT e do NT que até então estavam protegidos no interior dos agregados (COMIN et al., 2018), potencializando ainda mais as perdas.

Em um estudo de Souza et al. (2012) utilizando um sistema de manejo orgânico, com premissas consideradas no SPDH, na camada de 0-40 cm em um período de 10 anos, verificou-se um aumento do teor de carbono de 34,57 t ha<sup>-1</sup> para 58,19 t ha<sup>-1</sup>, com fixação de 23,62 t ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 3** - Teor de NT e seus estoques em camadas do solo nos tratamentos T1-SPC e T2-SPDH, na safra de couve-flor no ano 2021/2022.

Tratamentos	NT (g kg <sup>-1</sup> )			Est. N (Mg ha <sup>-1</sup> )			
	Camadas (cm)						
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30	0-30
SPC	2,60 b	2,31 b	2,30 a	1,19 b	1,18 a	4,86 b	7,25 b
SPDH	4,82 a	3,02 a	2,53 a	2,65 a	1,68 a	5,57 a	9,89 a
CV %	18,55	9,03	33,28	12,02	8,51	14,32	19,28

SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

Na cultura da cebola, trabalhos realizados por Loss et al. (2015) e Câmara (2022), considerando condições de comparação entre os diferentes sistemas de manejo (SPC e SPDH), que também tiveram com ênfase de avaliar os teores e estoques de C e N, encontraram os maiores valores para tratamentos fazendo o uso de plantas de cobertura e ausência de revolvimento do solo.

Ainda considerando a cultura da cebola, em um experimento com diferentes sistemas de manejo do solo, dois tratamentos fazendo uso do SPDH e um com o uso de SPC, os maiores teores de NT foram encontrados nas camadas 5-10 e 10-30 cm. Entretanto, na camada 0-5 cm os maiores valores de NT e de Est. N foram encontrados no tratamento que compreendia ao SPC (4,12 g kg<sup>-1</sup> NT e 2,09 Mg ha<sup>-1</sup> para Est. N) e no SPDH foram encontrados 3,03 g kg<sup>-1</sup> de NT e 1,89 Mg ha<sup>-1</sup> (CÂMARA, 2022). Sendo que esses resultados têm relação com a forma de manejo do SPC compreendido neste experimento, sendo que a cultura antecessora da cebola

era a cultura do milho, e com grande quantidade de palhada sobre a superfície do solo, que condiz também a uma alta relação C/N.

### 6.3 Diâmetro médio geométrico (DMG) e densidade do solo (DS)

Os menores valores do diâmetro médio geométrico (DMG) foram observados no SPC em relação ao tratamento SPDH em todas as camadas (Tabela 5). Esses valores estão associados aos processos de preparo do solo que foram utilizados no manejo deste tratamento, uma vez que tanto a aração como a gradagem promovem a quebra/rompimento dos macroagregados, causando a redução significativa dos seus índices de agregação (BAYER et al., 2004; GIUMBELLI et al., 2021; LOSS et al., 2015).

Essa ruptura oportuniza a exposição da matéria orgânica que até então estava protegida no interior destes macroagregados, e essa exposição pode levar a rápida decomposição da matéria orgânica e, por consequência, tende a reduzir a atividade microbiana, de forma a poder interferir na produção de mucilagens, acarretando na perda de estabilidade dos macroagregados, causando o aumento dos microagregados (BORTOLINI et al., 2021; LOSS et al., 2015; OADES, 1984).

**Tabela 4** - Diâmetro médio geométrico (DMG) e densidade do solo (DS) em função dos tratamentos SPDH e SPC, na safra de couve flor do ano de 2021/2022.

Tratamentos	DMG (mm)			DS (g cm <sup>3</sup> )		
	Camadas (cm)					
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30
SPC	2,03 b	2,03 b	2,25 b	1,22 a	1,28 a	1,28 a
SPDH	3,17 a	4,01 a	4,13 a	0,91 b	1,00 b	1,23 a
CV%	10,48	10,35	9,72	4,01	4,30	3,72

SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milheto e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

Os menores valores de densidade do solo foram encontrados no SPDH, 0,91 e 1,0 g/cm<sup>3</sup> nas camadas 0-5 e 5-10 cm. Esses menores valores estão associados aos maiores valores de DMG e maiores teores e estoques de C e N (Tabelas 2 e 3), o que favorece a diminuição da Ds. Além disso, no SPDH tem-se a presença de plantas de cobertura sobre o solo, que possuem características tanto de

desenvolvimento aéreo como de desenvolvimento radicular ao longo do calendário agrícola. Assim, explorando o solo, com adição de C, o que aumenta o DMG e diminui a Ds em comparação ao SPC. Menores valores de Ds são indicativos de menor compactação do solo, e dessa forma significam um aumento na aeração e na capacidade de retenção e infiltração de água nestes solos (GUEDES FILHO et al., 2013).

#### 6.4 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

Os valores observados para porosidade total (PT) apresentam diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 5), sendo que no T1-SPC esses valores foram maiores em todas as camadas.

**Tabela 5** - Porosidade total do solo em função dos tratamentos SPC e SPDH, na safra de couve-flor nos anos de 2021/2022.

Tratamentos	P Total (%)		
	Camadas (cm)		
	0 - 5	5 - 10	10 - 30
SPC	63,01 a	63,03 a	60,50 a
SPDH	57,03 b	56,66 b	55,49 b
CV%	1,67	2,73	5,73

SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milho e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

Mais importante que a porosidade de um solo é a distribuição deste em sua matriz, sendo necessário neste caso se levar em consideração o tamanho destes poros, uma vez que pode haver até mesmo restrições no fluxo de água por conta destes (RIBEIRO et al., 2007). Sendo assim, os valores de macroporosidade foram maiores no SPC em comparação com o SPDH (Tabela 6), o que possivelmente está relacionado com a utilização das práticas de manejo adotadas no SPC, uma vez que essas ocasionam o revolvimento total do solo.

No momento da coleta de amostras indeformadas, o solo havia sido revolvido, o que foi decorrente das operações de aração e gradagem feitas na semana anterior a coleta. Entretanto, a microporosidade foi maior no SPDH em todas as camadas. Esses poros são responsáveis pela retenção de água no solo e, somados aos

macroporos, podem contribuir para a infiltração de água no solo (REINERT; REICHERT, 2006).

**Tabela 6** - Macroporosidade (MAP) e microporosidade (MIP) do solo em função dos tratamentos SPC e SPDH, na safra de couve-flor nos anos de 2021/2022.

Tratamentos	Macro P (%)			Micro P (%)		
	Camadas (cm)					
	0 - 5	5 - 10	10 - 30	0 - 5	5 - 10	10 - 30
SPC	31,75 a	27,25 a	19,75 a	31,26 b	35,78 b	40,75 b
SPDH	15,00 b	15,50 b	10,50 b	42,03 a	41,16 a	44,99 a
CV%	9,36	7,08	10,01	4,16	4,62	3,22

SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milho e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

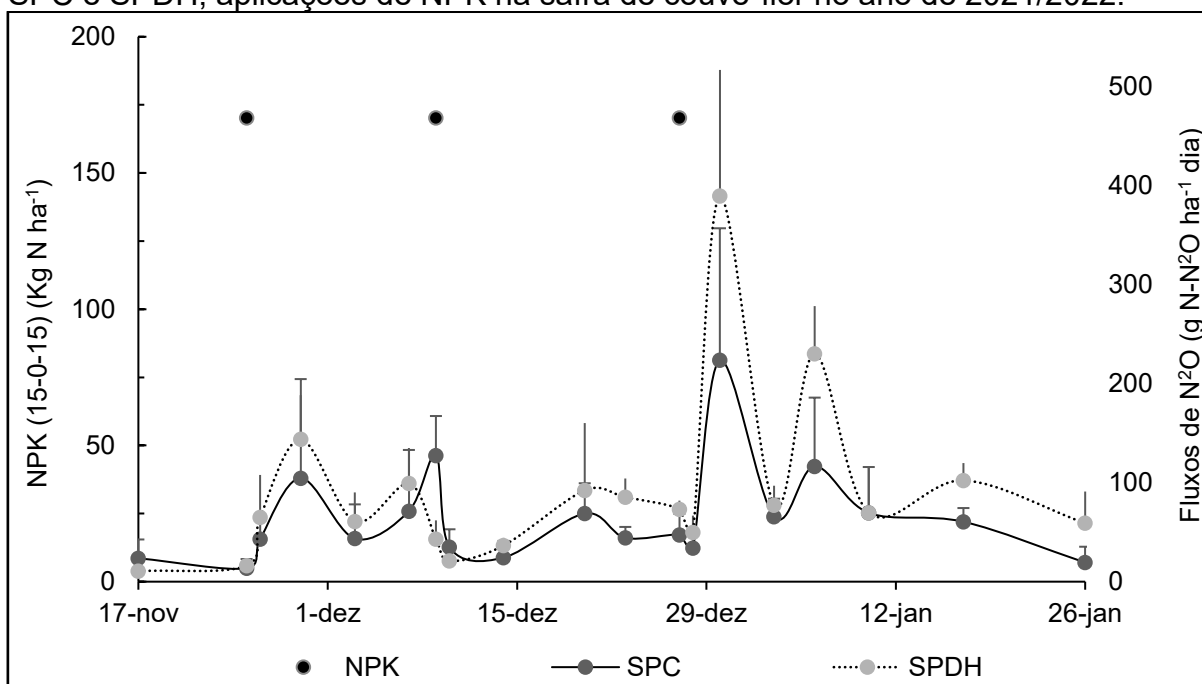
Sendo assim, a porosidade total de um solo é o volume não ocupado por partículas sólidas, sendo esse importante para os processos físicos, químicos e biológicos do solo, como a retenção de água, a infiltração, a condutividade, a difusão de nutrientes no solo, crescimento/desenvolvimento de raízes e microorganismos (MENDES; MELLONI; MELLONI, 2006).

Adiante a isso, o manejo inadequado do solo pode potencializar alterações na porosidade de um solo, onde pode-se ter a ocorrência da redução da macroporosidade e o aumento na microporosidade, podendo ser os primeiros indicativos da ocorrência do processo de compactação (BERTOLDI et al., 2017).

## 6.5 Fluxo e emissão N<sub>2</sub>O no solo

Os maiores fluxos de N<sub>2</sub>O, 389,18 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia, foram observados no SPDH em 30 de dezembro de 2021, entretanto uma emissão elevada também foi encontrada no SPC, 223,60 g N- N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia, nesta mesma data, o que pode estar relacionado com a terceira adubação realizada nas áreas no dia 27 de dezembro de 2021. Os dois tratamentos apresentaram suas menores emissões de N<sub>2</sub>O nos nove primeiros dias de avaliação. Após essa data as emissões tiveram um aumento, e isso ocorreu devido a primeira adubação realizada na área, 25 de novembro de 2021 (Figura 6).

**Figura 6** - Fluxos médios diários de N<sub>2</sub>O (g N- N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia) pelo solo nos tratamentos SPC e SPDH, aplicações de NPK na safra de couve-flor no ano de 2021/2022.



SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milho e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor, com adubação NPK nos dois tratamentos. A variação das médias dos fluxos diários de N-N<sub>2</sub>O emitidos pelo solo foram expressas através do desvio padrão da média.

Em experimento realizado para a cultura da cebola, Câmara (2022) observou que os maiores fluxos de emissões de N<sub>2</sub>O foram encontrados na primeira data de coleta de GEE no SPDH, e isso estava relacionado com a presença da mucuna preta como cobertura do solo. Müller Júnior et al. (2019), também avaliando as emissões de N<sub>2</sub>O com a cultura da cebola, verificaram um pico de emissões de N<sub>2</sub>O na primeira data de avaliação no SPDH, destacando que este pico foi devido à presença de nabo forrageiro associado a dejetos de aves no solo.

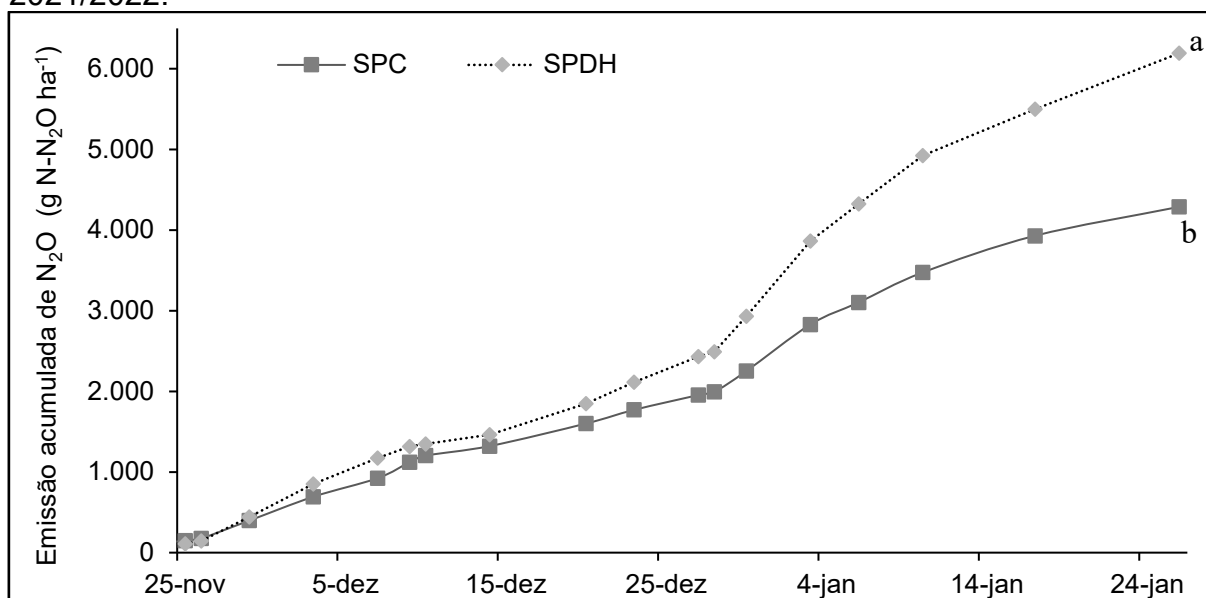
Na primeira data de adubação, 25 de novembro de 2021, foi possível observar picos de emissão de N<sub>2</sub>O, que ocorreram em até 3 dias após a realização da aplicação, onde foram constatados novos picos de emissão tanto para o SPC, 104,443 g N- N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia, quanto para o SPDH, 143,620 g N- N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia.

As maiores emissões de N<sub>2</sub>O no decorrer do experimento foram registradas no SPDH. Sendo que a emissão encontrada para este tratamento foi, em média, de 1707,50 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> ao longo dos 70 dias de monitoramento e coleta dos GEE, já o



SPC emitiu 1234,80 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> neste mesmo período, totalizando um valor de 27,68% menor que o do SPDH (Figura 7).

**Figura 7** - Emissões médias acumuladas de N<sub>2</sub>O (g N- N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dia) pelo solo nos tratamentos SPC e SPDH, aplicações de NPK na safra de couve-flor no ano de 2021/2022.



CV (coeficiente de variação); 92,37%. SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milho e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

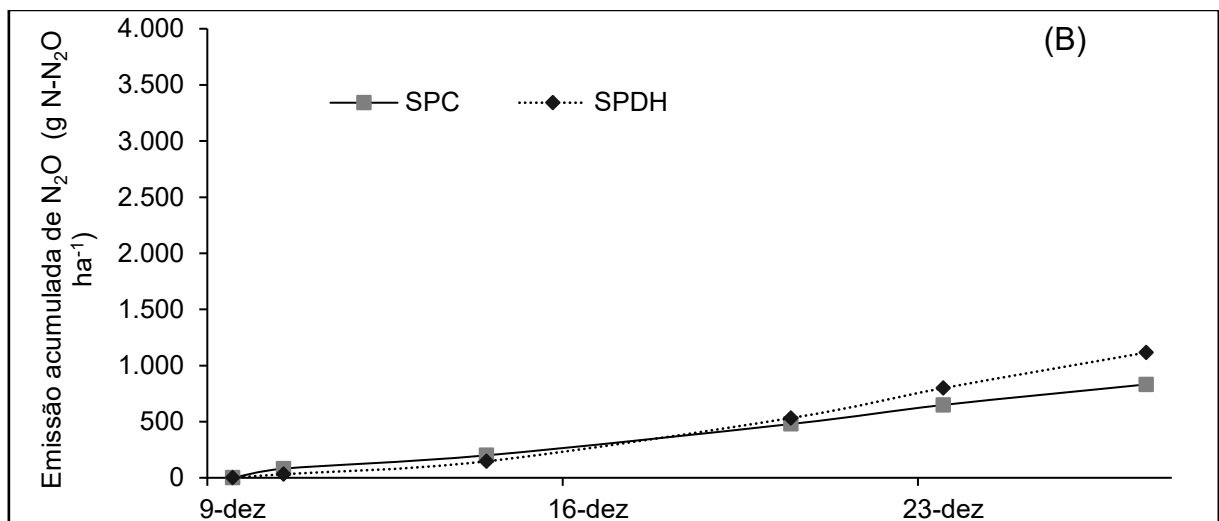
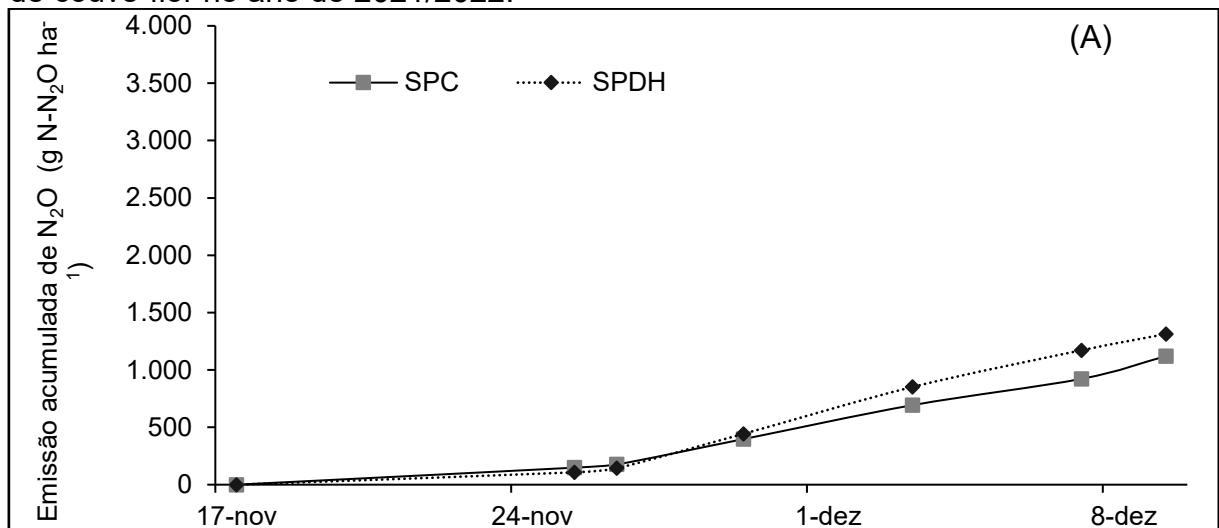
A maior emissão de N<sub>2</sub>O no SPDH é justificada pela adição de resíduos culturais no solo com menor valor de relação C/N, no caso a mucuna, considerando que essa libera mais nitrogênio para o sistema de forma a contribuir para o aumento das emissões de N<sub>2</sub>O (SANTOS, 2013). E isso ocorre pela influência da disponibilidade de N e C no solo nos processos de nitrificação e desnitrificação (BATEMAN; BAGGS, 2005b). Considerando que para as condições do experimento isso se dá pelos altos teores de C e N armazenados no solo e na palhada das plantas de cobertura (mucuna, milho e aveia-preta) e que são disponibilizados aos microrganismos do solo durante seus processos de decomposição (HUANG et al., 2004).

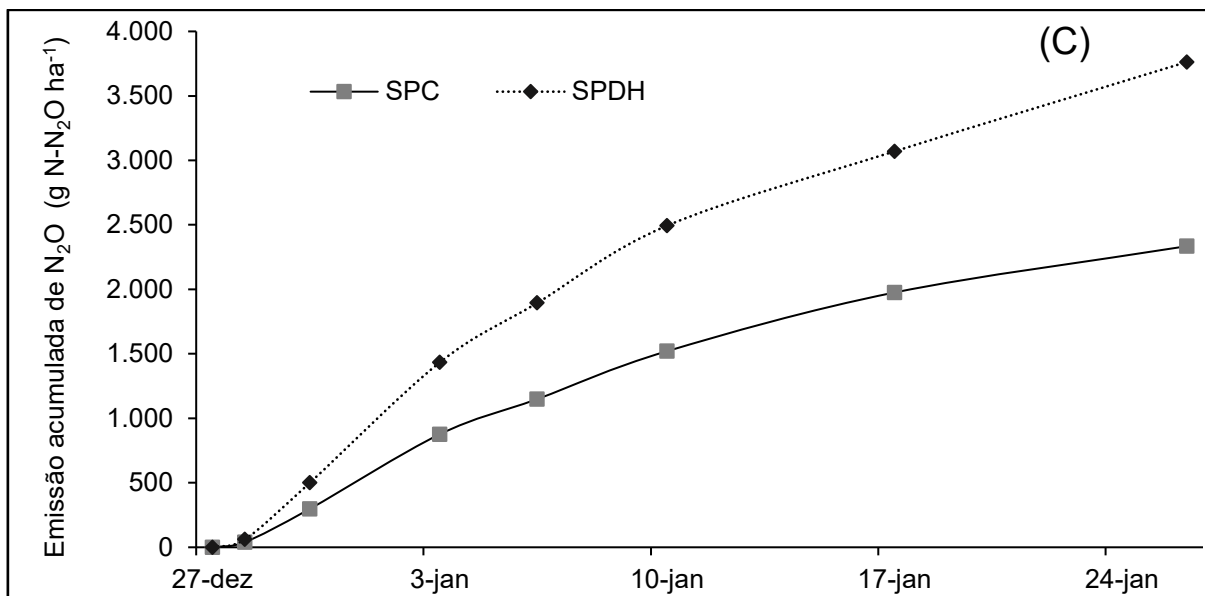
Ainda relacionado a maior emissão de N<sub>2</sub>O no SPDH, pode-se salientar que se trata de um sistema de produção onde se prioriza o uso de plantas em consórcio com plantas de cobertura e não tendo como objetivo ter uma segunda cultura implantada na área, uma vez que o objetivo do uso deste sistema é aumentar a

produção de matéria seca sobre o solo e por consequência melhorar as condições edáficas. A melhoria dos atributos físicos e químicos foram evidenciadas no experimento, pois há melhores condições físicas (agregação e densidade – Tabela 4 e químicas (teores e os estoques de COT e NT – Tabelas 2 e 3), sendo essas condições edáficas superiores às encontradas no SPC. Outro ponto favorável ao SPDH, é que mesmo considerando essa maior emissão, o SPDH apresentou uma produtividade média de  $6,7 \text{ Mg ha}^{-1}$  maior que o SPC (Figura 3).

Quando se realiza a avaliação dos valores de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  em cada um dos três ciclos de adubação, nota-se que nos dois primeiros ciclos não há diferenças entre os tratamentos (Figura 8 – A, B).

**Figura 8** - Emissões médias acumuladas de  $\text{N}_2\text{O}$  ( $\text{g N-N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ dia}$ ) pelo solo, em cada ciclo de adubação nos tratamentos SPC e SPDH, aplicações de NPK na safra de couve-flor no ano de 2021/2022.





SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milho e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. (A) emissões médias acumuladas no período de 14 dias (25 de novembro de 2021 a 09 de dezembro de 2021) entre a aplicação de adubação mineral, (B) emissões médias acumuladas no período de 17 dias (10 de dezembro de 2021 a 27 de dezembro de 2021) entre a primeira aplicação de adubação mineral para a segunda aplicação, (C) emissões médias acumuladas no período de 30 dias (27 de dezembro de 2021 a 26 de janeiro de 2022) entre a terceira aplicação adubação nitrogenada e a última coleta de GEE. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

Após a terceira adubação nitrogenada (Figura 8C), os maiores fluxos de N<sub>2</sub>O foram encontrados no SPDH, que teve uma emissão acumulada neste ciclo de 3762,59 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, enquanto no SPC a emissão foi de 2334,48 g N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>. Considerando que as emissões foram superiores no SPDH ao longo dos ciclos (Figura 7) e mais especificamente ao final da última adubação nitrogenada (Figura 8C), esses resultados podem estar relacionados com a disponibilização de N da palhada do consórcio mucuna-milho-aveia, o que pode ser considerado ainda quando comparado com teores de N e com os estoques de N no solo no SPDH, visto que são significativamente superiores aos observados para o SPC (Tabela 3). Além disso, logo após a adubação nitrogenada, o pico de emissão pode ser justificado pela adição da adubação mineral (BUCHKINA et al., 2010).

Em pesquisa realizada por Jones et al. (2012), verificando as emissões de GEE na produção de tomate na Flórida (EUA), foi possível afirmar que as emissões de N<sub>2</sub>O estão principalmente relacionadas com o uso dos fertilizantes nitrogenados, o mesmo também foi afirmado no estudo de Pereira (2020), que aponta que em monocultivos de hortaliças, cerca de 10,8% dessa emissão vem dos fertilizantes, e

em situações de consórcio essa porcentagem chega a 14,5%. Concluindo então que a potencialização da eficiência da utilização do fertilizante nitrogenado pode reduzir as emissões de GEE.

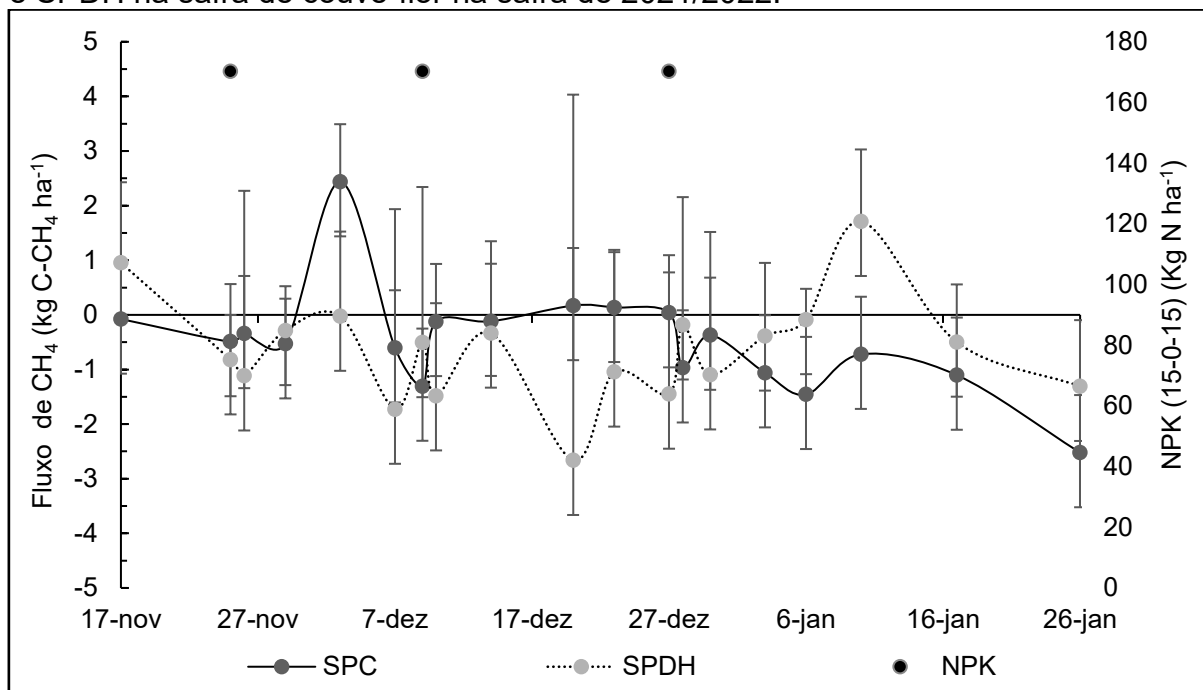
Outra estratégia para reduzir as emissões de óxido nitroso seria a redução da dose de adubação nitrogenada no SPDH, pois há parte do N liberado para o solo da palhada do consorcio mucuna-milheto-aveia. Neste estudo isso não foi levado em consideração, pois as quantidades de adubos nitrogenados foram as mesmas nas duas áreas avaliadas.

Estudos com a cultura da cebola apontam que a maior emissão de N<sub>2</sub>O também foi no SPDH quando comparado a demais sistemas de manejo do solo, considerando ainda a ocorrência de 25% menos aplicação de doses de nitrato de amônia no momento da adubação, quando comparado aos demais sistemas de manejo do solo considerados no experimento, SPC e SPD (CÂMARA, 2022).

#### 6.6 Fluxo e emissão de CH<sub>4</sub> no solo

Os fluxos médios de CH<sub>4</sub> ao longo dos 70 dias de experimento podem ser observados na Figura 9, sendo os valores encontrados importantes para entender a ocorrência da emissão deste gás nos sistemas de produção, em específico para as condições deste trabalho com hortaliças. A maior emissão foi verificada no SPC (2,44 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dia) na quinta data de coleta (03 de dezembro de 2021). Já o maior consumo foi observado no SPDH, 1,71 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dia, na décima sétima coleta, 10 de janeiro de 2022.

**Figura 9** - Fluxos médios de CH<sub>4</sub> (g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dia) pelo solo, nos tratamentos SPD e SPDH na safra de couve-flor na safra de 2021/2022.

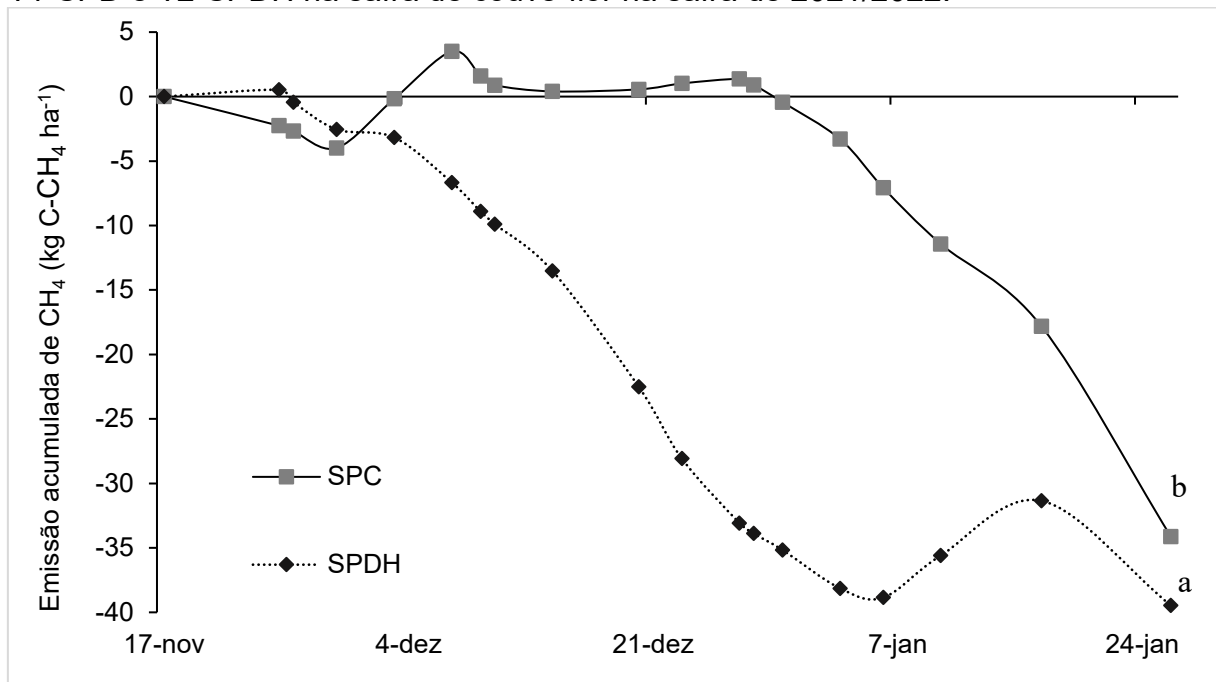


SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milho e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor, com adubação NPK nos dois tratamentos. A variação das médias dos fluxos diários de C-CH<sub>4</sub> emitidos pelo solo foram expressas através do desvio padrão da média.

Durante os 70 dias de experimento, o CH<sub>4</sub> não apresentou emissões acumuladas, sendo que foi observado que em ambos os tratamentos houve o consumo deste gás, e essas ocorrências estão ligadas a existência de sítios anaeróbicos no solo (TEIXEIRA et al., 2009). Outro fator que favoreceu o consumo no SPC é que nesta área se tinha maior porosidade total e macroporosidade, considerando que na semana anterior a implementação do experimento foi realizado tratos culturais na área, de forma a favorecer a aeração e por consequência disso o maior consumo do CH<sub>4</sub>.

O maior consumo de CH<sub>4</sub> foi constatado no SPDH, 39,47 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>, enquanto o SPC consumiu 34,13 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>, para ambos os tratamentos esse consumo foi observado no dia 26 de janeiro de 2022, levando em consideração a ausência de chuvas neste período e a não realização de irrigação neste período. Ambos os consumos entre os tratamentos diferiram significativamente (Figura 10).

**Figura 10** - Emissões médias de CH<sub>4</sub> (g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dia) pelo solo, nos tratamentos T1-SPD e T2-SPDH na safra de couve-flor na safra de 2021/2022.



SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milho e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

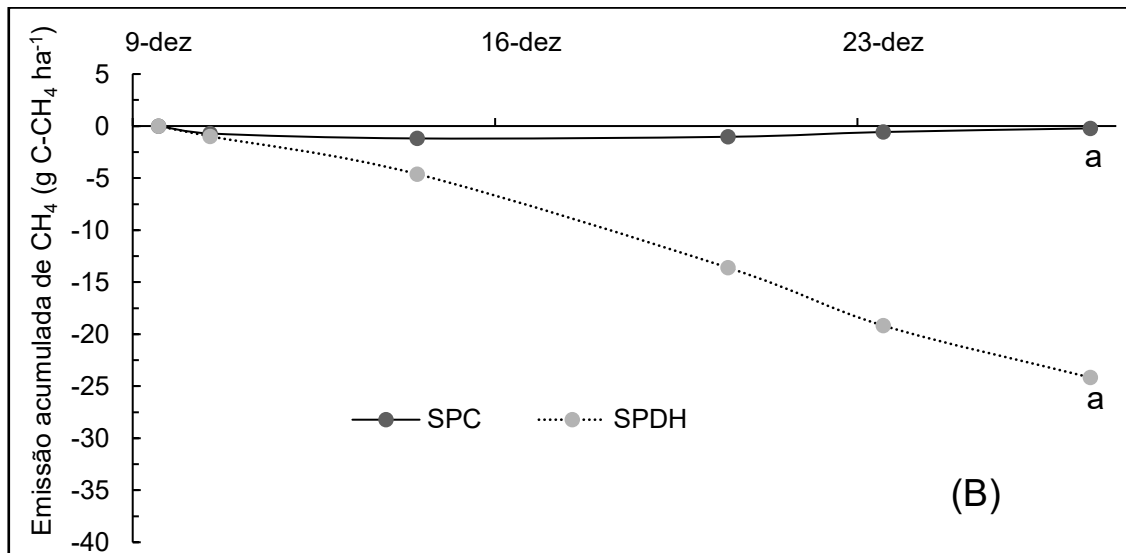
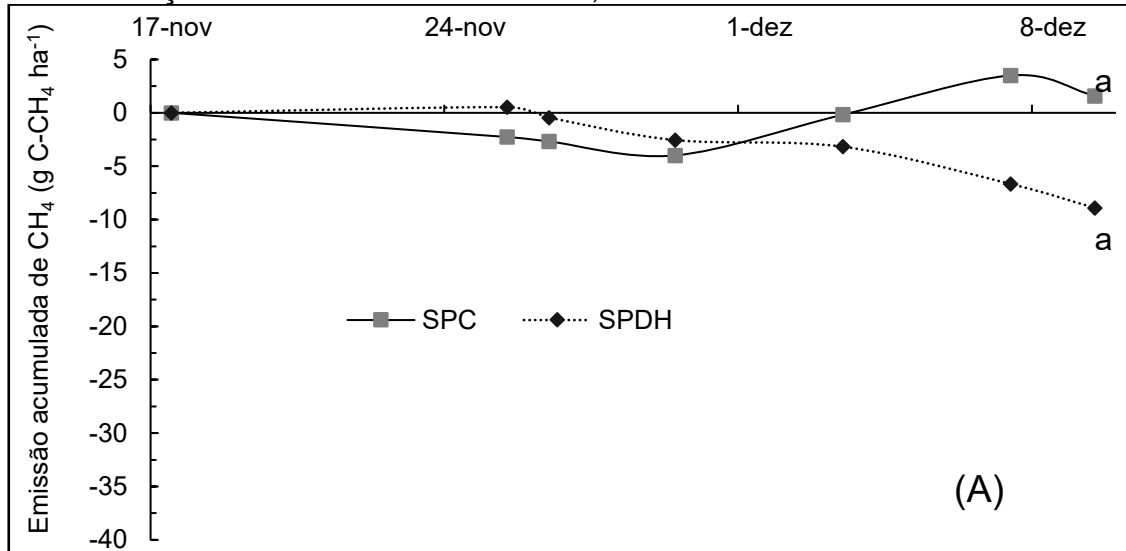
Em um experimento considerando diferentes níveis de palhada para a cultura da cana-de-açúcar, Vasconcelos et al. (2018) encontraram como resultado de sua pesquisa, que a presença de palhada no solo auxiliou na absorção do gás CH<sub>4</sub>, sendo verificado 40% maior do que em comparação com áreas onde todo resíduo vegetal foi retirado do solo, tendo em vista que muitos estudos apontam que essa alternância da absorção deste gás em virtude da umidade, temperatura, cobertura de solo e adubação.

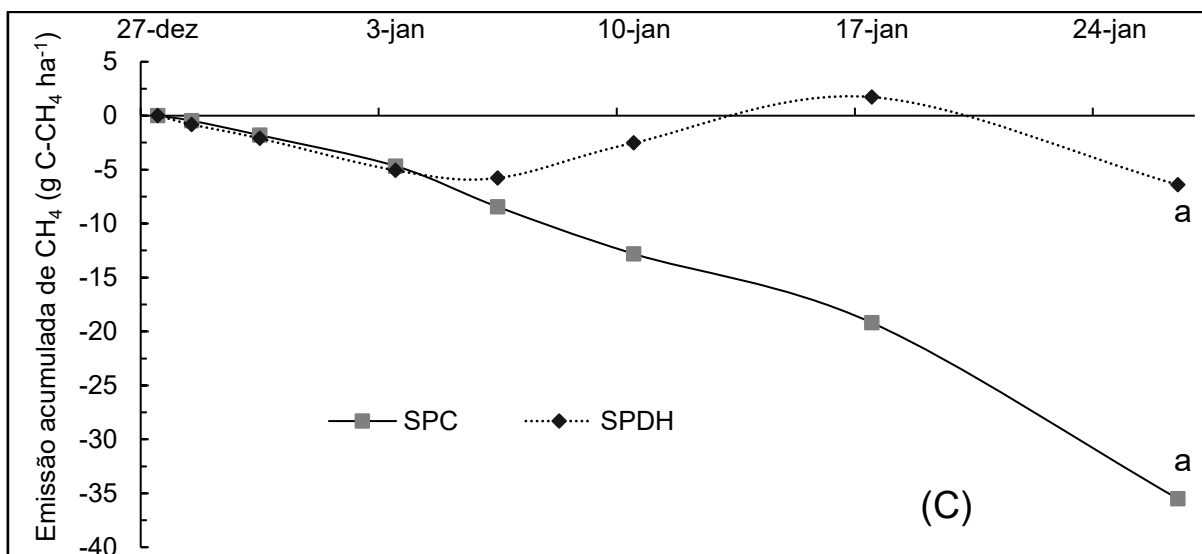
As diferenças observadas entre os tratamentos (Figura 10) estão associadas ao fato de serem duas áreas contrastantes, visto que no SPC o solo se encontrava totalmente descoberto e tendo como prática de manejo o revolvimento periódico do solo, enquanto no SPDH se tinha a presença de cobertura de solo, sendo esses fatores aliados as condições meteorológicas (Figura 2) observadas na área durante o período de coleta (SMITH *et al.*, 2018).

Resultados contrastantes foram entrados por Bayer et al. (2013), onde os autores relataram não haver diferenças de oxidação de CH<sub>4</sub> entre sistemas de manejo, considerando que nesta pesquisa se conclui que a melhoria dos indicadores de

qualidade do solo e a oxidação deste gás ocorre de formas distintas no mesmo solo, mas em condições de manejo conservacionistas diferentes. Adiante disso, é necessário lembrar que a capacidade de um solo de oxidar  $\text{CH}_4$  é lenta (VASCONCELOS et al., 2018).

**Figura 11** - Emissões médias acumuladas de  $\text{CH}_4$  ( $\text{g C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$ ) pelo solo, em cada ciclo adubação tratamentos SPC e SPDH, na safra de couve-flor no ano 2021/2022.





SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milho e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. (A) emissões médias acumuladas no período de 14 dias (25 de novembro de 2021 a 09 de dezembro de 2021) entre a aplicação de adubação mineral, (B) emissões médias acumuladas no período de 17 dias (10 de dezembro de 2021 a 27 de dezembro de 2021) entre a primeira aplicação de adubação mineral para a segunda aplicação, (C) emissões médias acumuladas no período de 30 dias (27 de dezembro de 2021 a 26 de janeiro de 2022) entre a terceira aplicação adubação nitrogenada e a última coleta de GEE. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

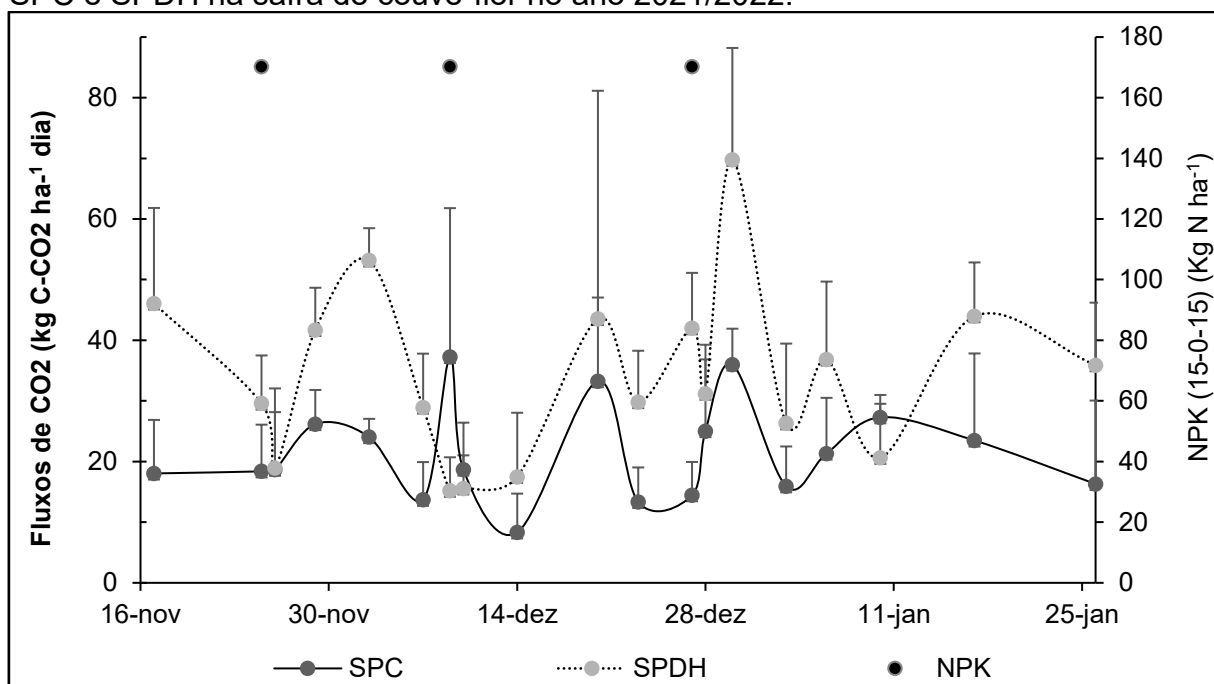
Na Figura 11-A e C são apresentados os valores médios de emissão de CH<sub>4</sub> considerando o primeiro e terceiro ciclo de adubação mineral, respectivamente. O segundo ciclo de adubação (Figura 11-B) foi único período onde foi constatado diferenças significativas entre os dois tratamentos, sendo verificado no SPC -1,19 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> (14 de dezembro de 2022), enquanto o SPDH teve um consumo de 24,17 g C-CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup>, 27 de dezembro de 2022. Estes resultados podem estar relacionados com as condições físicas do solo, pois no SPC foram evidenciadas as piores condições, com menores valores de DMG e maiores valores de densidade do solo apresentados na camada superficial de 0-10 cm (Tabelas 4 e 5).



## 6.7 Fluxo e emissão de CO<sub>2</sub> no solo

O pico dos fluxos médios de emissões diárias de CO<sub>2</sub> (Figura 12) foi observado na coleta 14, 30 de dezembro de 2021, para o SPDH, 69,77 Kg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dia, já no SPC, 37,25 Kg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dia, o pico de emissões diárias foi constatado na sétima coleta, 09 de dezembro de 2021.

**Figura 12** - Fluxos médios de CO<sub>2</sub> (Kg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dia) pelo solo, nos tratamentos SPC e SPDH na safra de couve-flor no ano 2021/2022.



SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milho e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor, com adubação NPK nos dois tratamentos. A variação das médias dos fluxos diários de C-CO<sub>2</sub> emitidos pelo solo foram expressas através do desvio padrão da média.

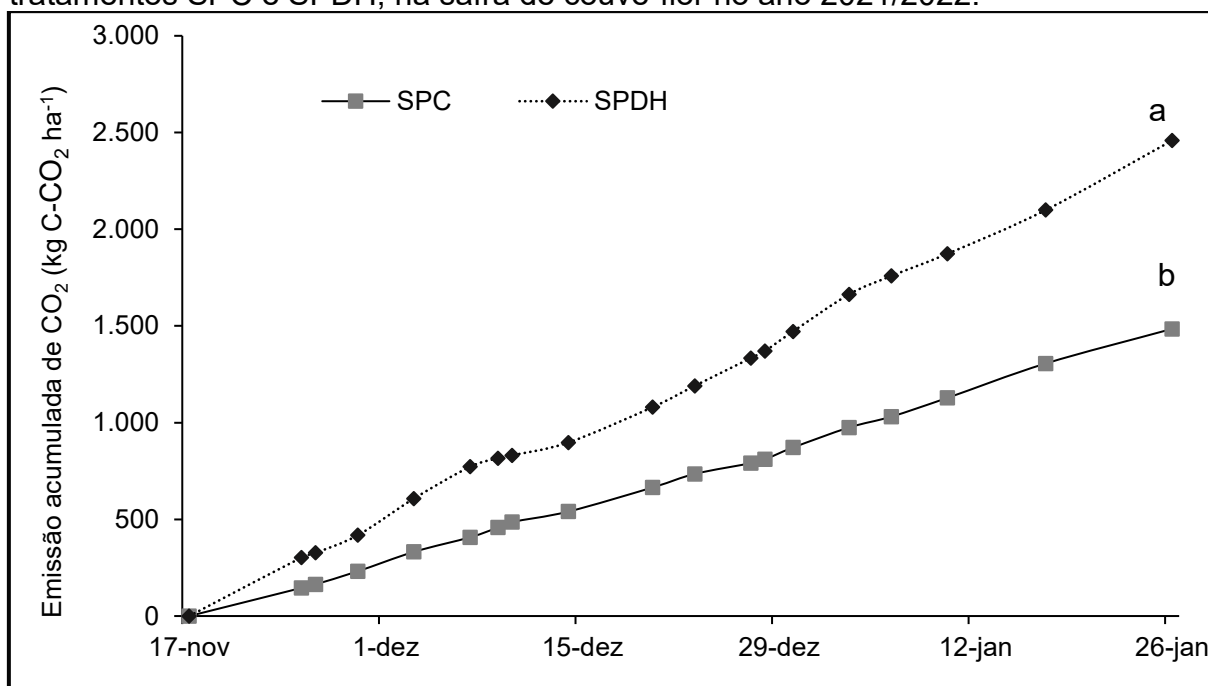
Considerando as emissões nos dois tratamentos é possível observar que no SPC durante as três primeiras coletas, as emissões se mantiveram constantes, já no SPDH as duas primeiras coletas apresentaram emissões superiores ao SPC, e isso se justifica pela presença de cobertura vegetal com menor relação C/N (devido a mucuna) e com os maiores teores de N no solo (Tabela 3), uma vez que a maior presença de N, seja nas plantas de cobertura como no solo, favorece a rápida decomposição do material vegetal presente sob a superfície do solo devido ao fornecimento deste elemento para a atividade biológica (CARVALHO et al., 2022; LIMA FILHO et al., 2014; SILVA, 2020). E dessa forma, possibilita a maior liberação

de C na forma de CO<sub>2</sub> durante este processo de decomposição da biomassa vegetal (SIQUEIRA NETO et al., 2011). Além disso, o SPDH apresenta mais C (teores e estoques) no solo do que o SPC (Tabela 2).

É possível constatar ainda que após a realização das adubações ocorreu picos de emissão de CO<sub>2</sub> em ambos os tratamentos, entretanto no SPDH se teve as maiores emissões em comparação ao SPC. E isso tem relação com a disponibilidade de N no solo em decorrência da adubação mineral, que oportuniza também um aumento na atividade biológica juntamente com a maior decomposição da palhada.

Os maiores valores observados para as emissões médias acumuladas de CO<sub>2</sub> foram 2458,65 kg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> no SPDH, enquanto no SPC foi verificada emissão de 1484,85 kg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>, sendo verificadas diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 13).

**Figura 13** - Emissões médias acumuladas de CO<sub>2</sub> (kg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>) pelo solo, nos tratamentos SPC e SPDH, na safra de couve-flor no ano 2021/2022.

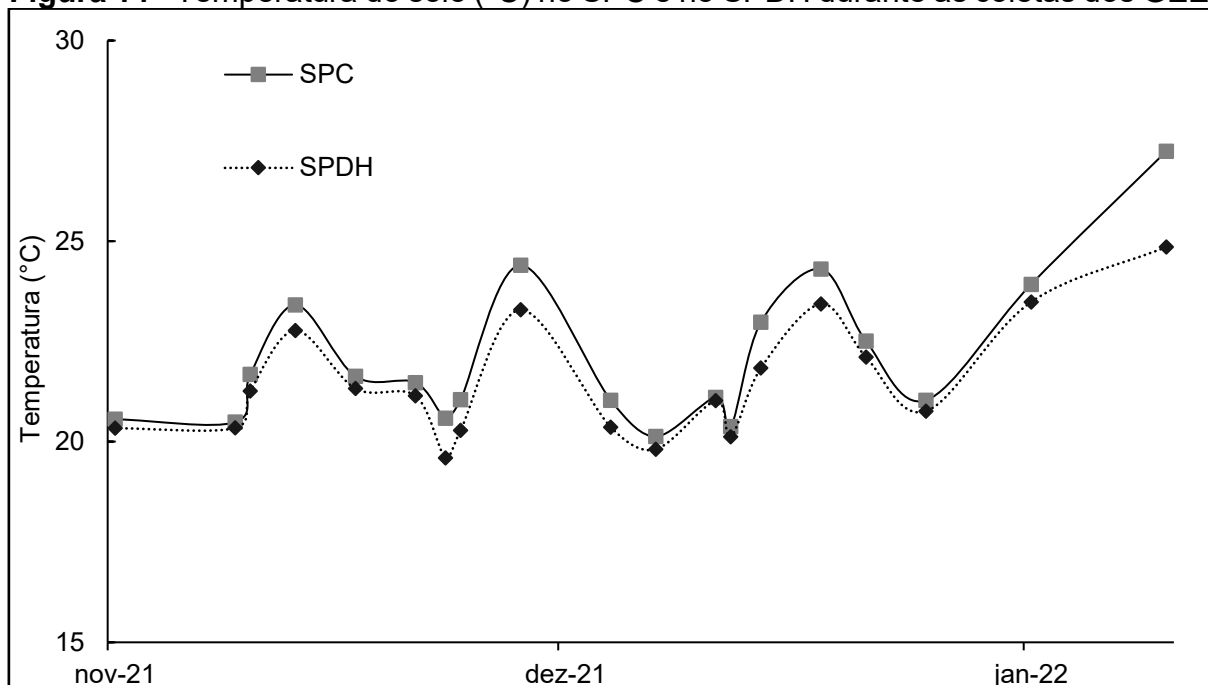


SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milheto e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

O SPC apresentou emissões acumuladas menores que o SPDH e isso está relacionado com a cobertura vegetal que foi utilizada no SPDH, uso de leguminosas com baixa relação C/N, somado com as adubações minerais realizadas, o que causa aumento da decomposição e mineralização da MOS (GIACOMINI et al., 2003).

Levando-se em consideração que na ocorrência de maior mineralização da matéria orgânica se tem maior atividade biológica no solo, e essa atividade/processo irá ocasionar em maior respiração destes microrganismos, resultando em maiores emissões de CO<sub>2</sub> (SPOSITO, 2016). Além disso, a atividade microbiana juntamente com as atividades enzimáticas decorrentes da presença de biomassa microbiana no solo tem potencial para aumentar a temperatura do solo (Figura 14), de forma a possibilitar a produção CO<sub>2</sub> pelo sistema (SMITH et al., 2018, LI et al., 2019).

**Figura 14** - Temperatura do solo (°C) no SPC e no SPDH durante as coletas dos GEE.

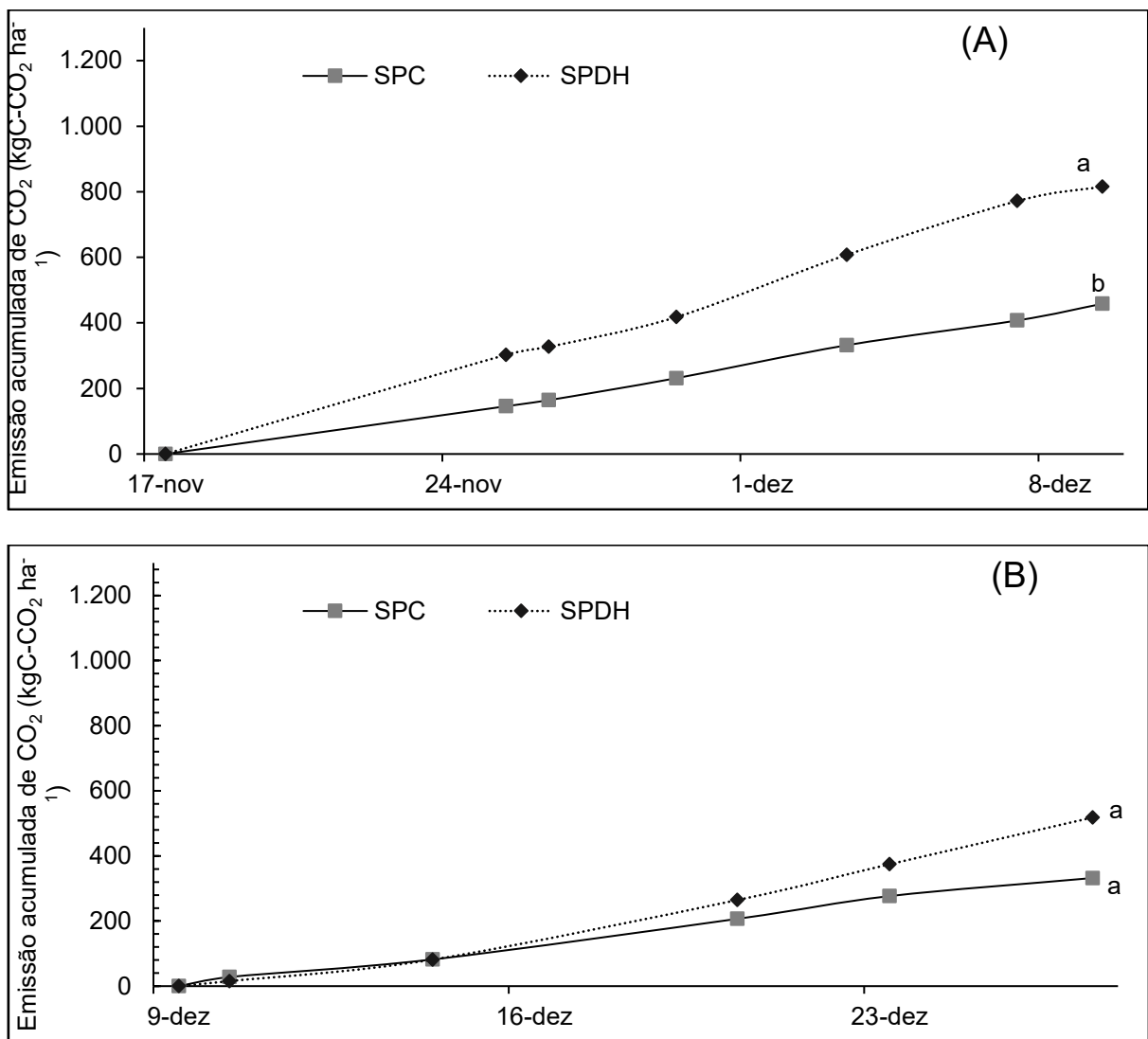


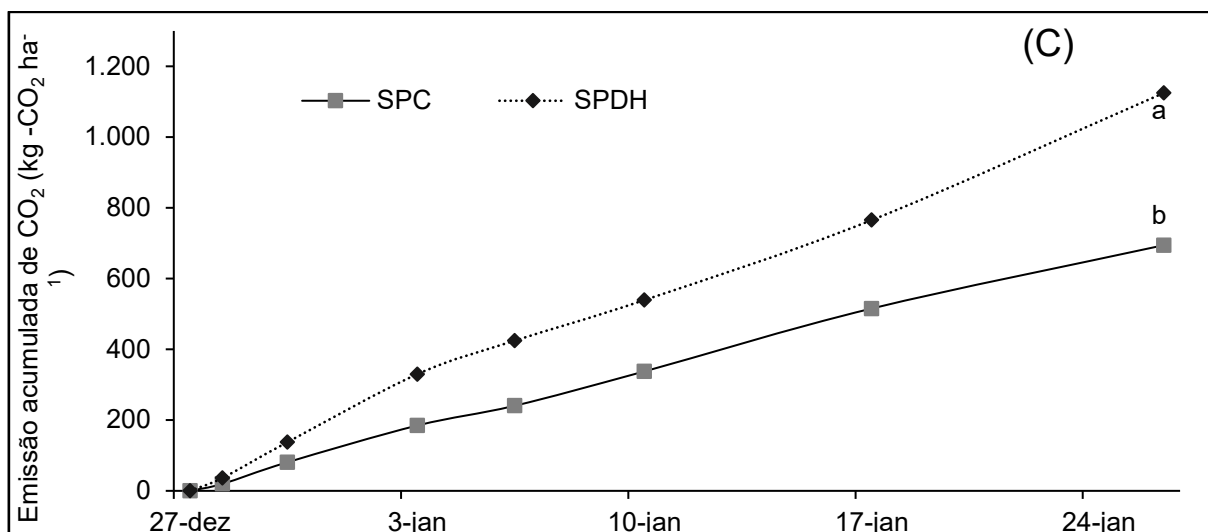
Monitoramento da temperatura do solo (°C) a 5 cm de profundidade em nos tratamentos SPC e SPDH durante o período de coleta dos gases de efeito estufa.

Ademais, o aumento nas emissões no SPDH tem relação direta com a quantidade de matéria orgânica sobre o solo, bem como o percentual de COT e NT superiores nas camadas superficiais em comparação ao SPC (Tabela 2 e 3). Conforme Giumbelli et al. (2021), para o SPDH em uma área consolidada, considerando a cultura da cebola, tem-se maiores teores de matéria orgânica leve e particulada, que são frações do C e N mais lábeis e facilmente decompostas pelos microrganismos, o que causa maiores emissões de CO<sub>2</sub>.

Considerando as emissões médias acumuladas de CO<sub>2</sub> em cada ciclo entre as aplicações de adubação mineral (Figura 15 A-B-C), verificaram-se diferenças significativas entre os tratamentos apenas para o primeiro ciclo de adubação (Figura 15 A), onde as maiores médias de emissões ocorreram em SPDH, com 815,86 Kg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>, enquanto no SPC foram 458,30 Kg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.

**Figura 15** - Emissões médias acumuladas de CO<sub>2</sub> (kg C-CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>) pelo solo, em cada ciclo entre aplicação de adubação mineral nos tratamentos SPC e SPDH, na safra de couve-flor no ano de 2021/2022.



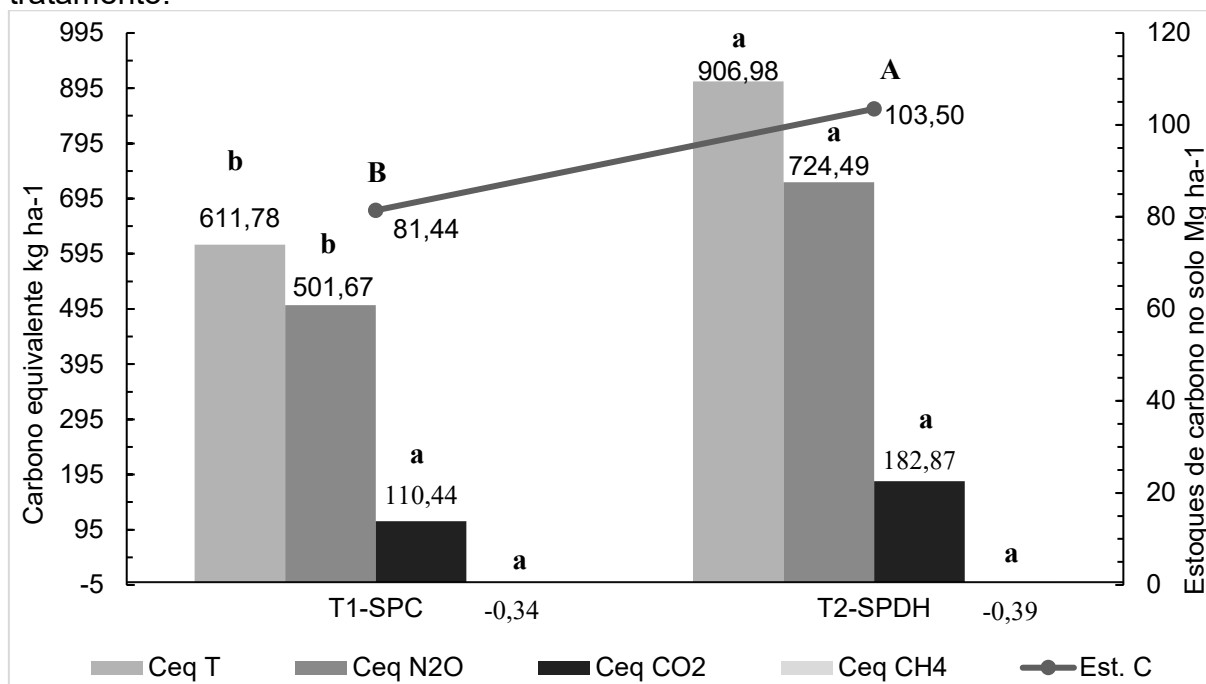


SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milho e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. (A) emissões médias acumuladas no período de 14 dias (25 de novembro de 2021 a 09 de dezembro de 2021) entre a aplicação de adubação mineral, (B) emissões médias acumuladas no período de 17 dias (10 de dezembro de 2021 a 27 de dezembro de 2021) entre a primeira aplicação de adubação mineral para a segunda aplicação, (C) emissões médias acumuladas no período de 30 dias (27 de dezembro de 2021 a 26 de janeiro de 2022) entre a terceira aplicação adubação nitrogenada e a última coleta de GEE. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

## 6.8 Carbono equivalente para neutralizar as emissões de N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>.

O carbono equivalente para possibilitar a neutralização das emissões (Figura 16) é maior para o SPDH em considerando o CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>. Entretanto, é possível observar que o N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> apresentam uma demanda superior ao CH<sub>4</sub> para que se tenha a mitigação nas emissões.

**Figura 16:** Carbono equivalente para neutralizar a emissão acumulada de N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> ao longo do ciclo da couve-flor e estoques de carbono no solo em cada tratamento.



SPC - sistema de preparo de convencional do solo, sem o uso de plantas de cobertura; SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (mucuna, milho e aveia-preta), para posterior plantio da couve-flor. Est. C – estoques de carbono no solo na camada de 0-30 cm em Mg ha<sup>-1</sup>, Ceq N<sub>2</sub>O – carbono equivalente para neutralizar as emissões de N<sub>2</sub>O, Ceq CH<sub>4</sub> - carbono equivalente para neutralizar as emissões de CH<sub>4</sub>, Ceq CO<sub>2</sub> - carbono equivalente para neutralizar as emissões de CO<sub>2</sub>. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

Sendo assim, podemos afirmar que o SPDH possui estoque de C suficiente mitigar todas as emissões do ciclo de produção da couve-flor, levando em consideração a camada 0-30 cm (Tabela 3). O SPC também apresentou resultados que proporcionam a mitigação dos GEEs.

Para a cultura da cebola, considerando a utilização de três sistemas de preparo do solo, SPDH, SPD e SPC, foi observado um balanço positivo entre as emissões e estoques de C em uma pesquisa com cebola, entretanto evidenciando que esses valores podem estar relacionados a ser um experimento de longa duração (14 anos) conduzido em área experimental (CÂMARA, 2022). Além disso, é importante salientar o processo de aumento dos estoques de C no solo é lento e que ocorre de forma gradativa (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

## 7 CONCLUSÃO

O SPDH se mostrou mais eficiente na produção de couve-flor, sendo que com o uso deste sistema se obteve uma produtividade 26,69% a mais que o SPC, considerando que ambos os sistemas receberam os mesmos tratos culturais e a mesma adubação mineral, ficando evidente os ganhos econômicos quando se implementa o Sistema de Plantio Direto de Hortaliças para a cultura da couve-flor.

O SPDH que utiliza como plantas de cobertura a mucuna, o milho e a aveia-preta foi mais eficiente quanto a melhoria dos atributos químicos e físicos do solo, considerando que para este tratamento se teve os maiores teores e estoques de COT e NT, ademais a isso, houve aumento do diâmetro médio geométrico e diminuição da densidade do solo em relação ao SPC.

O SPDH apresentou maior potencial de emissão de gases de efeito estufa, considerando as maiores emissões de CO<sub>2</sub> e de N<sub>2</sub>O, sendo que essa maior emissão de óxido nitroso é justificada pela adição de resíduos vegetais (plantas de cobertura) sob a superfície do solo de menor relação C/N. Sendo assim, pode-se afirmar que um solo com maior capacidade de armazenar N também terá uma emissão maior de N<sub>2</sub>O.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação do SPDH como sistema de manejo em uma das áreas do experimento é decorrente de 11 anos de manejo, seguindo as indicações propostas por este sistema conservacionista, como foi possível observar no experimento diferenças significativas nas propriedades edáficas em comparação ao uso SPC, é válido ressaltar que essas melhorias a longo prazo podem contribuir ainda mais para uma produção sustentável e para a garantia da saúde do solo.

A utilização de plantas de cobertura que possuem capacidade de fixar N no solo, potencializam o controle da dinâmica e liberação de N pelo solo na forma de  $N_2O$  para a atmosfera, reduzindo dessa forma a emissão do gás e por consequência auxiliando na redução do aquecimento global.

A emissão de  $CO_2$  foi superior no SPDH, considerando a presença de cobertura vegetal com menor relação C/N e também pela presença dos maiores teores de N no solo, visto que com isso se tem maior liberação de C na forma de  $CO_2$  neste processo de decomposição desta biomassa vegetal. Ambos os tratamentos tiveram a mesma dinâmica de aumento e redução de emissões em quase todo o ciclo de coletas, mesmo que apresentando valores distintos.

Considerando o período de experimento é possível observar que existem formas eficazes de mitigar as emissões de GEE, e isso se prova pelos resultados apresentados no SPDH que mesmo tendo emissões maiores, apresenta maior capacidade de armazenamento e os maiores teores e estoques de COT e NT no solo. Um trabalho relacionado a estimativa de pegada de carbono juntamente com mais anos de avaliações proporcionaria resultados completos e com perspectivas maiores de redução dos impactos da agricultura no aquecimento global.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Jalcione. A sociologia e as mudanças climáticas. **Sociologias**, [S. l.], v. 21, n. 51, p. 9–17, 2019. DOI: 10.1590/15174522-0215100. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/15174522-0215100>. Acesso em: 8 jun. 2022.

ALMEIDA, Risely Ferraz De; NAVES, Emmanuel Rezende; SILVEIRA, Camila Haddad; WENDLING, Beno. Emissão de Óxido Nitroso em Solos com Diferentes Usos e Manejos: Uma Revisão. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 441, 2015. DOI: 10.17765/2176-9168.2015v8n2p441-461. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8n2p441-461>.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; DE MORAES GONÇALVES, José Leonardo; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: [http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil?af=crossref](http://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref).

BATEMAN, E. J.; BAGGS, E. M. Contributions of nitrification and denitrification to N<sub>2</sub>O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and Fertility of Soils**, [S. l.], v. 41, n. 6, p. 379–388, 2005. a. DOI: 10.1007/S00374-005-0858-3/FIGURES/6. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-005-0858-3>. Acesso em: 13 jun. 2023.

BATISTA, G. G.; LIMA, M. A.; SILVA, J. A.; VILLELA, O. V.; Fluxos de metano em cultivo de arroz irrigado por inundação em sistema pré-germinado no município de Pindamonhangaba, SP. **9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015**.

BAYER, Cimélio et al. Yield-scaled greenhouse gas emissions from flood irrigated rice under long-term conventional tillage and no-till systems in a Humid Subtropical climate. **Field Crops Research**, [S. l.], v. 162, p. 60–69, 2014. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.03.015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2014.03.015>.

BAYER, Cimélio; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 86, n. 2, p. 237–245, 2006. DOI: 10.1016/j.still.2005.02.023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.023>.

BAYER, Cimélio; MARTIN-NETO, Ladislau; MIELNICZUK, João; PAVINATO, Aurélio. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S. l.], v. 39, n. 7, p. 677–683, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004000700009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700009>.

BAYER, Cimélio; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; TORNQUIST, Carlos Gustavo; CERRI, Carlos Eduardo Clemente; DIECKOW, Jeferson; ZANATTA, Josiléia Acordi; NICOLOSO, Rodrigo da Silveira. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. *Em: Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG: SBCS, 2011. v. 7p. 55–117.

BAYER, Cimélio; GOMES, Juliana; VIEIRA, Frederico Costa Beber; ZANATTA, Josiléia Accordi; PICCOLO, Marisa De Cássia; DIECKOW, Jeferson. Soil methane oxidation in a long-term no-tillage system in Southern Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 34, n. 4, p. 1695–1706, 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n4p1695. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/12202>. Acesso em: 02 de jun. 2023.

BESEN, Marcos; RIBEIRO, Ricardo; RIGO, Alessandra; IWASAKI, Guilherme; PIVA, Jonatas. Soil conservation practices and greenhouse gases emissions in Brazil. **Scientia Agropecuaria**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 429–439, 2018. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2018.03.15. Disponível em: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/2090>.

BERTOLDI, I. R., FERNANDES, G. M., ARAUJO, M. A., USHIWATA, S. Y., POLZIN, L. G., & MIOTO, L. S. (2017). MACRO, MICRO E POROSIDADE TOTAL DO SOLO EM DUAS ÁREAS SOB SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA IMPLANTADO EM ÉPOCAS DISTINTAS. X EPCC - **Encontro Internacional de Produção Científica**. <http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/1238>

BORTOLI, Marcelo; KUNZ, Airton; SOARES, Hugo Moreira; FILHO, Paulo Belli; DA COSTA, Rejane Helena Ribeiro. Emissão de óxido nitroso nos processos de remoção biológica de nitrogênio de efluentes. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 01–06, 2012. b. DOI: 10.1590/S1413-41522012000100003. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/esa/a/HtrgdCdPdT9b6hxSmhYZfkx/?lang=pt>. Acesso em: 25 nov. 2022.

BORTOLINI, Juliana Gress et al. Soil Carbon, Glomalin, And Aggregation in Onion Crop Under No-Tillage with Cover Crops or Conventional Tillage Systems for Eight Years. **Journal of Agricultural Studies**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 130, 2021. DOI: 10.5296/jas.v9i2.18196. Disponível em: <http://www.macrothink.org/journal/index.php/jas/article/view/18196>.

BORTOLON, Elisandra Solange Oliveira; MIELNICZUK, João; TORNQUIST, Carlos Gustavo; LOPES, Fabíola; FERNANDES, Flavia Fontana. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 33, n. 6, p. 1635–1646, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000600012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600012>.

BRUNETTO, Gustavo; CERETTA, Carlos Alberto; BASTOS DE MELO, George Wellington; KAMINSKI, João; TRENTIN, Gustavo; GIROTTTO, Eduardo; FERREIRA, Paulo Ademar Avelar; MIOTTO, Alcione; TRIVELIN, Paulo Cesar Ocheuze. Contribution of nitrogen from agricultural residues of rye to ‘Niagara Rosada’ grape nutrition. **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v. 169, p. 66–70, 2014. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.02.019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.02.019>.

BRUNETO, G; ROZANE, E; MELO, G; ZALAMENA, J; GIROTTTO, E; LOURENZI, C; COUTO, R; KAMINSKI, J. Manejo de Fertilidade de Solos em Pomares de Frutíferas de Clima Temperado. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2016.

BUCHKINA, N. P.; BALASHOV, E. V.; RIZHIYA, E. Y.; SMITH, K. A. Nitrous oxide emissions from a light-textured arable soil of North-Western Russia: effects of crops, fertilizers, man-ures and climate parameters. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. 2010; 87, p. 429-442.

CAMPOS, B. H.; AMADO, T. J.; BAYER, C.; NICOLOSO, R. S.; FIORIN, J. Estoque e compartimentos de carbono em um latossolo vermelho subtropical sob diferentes sistemas de longo prazo de preparo e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, ed 35, 2011.

CAS, Véra Lucia Simon Da. **Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo com o uso de lodo de esgoto e palha de aveia**. 2009. Universidade Federal de Santa Maria, [S. l.], 2009.

CARVALHO, Arminda Moreira; ALVES, Bruno José Rodrigues; PEREIRA, Lara Line. Emissão de óxido nitroso do solo com aplicação de fertilizantes nitrogenados em sistema de plantio direto no cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Planaltina, v. 281, p. 1–14, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/883923/1/bolpd281.pdf>.

CARVALHO, João Luis Nunes; AVANZI, Junior Cesar; SILVA, Marx Leandro Naves; MELLO, Carlos Rogério De; CERRI, Carlos Eduardo Pellegrino. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 277–290, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000200001. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832010000200001&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000200001&lng=pt&tlng=pt).

CARVALHO, Martha Lustosa; VANOLLI, Beatriz da Silva; SCHIEBELBEIN, Bruna Emanuele; BORBA, Daniel Aquino De; LUZ, Felipe Bonini Da; CARDOSO, Gabriela Marques; BORTOLO, Larissa de Souza; MAROSTICA, Maria Emília Moreira; SOUZA, Victória Santos. **Guia prático de plantas de cobertura: aspectos filotécnicos e impactos sobre a saúde do solo**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2022. v. 1 DOI: 10.11606/9786589722151. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/9786589722151>. Acesso em: 21 jun. 2023.

CERRI, Carlos Clemente et al. Greenhouse gas mitigation options in Brazil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agricola**, [S. l.], v. 67, n. 1, p. 102–116, 2010. DOI: 10.1590/S0103-90162010000100015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000100015>.

COMIN, Jucinei José et al. Carbon and nitrogen contents and aggregation index of soil cultivated with onion for seven years using crop successions and rotations. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 184, p. 195–202, 2018. DOI: 10.1016/J.STILL.2018.08.002. Acesso em: 7 jul. 2022.

COSTA, Falberni de Souza; BAYER, Cimélio; ZANATTA, Josiléia Acordi; MIELNICZUK, João. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 32, n. 1, p. 323–332, 2008. a. DOI: 10.1590/S0100-06832008000100030. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832008000100030&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100030&lng=pt&tlng=pt).

COSTA, F.S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Revista Ciência Rural**, v. 36, p. 693-700, 2006.

COSTA, Falberni Souza; BAYER, Cimélio; LIMA, Magda Aparecida De; FRIGHETTO, Rosa Toyoko Shiraishi; MACEDO, Vera Regina Mussoi; MARCOLIN, Elio. Variação diária da emissão de metano em solo cultivado com arroz irrigado no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, [S. l.], v. 38, n. 7, p. 2049–2053, 2008. b. DOI: 10.1590/S0103-84782008000700041. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782008000700041&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782008000700041&lng=pt&tlng=pt).

CQFS -RS/SC, Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. [s.l.]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016.

DE SOUZA, Jacimar Luis; PREZOTTI, Luiz Carlos; GUARÇONI M, André. Potencial de seqüestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa. **Idesia (Arica)**, v. 30, n. 1, p. 7-15, 2012.

DODGE, Yadolah. Least Significant Difference Test. *Em: The Concise Encyclopedia of Statistics*. New York, NY: Springer New York, 2008. v. 1p. 302–304. DOI: 10.1007/978-0-387-32833-1\_226.

DORTZBACH, DENILSON; VIEIRA, VALCI FRANCISCO; TRABAQUINI, K.; BLAINSKI, E.; FRONZA, Eduardo; LOSS, ARCÂNGELO. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa do setor agropecuário de Santa Catarina, Brasil. **Agroindustrial Science**, v. 11, p. 305-313, 2021.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Documento 132, 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Wenceslau-Teixeira/publication/267038200\\_Manual\\_de\\_Metodos\\_de\\_Analise\\_de\\_Solo\\_2a\\_Edicao/links/5442ea7c0cf2e6f0c0f9390d/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2a-Edicao.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Wenceslau-Teixeira/publication/267038200_Manual_de_Metodos_de_Analise_de_Solo_2a_Edicao/links/5442ea7c0cf2e6f0c0f9390d/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2a-Edicao.pdf). EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF.

EMBRAPA, Hortaliças. Plantio direto tem potencial para sequestrar carbono na produção de hortaliças. **Produção Vegetal** - DF, 2018.

EMBRAPA. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: emissões de metano no cultivo de arroz. **Ministério da Ciência e Tecnologia**, 2006c. 58p.

ESCOBAR, Luisa Fernanda; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; BAYER, Cimélio; CHAVEZ, Luis Fernando; ZANATTA, Josiléia Acordi; FIORIN, Jackson Ernani. Postharvest nitrous oxide emissions from a subtropical oxisol as influenced by summer crop residues and their management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 507–516, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000200024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200024>.

EPAGRI. **Infoagro: Produção Vegetal**. 2019. Disponível em: <https://www.infoagro.sc.gov.br/index.php/safra/producao-vegetal>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2022.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO<sub>2</sub> efflux on temperature. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], v. 33, n. 2, p. 155–165, 2001. DOI: 10.1016/S0038-0717(00)00125-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.02.021>.

FAYAD, Jamil Abdalla; ARL, Valdemar; COMIN, Jucinei José; MAFRA, Álvaro Luiz; MARCHESI, Darlan Rodrigo. **Sistema de plantio direto de hortaliças Método de transição para um novo modo de produção**. 1. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2019. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/solucoes/publicacoes/publicacao-em-destaque-livro-02/>.

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. **REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, [S. l.], v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450. Disponível em: <https://biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso em: 02 de mar. 2021.

FROUZ, J.; PIZL, V.; CIENCIALA, E.; KALCIK, J. Carbon storage in post-mining forest, the role of tree biomass and soil bioturbation. **Biogeochemistry**, v. 94, p. 111-121, 2009.

FORSTER, Piers et al. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. *Em: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. United Kingdom: Cambridge University Press, 2005. p. 129–234.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 325–334, 2003. DOI: 10.1590/S0100-06832003000200012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200012>.

GIACOMINI, S.J. Consorciação de plantas de cobertura no outono/inverno e fornecimento de nitrogênio ao milho em sistema plantio direto. Dissertação de **Mestrado**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 124p.

GIUMBELLI, Lucas Dupont et al. Aggregation index, carbon, nitrogen, and natural abundance of  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  in soil aggregates and bulk soil cultivated with onion under crop successions and rotations. **Soil Research**, [S. l.], v. 58, n. 7, p. 622–635, 2020. DOI: 10.1071/SR19346.

GIUMBELLI, Lucas Dupont; LOSS, Arcângelo; KURTZ, Claudinei; MAFRA, Álvaro Luiz; PICCOLO, Marisa De Cássia; TORRES, José Luiz Rodrigues; LOURENZI, Cledimar Rogério; BRUNETTO, Gustavo; COMIN, Jucinei José. Combinations of Plant Species for Rotation With Onion Crops: Effects on the Light Fraction, Carbon, and Nitrogen Contents in Granulometric Fractions of the Soil Organic Matter. **Journal of Agricultural Studies**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 202, 2021. DOI: 10.5296/jas.v9i1.17930. Disponível em: <http://www.macrothink.org/journal/index.php/jas/article/view/17930>.

GLATZEL, Stephan; STAHR, Karl. Methane and nitrous oxide exchange in differently fertilised grassland in southern Germany. **Plant and Soil**, [S. l.], v. 231, n. 1, p. 21–35, 2001. DOI: 10.1023/A:1010315416866. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010315416866>.

GOMES, F.; FACHINELLO, J; MEDEIROS, A.R.M.D.; GIACOBBO, C.L. SANTOS, I.P.D. Influência do manejo do solo e da intensidade de raleio de frutas, no crescimento e qualidade de pêssegos, cvs. cerrito e chimarrita. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 27: 60 -63, 2005.

GOMES JR, F. G.; CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob. Biologia e manejo de plantas daninhas em áreas de plantio direto. **Planta daninha**, v. 26, p. 789-798, 2008.

GOODY, Richard Mead; WALKER, James Callan Gray. **Atmosferas planetárias**. [s.l.] : Edgard Blucher, 1996.

GUEDES FILHO, O.; DA SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under



no-tillage. **Geoderma**, [S. l.], v. 204–205, p. 94–101, 2013. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.04.017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.017>. Acesso em: 02 de jun. 2023.

HARRISON-KIRK, T.; BEARE, M. H.; MEENKEN, E. D.; CONDRON, L. M. Soil organic matter and texture affect responses to dry/wet cycles: Changes in soil organic matter fractions and relationships with C and N mineralisation. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], v. 74, p. 50–60, 2014. DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.02.021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.02.021>. Acesso em: 20 de mar. 2021.

HUANG, Yao; ZOU, Jianwen; ZHENG, Xunhua; WANG, Yuesi; XU, Xingkai. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratios. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], v. 36, n. 6, p. 973–981, 2004. DOI: 10.1016/J.SOILBIO.2004.02.009. Acesso em: 26 de mai. 2023.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. DOI: 10.1017/CBO9781107415416. Disponível em: <http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9781107415416>.

IPCC. **Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 °C Above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty**. [s.l.] : Cambridge University Press, 2022. v. 5 DOI: 10.1017/9781009157940. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781009157940/type/book>.

IPCC, I. P. ON C. C. **Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change**. [s.l.] In Press, 2018.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. DOI:

10.1017/CBO9781107415416. Disponível em:  
<http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9781107415416>.

JANTALIA, Claudia P.; DOS SANTOS, Henrique P.; URQUIAGA, Segundo; BODDEY, Robert M.; ALVES, Bruno J. R. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [S. l.], v. 82, n. 2, p. 161–173, 2008. DOI: 10.1007/S10705-008-9178-Y/TABLES/5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-008-9178-y>. Acesso em: 3 jun. 2023.

JOHNSON, J.M.F.; REICOSKY, D.C.; ALLMARAS, R.R.; SAUER, T.J.; VENTEREA, R.T.; DELL, C.J. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agriculture in the central USA. **Soil e Tillage Research**, n. 83, p. 73-94, 2005.

JONES, Curtis D.; FRAISSE, Clyde W.; OZORES-HAMPTON, Monica. Quantification of greenhouse gas emissions from open field-grown Florida tomato production. **Agricultural systems**, v. 113, p. 64-72, 2012.

JUNGES, Alexandre Luis; MASSONI, Neusa Teresinha. O Consenso Científico sobre Aquecimento Global Antropogênico: Considerações Históricas e Epistemológicas e Reflexões para o Ensino dessa Temática. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], p. 455–491, 2018. DOI: 10.28976/1984-2686RBPEC2018182455. Disponível em:  
<https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4761>. Acesso em:

JUNGES, Alexandre Luis; SANTOS, Vinícius Yuri; MASSONI, Neusa Teresinha; SANTOS, Francineide Amorim Costa. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 126–151, 2018. Disponível em:  
<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/194261/001085731.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, [S. l.], v. 123, n. 1–2, p. 1–22, 2004. DOI: 10.1016/j.geoderma.2004.01.032. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>. Acesso em: 05 de mar. 2021.

LI, Xiaoxi; PETERSEN, Søren O.; SØRENSEN, Peter; OLESEN, Jørgen E. Effects of contrasting catch crops on nitrogen availability and nitrous oxide emissions in an organic cropping system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 199, p. 382–393, 2015. DOI: 10.1016/J.AGEE.2014.10.016. Acesso em: 01 de jun. 2023.

LIMA, M. A.; PESSOA, M. C. P. Y.; VILELLA, O. V. Emissão em cultivo de arroz irrigado por inundação. In: ARAÚJO, A. P.; ALVES, B. J. R. Tópicos em Ciência do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2013. v.8. p 93-139. LIMA FILHO, Oscar Fontão De; AMBROSANO, Edmilson José; ROSSI, Fabrício; CARLOS, José Aparecido Donizeti; EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil : fundamentos e prática**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2014. v. 2. Acesso em: 1 jun. 2023.

LIMA, Carlos E. P. et al. Effects of Five Years Adoption of No-Tillage Systems for Vegetables Crops in Soil Organic Matter Contents. **Agricultural Sciences**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 117–128, 2018. DOI: 10.4236/AS.2018.91009. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=82048>. Acesso em: 3 jun. 2023.

LOSS, Arcângelo; JUNIOR, Elano Dos Santos; SCHMITZ, Daniela; DA VEIGA, Milton; KURTZ, Claudinei; COMIN, Jucinei José. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 105–113, 2017. DOI: 10.17584/rcch.2017v11i1.6144. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6144>. Acesso em: 20 de março de 2021.

LOSS, Arcângelo et al. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 39, n. 4, p. 1212–1224, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbc20140718. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/sPQvjG8jFjgvjcJJXpxRkkG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 de março de 2021.

LOSS, Arcângelo; FERREIRA, Lucas Borges; GONZATTO, Rogério; GIUMBELLI, Lucas Dupont; MAFRA, Álvaro Luiz; GOEDEL, Aline; KURTZ, Claudinei. Efeito da

sucessão ou rotação de culturas sobre a fertilidade do solo após sete anos de cultivo com cebola. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 16587–16606, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n3-507. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700029>. Acesso em: 02 de mai. 2023.

LOSS A, BASSO A, OLIVEIRA BS, KOUCHER LP, OLIVEIRA RA, KURTZ C, LOVATO PE, CURMI P, BRUNETTO G, COMIM JJ. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Rev Bras Cienc Solo**. 2015;39:1212-24. doi:10.1590/01000683rbc20140718.

LOBO, Thomaz Figueiredo; GRASSI FILHO, Helio; BÜLL, Leonardo Theodoro. Rendimento de massa de matéria seca e relação C/N da aveia preta em função do lodo de esgoto e adubação nitrogenada. **Bioscience Journal**, p. 224-234, 2012.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:175-187, 2004.

MAKISHIMA, Nozomu. **O cultivo de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CNPQ, 1993., 1993.

MARUELLI, Waldir Aparecido et al. Eficiência de uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 369-375, 2010.

MAY A; TIVELLI SW; VARGAS PF; SAMRA AG; SACCONI LV; PINHEIRO MQ. 2007. A cultura da couve-flor. Campinas: **IAC** (Boletim Técnico, 200). Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/Btonline/Publiconline.asp>.

MENDES, D.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 211-220, 2006.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. MCTI. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: Acesso em: 01 de fevereiro de 2022.

MONTEIRO, Ana Flavia Martins; YAMAMOTO, Ana Letícia Campos; SILVA, Paola do Nascimento; REBOITA, Michelle Simões. Conhecer a complexidade do sistema climático para entender as mudanças climáticas. **Terrae Didactica**, [S. l.], v. 17, p. 1–12, 2021. DOI: 10.20396/td.v17i00.8663763.

MOSIER, Arvin; WASSMANN, Reiner; VERCHOT, Louis; KING, Jennifer; PALM, Cheryl. Methane and Nitrogen Oxide Fluxes in Tropical Agricultural Soils: Sources, Sinks and Mechanisms. **Environment, Development and Sustainability**, [S. l.], v. 6, n. 1/2, p. 11–49, 2004. DOI: 10.1023/B:ENVI.0000003627.43162.ae. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1023/B:ENVI.0000003627.43162.ae>.

MÜLLER JÚNIOR, Vilmar et al. Nitrous Oxide Emissions in No-Tillage Onion (Allium cepa L.) Crops Are Increased by Oilseed Radish Cover Crop and Poultry Manure Application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 43, 2019. DOI: 10.1590/18069657rbcS20180116. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832019000100511&tIng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832019000100511&tIng=en).

NICOLOSO, Rodrigo da Silveira. Estoques e mecanismos de estabilização do carbono orgânico do solo em agroecossistemas de clima temperado e sub-tropical. **Tese de doutorado**. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

NIEBERT, Kai; GROENGIESSER, Harald. Understanding the Greenhouse Effect by Embodiment – Analysing and Using Students’ and Scientists’ Conceptual Resources. **International Journal of Science Education**, [S. l.], v. 36, n. 2, p. 277–303, 2014. DOI: 10.1080/09500693.2013.763298. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500693.2013.763298>.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, [S. l.], v. 76, n. 1–3, p. 319–337, 1984. DOI: 10.1007/BF02205590. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/BF02205590>. Acesso em: 1 jun. 2023.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; PANDEY, J. S. Carbon footprint: current methods of estimation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 178, p. 135–160, 2011.

PAULA, Kelvin Gabriel Sant Anna De; PESSOA, Moisés Sena; ABRÃO, Flávia Oliveira. Emissão de metano na pecuária: relação causa-efeito e mecanismos modulatórios. **Pubvet**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 1–11, 2019. DOI: 10.31533/pubvet.v13n01a259.1-11. Disponível em: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n01a259.1-11>. Acesso em: 15 de mar. 2021.

PEREIRA, Breno de Jesus; CECÍLIO FILHO, Arthur Bernardes; LA SCALA, Newton. Greenhouse gas emissions and carbon footprint of cucumber, tomato and lettuce production using two cropping systems. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 282, p. 124517, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124517. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124517>. Acesso em: 02 de fev. 2021.

PIERREHUBERT, Raymond T. Warming the world. **Nature**, [S. l.], v. 432, n. 7018, p. 677–677, 2004. DOI: 10.1038/432677a. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/432677a>.

PIMENTEL, L. G. Emissão de óxido nitroso do solo em sistemas de sucessão de culturas e sua relação com a qualidade do resíduo vegetal. 2014. 64f. **Dissertação (Mestrado)** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, RS, 2014.

PRASAD, J. V. N. S.; RAO, Ch Srinivasa; SRINIVAS, K.; JYOTHI, Ch Naga; VENKATESWARLU, B.; RAMACHANDRAPPAN, B. K.; DHANAPAL, G. N.; RAVICHANDRA, K.; MISHRA, P. K. Effect of ten years of reduced tillage and recycling of organic matter on crop yields, soil organic carbon and its fractions in Alfisols of semi arid tropics of southern India. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 156, p. 131–139, 2016. DOI: 10.1016/J.STILL.2015.10.013. Acesso em: 6 jul. 2022.

PUGLISI, Edoardo; FRAGOULIS, George; RICCIUTI, Patrizia; CAPPALÀ, Fabrizio; SPACCINI, Riccardo; PICCOLO, Alessandro; TREVISAN, Marco; CRECCHIO, Carmine. Effects of a humic acid and its size-fractions on the bacterial community of soil rhizosphere under maize (*Zea mays* L.). **Chemosphere**, [S. l.], v. 77, n. 6, p. 829–837, 2009. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2009.07.077.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades Físicas do Solo. Universidade Federal de Santa Maria, **Centro de Ciências Rurais**, 2006. 18p.

RIBEIRO, Kelly; SOUSA-NETO, Eráclito Rodrigues De; CARVALHO, João Andrade De; SOUSA LIMA, José Romualdo De; MENEZES, Rômulo Simões Cezar; DUARTE-NETO, Paulo José; DA SILVA GUERRA, Glauce; OMETTO, Jean Pierre Henry Baulbaud. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 571, p. 1048–1057, 2016. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2016.07.095. Acesso em: 2 jun. 2023.

RITTL, Tatiana F. et al. Altas taxas de aplicação de biocarvão para mitigar as emissões de N<sub>2</sub>O de um solo tropical fertilizado com N sob condições de aquecimento. **Fronteiras da Ciência Ambiental**, v. 8, p. 611873, 2021.

ROBACER, M.; CANALI, S.; KRISTENSEN, H.L.; BAVEC, F.; MLAKAR, S.G.; JAKOP, M.; BAVEC, M. Cover crops in organic field vegetable production. **Scientia Horticulturae**, 208:104-110, 2016.

RUEDA, E. E. P. Utilização de altas diluições na produção orgânica de repolho, brócolis e couve-flor. 2013. 67 p. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

SARANDÓN, S. J.; FLORES, C. C. Evaluación De La Sustentabilidad En Agroecosistemas: **Una Propuesta Metodológica**. **Agroecología** 4: 19-28, 2009.

SANTOS, T. DE L. et al. **Pegada de Carbono de Produtos Agrícolas: Estudo de Caso do Melão**. Documento ed. Fortaleza: EMBRAPA, 2013.

SIQUEIRA NETO, Marcos; VENZKE FILHO, Solismar de Paiva; PICCOLO, Marisa de Cássia; CERRI, Carlos Eduardo Pellegrino; CERRI, Carlos Clemente. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR): I - Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 33, n. 4, p. 1013–1022, 2009. DOI:

10.1590/S0100-06832009000400025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400025>. Acesso em: 1 jun. 2023.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; SÁ, J.C.M. & ALBRECHT, A. Soil carbon matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: Effects of no-tillage. **Agronomie**, 22:755-775, 2002.

SCHAUFLER, G.; KITZLER, B.; SCHINDLBACHER, A.; SKIBA, U.; SUTTON, M. A.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: Effects of soil moisture and temperature. **European Journal of Soil Science**, [S. l.], v. 61, n. 5, p. 683–696, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2010.01277. x.

SCHIRMANN, Janquieli; BASTOS, Diego Fernandes De; WEILER, Douglas Adams; VELOSO, Murilo G.; DIECKOW, Jeferson; CARVALHO, Paulo Cesar de Faccio; BAYER, Cimélio. Nitrous oxide emission factor from cattle urine and dung in native grassland of the Pampa biome, South Brazil. **Soil Research**, [S. l.], v. 58, n. 2, p. 198, 2020. b. DOI: 10.1071/SR19095. Disponível em: <http://www.publish.csiro.au/?paper=SR19095>.

SCOPEL, E.; TRIOMPHE, B.; AFFHOLDER, F.; SILVA, F.A.M.; CORBEELS, M.; XAVIER, J.H.V.; LAHMAR, R.; RECOUS, S.; BERNOUX, M.; BLANCHART, E.; MENDES, I.C.; TOURDONNET, S. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. **A review. Agronomy for Sustainable Development**, 33(1): 113-130, 2013.

SILVA, Romildo Da. **Potencial da Mucuna Preta como adubo verde para o arroz-de-sequeiro em Latossolo Amarelo da Amazônia**. 2020. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020. DOI: 10.11606/T.11.2020.tde-20200111-142239. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-20200111-142239/>. Acesso em: 1 jun. 2023.

SMITH, K. A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K. E.; MASSHEDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Science**, [S. l.],



v. 69, n. 1, p. 10–20, 2018. DOI: 10.1111/ejss.12539. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ejss.12539>. Acesso em: 12 de mai. 2023.

SNYDER, C. S.; BRUULSEMA, T. W.; JENSEN, T. L.; FIXEN, P. E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 133, n. 3–4, p. 247–266, 2009. DOI: 10.1016/j.agee.2009.04.021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880909001297>.

SOUZA, Monique et al. Soil chemical properties and yield of onion crops grown for eight years under no-tillage system with cover crops. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 208, p. 104897, 2021. DOI: 10.1016/J.STILL.2020.104897. Acesso em: 02 de mai. 2023.

SPOSITO, Garrison. **The Chemistry of Soils**. 3. ed. [s.l.]: Oxford University Press, 2016.

STEWART, C.E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R.T.; PLANTE, A.F. & SIX, J. Soil C saturation: Concept, evidence, and evaluation. **Biogeochemistry**, 86:19-31, 2007.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.; JANTALIA, C.; BODDLEY, R. Variações nos estoques de carbono e emissões de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: uma análise crítica. **Informações agrônomicas**, n° 130, 2010.

TEDESCO, José Marino; GIANELLO, Clesio; BISSANI, Carlos Alberto; BOHNEN, Humberto; VOLKWEISS, Sérgio Jorge. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre. Acesso em: 01 de mar. 2021.

TEIXEIRA, Paulo César et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa**, 2017.

TEIXEIRA, Cláudia Echevengua; TORVES, Jaqueline Corrêa; FINOTTI, Alexandra Rodrigues; FEDRIZZI, Franciele; MARINHO, Fernando Antônio Medeiros; TEIXEIRA, Paula Fernanda. Estudos sobre a oxidação aeróbia do metano na cobertura de três aterros sanitários no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental e Ambiental**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 99–108, 2009. DOI: 10.1590/S1413-41522009000100011. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522009000100011&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522009000100011&lng=pt&tlng=pt).

VASCONCELOS, A.L.S.; CHERUBIN, M.R.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; REIS, A.F.B.; SIQUEIRA NETO, M. Sugarcane residue and N-fertilization effects on soil GHG emissions in south-central, Brazil. **BIOMASS & BIOENERGY**, v. 158, p. 106342, 2022.

VASCONCELOS, Ana Luisa S.; CHERUBIN, Mauricio R.; FEIGL, Brigitte J.; CERRI, Carlos E. P.; GMACH, Maria R.; SIQUEIRA-NETO, Marcos. Greenhouse gas emission responses to sugarcane straw removal. **Biomass and Bioenergy**, [S. l.], v. 113, p. 15–21, 2018. DOI: 10.1016/J.BIOMBIOE.2018.03.002. Acesso em: 16 de maio de 2023.

VEIGA, Milton Da. **Metodologia para coleta de amostras e exames físicos do solo**. Florianópolis: Epagri, 2011. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/solucoes/publicacoes/publicacoes-livres/>. Acesso em: 29 maio. 2023.

VELOSO, M. G. et al. High carbon storage in a previously degraded subtropical soil under no-tillage with legume cover crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 268, n. October 2017, p. 15–23, dez. 2018.

VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 35, n. 1, p. 213–223, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000100020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>. Acesso em: 01 de jun. 2023.

XAVIER, Maria Emília Rehder; KERR, Américo Sansigolo. A análise do efeito estufa em textos paradidáticos e periódicos jornalísticos. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 325–349, 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/6423/5939>.

WOLSCHICK, Neuro Hilton; TONDELLO BARBOSA, Fabrício; BERTOL, Ildegardis; FIORENTIN DOS SANTOS, Kristiana; DE SOUZA WERNER, Romeu; BAGIO, Bárbara. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 134–143, 2016. DOI: 10.5965/223811711522016134.

WUTKE EB, CALEGARI A, WILDNER LP (2014) Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: Filho OFL, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD (Eds.) **Adubação verde e plantas cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, v. 1, p. 60-168.

YODER, Robert E. A Direct Method of Aggregate Analysis of Soils and a Study of the Physical Nature of Erosion Losses <sup>1</sup>. **Agronomy Journal**, [S. l.], v. 28, n. 5, p. 337–351, 1936. DOI: 10.2134/agronj1936.00021962002800050001x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x>. Acesso em: 02 jun. 2022.

ZALAMENA, J. Plantas de cobertura na redução do vigor da videira em solo com alto teor de matéria orgânica. **Tese de doutorado**. Universidade do Estado de Santa Catarina, 2012.

ZANATTA, J. A. et al. Carbon indices to assess quality of management systems in a Subtropical Acrisol. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 6, p. 501–508, dez. 2019.

ZUMFT, W.G.; KRONECK, P.M.H. Respiratory Transformation of Nitrous Oxide (N<sub>2</sub>O) to Dinitrogen by Bacteria and Archaea. **Advances in Microbial Physiology** v. 52, p. 107-227, 2006.