



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

Paulo Henrique Da Silva Câmara

**Influência da complexidade de diferentes
sistemas de cultivo de cebola na emissão de gases de efeito estufa**

Florianópolis
2022

Paulo Henrique Da Silva Câmara

**Influência da complexidade de diferentes
sistemas de cultivo de cebola na emissão de gases de efeito estufa**

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. Arcângelo Loss, Dr.
Coorientador: Prof.(a) Marisa de Cássia Piccolo,
Dr.(a)

Florianópolis
2022

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

Câmara, Paulo Henrique Da Silva

Influência da complexidade de diferentes sistemas de cultivo de cebola na emissão de gases de efeito estufa / Paulo Henrique Da Silva Câmara ; orientador, Arcângelo Loss, coorientador, Marisa de Cássia Piccolo, 2022.

105 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. Oxido nitroso. 3. Dióxido de carbono. 4. Allium cepa L. 5. Plantio Direto de Hortaliças. I. Loss, Arcângelo . II. Piccolo, Marisa de Cássia . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas. IV. Título.

Paulo Henrique Da Silva Câmara

**Influência da complexidade de diferentes
sistemas de cultivo de cebola na emissão de gases de efeito estufa**

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

Vilmar Müller Júnior, Dr.
Instituto Federal do Paraná (IFPR)

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. Arcângelo Loss, Dr.
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Arcângelo Loss, Dr.
Orientador(a)

Florianópolis, 2022.

Dedico este trabalho a meus pais, Sr. Augusto Celestino Câmara e Sra. Isabel Rainha da Silva Câmara, que me mostraram a importância de levar uma vida honesta e humilde, sem perder a força para lutar pelos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Sra. Isabel Rainha da Silva Câmara, e ao meu pai, Sr. Augusto Celestino Câmara, por serem meus exemplos de vida, dedicação e honestidade. Obrigado por me criarem da melhor maneira possível, fazendo de tudo para dar a seus filhos a oportunidade que não tiveram de seguir seus sonhos.

Aos meus irmãos, Lenice Auxiliadora da Silva Câmara e Augusto Aparecido Silva Câmara, por todo apoio e parceria ao longo de toda a nossa caminhada. Sem vocês tudo teria sido bem mais trabalhoso e sem graça.

À minha companheira, Joice Roberta Modesto, que apesar de termos nos conhecido ao caminhar do processo, foi de grande importância nos momentos mais complicados de dúvidas e inseguranças, bem como nos momentos de alívio e estase após a conquista de cada etapa.

Aos amigos queridos da *Família Tradicional Brasileira* com quem dividi boa parte destes dois anos de pandemia. Nós sabemos o quão cada um foi importante para o outro nessa trajetória, cada encontro na garagem, todos juntos acompanhando o ciclone, os almoços em família, os longos dias de faxina, entre tantos outros momentos extremamente marcantes. Aquela casa e aquele pessoal vão deixar muita saudade.

Aos colegas e amigos do agroecossistemas, que se fizeram presentes tanto nos momentos de dúvida e dificuldade como nos momentos de conquistas e felicidade, sempre estiveram presentes.

A orientação do professor Arcângelo Loss, e coorientação da professora Marisa de Cássia Piccolo, pelo tempo, confiança e paciência dedicados à minha formação profissional, ao longo do desenvolvimento dos trabalhos que resultaram no presente documento.

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), pelo esforço conjunto em manter todos os trabalhos em andamento apesar dos desafios propostos pelo cenário catastrófico que enfrentamos nos últimos anos, em função da pandemia do SARS-CoV-2 e do cenário de sucateamento da pesquisa brasileira.

Ao Márcio, funcionário da EPAGRI de Ituporanga, que esteve à disposição e auxiliou em todas as coletas de campo. Sua ajuda e conhecimento foram essenciais para a condução do projeto.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), em especial aos senhores Denílson Dortzbach e Claudinei Kurtz e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) na pessoa do professor Cimélio Bayer, pela parceria institucional na condução do projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa durante o desenvolvimento do mestrado.

Á todos o meu muito obrigado!

“Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sine corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.” (NEWTON, Isaac, 1687)

RESUMO

O estado de Santa Catarina (SC) é o principal produtor nacional de cebola (*Allium cepa* L.), onde o município de Ituporanga, é o maior produtor do estado. Dentre as técnicas de manejo do solo, tem-se o sistema de preparo convencional (SPC) como o mais utilizado na região. Entretanto, o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) vem ganhando espaço entre os agricultores da região. Considerando que o uso do solo no SPC e SPDH modificam de diferentes formas os atributos edáficos, assim como emitem diferentes quantidades de gases de efeito estufa (GEEs). O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a contribuição do SPDH de longa duração (14 anos), em comparação ao SPC e SPD, quanto às melhorias dos atributos químicos e físicos do solo, e à emissão de GEE e uma possível mitigação destes gases, durante o cultivo de cebola. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com quatro repetições e três tratamentos: SPD - sucessão de milho/cebola anual; SPC -sucessão de milho/cebola anual; SPDH - consórcio mucuna+milheto+girassol e cebola anual. As emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) do solo foram avaliadas através do método das câmaras estáticas durante 106 dias ao longo do cultivo da cebola. 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 milheto, mucuna e girassol para produção de massa seca se mostrou mais eficiente quanto à melhoria dos atributos químicos e físicos do solo; pois neste sistema ocorreu a elevação dos teores e estoques de COT e NT; aumento do DMG e a diminuição da DS, todos na camada de 0-5 cm em relação aos demais tratamentos. O SPDH também se destacou no aumento dos estoques de COT na camada de 0-30 cm em comparação aos demais tratamentos. O SPDH se mostrou o sistema com maior potencial de emissão de GEE, tanto para CO₂ quanto para N₂O, o que acontece devido a maior presença de N no solo. A relação C/N em SPDH foi menor que os demais tratamentos. Assim, é correto afirmar que a maior capacidade do sistema em armazenar N, reduzindo a relação C/N pode ser responsável por uma maior emissão de óxido nitroso. O SPDH apresentou os maiores estoques de C quando descontado o C equivalente das emissões de GEE, o que demonstra que mesmo tendo maiores emissões de GEE, o tratamento tem grande capacidade de mitigar as emissões oriundas do sistema solo planta, e até mesmo promover o sequestro de carbono. O tratamento em SPD apresentou resultados divergentes quanto a emissão de GEE em comparação ao SPDH. O SPDH demonstrou maior aptidão para a emissão do N₂O e do CO₂, e o SPD apresentou as menores emissões destes gases, apesar de não diferir do SPC. Entretanto, a capacidade dos três tratamentos em estocar C e N no solo com o passar dos anos se mostrou eficaz na mitigação das emissões dos GEE pelo sistema solo planta. O SPDH apresentou maior produtividade de cebola, com média de 20% maior que os demais tratamentos. Estes valores, associados a uma economia de 25% no uso de nitrato de amônio no tratamento, o torna o sistema mais vantajoso para o produtor.

Palavras-chave: Óxido nitroso. Dióxido de carbono. *Allium cepa* L. Plantio Direto de Hortaliças. Plantas de cobertura.

ABSTRACT

The state of Santa Catarina (SC) is the main national producer of onion (*Allium cepa* L.), where the municipality of Ituporanga is the largest producer in the state. Among soil management techniques, the conventional tillage system (CTS) is the most used in the region. However, the vegetable no-tillage system (NTSV) has been gaining ground among farmers in the region. Considering that land use in the CTS and NTSV modifies edaphic attributes in different ways, as well as emits different amounts of greenhouse gases (GHGs). The present study was developed with the objective of evaluating the contribution of the long-term NTSV (14 years), in comparison to the CTS and NT, regarding the improvements in the chemical and physical attributes of the soil, and the emission of GHG and a possible mitigation of these gases during onion cultivation. The experimental design used was randomized blocks with four replications and three treatments: NT - annual maize/onion succession; CTS - annual corn/onion succession; NTSV - mucuna+millet+sunflower and annual onion intercropping. Emissions of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) from the soil were evaluated using the static chamber method for 106 days during onion cultivation. Undisturbed and deformed soil samples for determination of geometric mean diameter (GDM), soil density (SD), total porosity (TP), total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) contents and stocks were collected in the layers from 0-5, 5-10 and 10-30 cm. The NTSV, where the consortium between pearl millet, velvet bean and sunflower is used to produce dry mass, proved to be more efficient in terms of improving the chemical and physical attributes of the soil; because in this system there was an increase in the levels and stocks of TOC and TN; increase in GDM and decrease in SD, all in the 0-5 cm layer in relation to the other treatments. NTSV also stood out in increasing TOC stocks in the 0-30 cm layer compared to the other treatments. The NTSV proved to be the system with the highest potential for GHG emissions, both for CO₂ and N₂O, which happens due to the greater presence of N in the soil. The C/N ratio in NTSV was lower than the other treatments. Thus, it is correct to state that the greater capacity of the system to store N, reducing the C/N ratio, may be responsible for a greater emission of nitrous oxide. The NTSV had the largest stocks of C when discounting the C equivalent of GHG emissions, which demonstrates that even with higher GHG emissions, the treatment has a great capacity to mitigate emissions from the soil-plant system, and even promote the sequestration of carbon. Treatment in NT showed divergent results regarding GHG emissions compared to NTSV. NTSV showed greater ability to emit N₂O and CO₂, and NT had the lowest emissions of these gases, despite not differing from CTS. However, the ability of the three treatments to store C and N in the soil over the years proved to be effective in mitigating GHG emissions by the soil-plant system. The NTSV showed the highest onion yield, with an average of 20% higher than the other treatments. These values, associated with a 25% saving in the use of ammonium nitrate in the treatment, make it the most advantageous system for the producer.

Keywords: Nitrous oxide. Carbon dioxide. *Allium cepa* L. No-tillage of Vegetables. Consortium of roofing plants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Nitrificação, desnitrificação, nitrificação desnitrificadora e as enzimas envolvidas.	21
Figura 2. Localização do município de Ituporanga no estado de Santa Catarina...33	33
Figura 3: Dados climáticos registrados ao longo do ciclo da cebola, safra de 2021.34	34
Figura 4: Modelo de câmaras estáticas utilizadas na coleta das amostras de GEE e seus compartimentos.	41
Figura 5: Base de metal fixada no solo	42
Figura 6: Médias de produtividade da cebola (Mg ha^{-1}) nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra do ano 2021.....	47
Figura 7: Espaço poroso saturado por água (EPSA %) nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, ao longo da safra de cebola no ano 2021.	54
Figura 8: Fluxos médios diários de N_2O ($\text{g N- N}_2\text{O ha}^{-1}$ dia) pelo solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, aplicações de nitrato de amônio na safra de cebola no ano 2021.	55
Figura 9: Emissões médias acumuladas de N_2O ($\text{g N- N}_2\text{O ha}^{-1}$) pelo solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.....	57
Figura 10: Emissões médias acumuladas de N_2O ($\text{g N- N}_2\text{O ha}^{-1}$) pelo solo, em cada ciclo ente aplicação de nitrato de amônio nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.	60
Figura 11: Fluxos médios de CH_4 ($\text{g C-CH}_4 \text{ha}^{-1}$ dia) pelo solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, precipitação e irrigação na safra de cebola no ano 2021.....	61
Figura 12: Emissões medias acumuladas de CH_4 ($\text{g C-CH}_4 \text{ha}^{-1}$) pelo solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.....	62

Figura 13: Emissões médias acumuladas de CH ₄ (g C-CH ₄ ha ⁻¹) pelo solo, em cada ciclo entre aplicação de nitrato de amônio nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.....	63
Figura 14: Fluxos médios de CO ₂ (Kg C-CO ₂ ha ⁻¹ dia) pelo solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, precipitação e irrigação na safra de cebola no ano 2021.....	65
Figura 15: Emissões médias acumuladas de CO ₂ (kg C-CO ₂ ha ⁻¹) pelo solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.....	67
Figura 16: Emissões médias acumuladas de CO ₂ (kg C-CO ₂ ha ⁻¹) pelo solo, em cada ciclo entre aplicação de nitrato de amônio nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.....	69
Figura 17: Carbono equivalente para neutralizar a emissão acumulada de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ ao longo do ciclo da cebola e estoques de carbono no solo em cada tratamento.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tratamentos implantados na rotação de culturas para cultivo de cebola sob manejo conservacionista do solo, de 2007 a 2021, Ituporanga, SC.....	35
Tabela 2: Médias de massa seca ($Mg\ ha^{-1}$), teores de C e N (%), e relação C/N da biomassa remanescente sobre o solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra do ano 2021.	45
Tabela 3: Teor de COT e seus estoques nas camadas do solo nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.....	48
Tabela 4: Teor de NT e seus estoques em camadas do solo nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.....	49
Tabela 5: Diâmetro médio geométrico (DMG) e densidade do solo (DS) em função dos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.....	51
Tabela 6: Macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP) e porosidade total (PT), do solo em função dos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

KCl	Ácido clorídrico
COT	Carbono orgânico total
CEPA	Centro de Socioeconômica e Planejamento Agrícola de Santa Catarina
Cfa	Clima Subtropical mesotérmico úmido - Classificação de Köppen-Geiger
CV	Coeficiente de variação
CQFS	Comissão de Química e Fertilidade do Solo
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DS	Densidade do solo
DMG	Diâmetro médio geométrico
DAT	Dias após o transplante
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
EPSA	Espaço poroso saturado por água
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
SPD	Sistema de Plantio Direto
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 ₂ O	Água
NH ₃	Amônia
NO ₄ ⁺	Amônio
C	Carbono
cm	Centímetro(s)
cmol _c dm ⁻³	Centimol de carga por decímetro cúbico de solo
CFCs	Clorofluorcarboneto(s)
CO ₂	Dióxido de carbono
Ceq	Equivalente em Carbono
P	Fósforo
g	Gramas(s)
g ha ⁻¹	Gramas(s) por hectare
g kg ⁻¹	Gramas(s) por quilograma
°C	Grau(s) Celsius
ha	Hectare(s)
H	Hidrogênio
h	Hora
kPa	Kilopascal
®	Marca registrada
Mg	Megagrama(s)
Mg ha ⁻¹	Megagrama(s) por hectare
CH ₄	Metano
m	Metro(s)
m ²	Metro(s) quadrado(s)

μg	Micrograma(s)
mg	Miligrama(s)
mg dm^{-3}	Miligrama(s) por decímetro cúbico
mL	Mililitros
mm	Milímetro(s)
mol L^{-1}	Mol por litro
NO_3^-	Nitrato
NO_2^-	Nitrito
N	Nitrogênio
K_2O	Óxido de potássio
N_2O	Óxido nitroso
O_3	Ozônio
ppb	Parte por bilhão
P_2O_5	Pentóxido de fósforo
%	Porcentagem
K	Potássio
kg ha^{-1}	Quilograma(s) por hectare
Σ	Somatório
Tg	Teragrama
v	Volts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Efeito estufa	17
2.2	Os fluxos de gases de efeito estufa (GEE) na agricultura	19
2.2.1	Os fluxos do N₂O do solo nos processos agrícolas	20
2.2.2	Os fluxos do CH₄ do solo nos processos agrícolas.....	23
2.2.3	Os fluxos do CO₂ do solo nos processos agrícolas	25
2.3	Cultivo da Cebola em SC	26
2.3.1	Sistema de cultivo da cebola no Sul do Brasil: SPC e SPD	27
2.4	Carbono, nitrogênio e os fluxos de GEE no solo	28
3	HIPÓTESES	31
4	OBJETIVOS	32
4.1	Geral.....	32
4.2	Específicos	32
5	MATERIAIS E MÉTODOS	33
5.1	Caracterização da área experimental.....	33
5.2	Cultivo da cebola (<i>Allium cepa</i> L.).....	36
5.3	Coletas e análises de amostras de solos	37
5.4	Amostragem e análise de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ do solo.....	40
5.5	ANÁLISES estatísticas	44
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
6.1	Caracterização da biomassa remanescente sobre o solo antes do transplante da cebola.	45
6.2	Produtividade da cebola.	46
6.3	Teores e estoques de carbono e nitrogênio totais do solo	48
6.4	Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e densidade do solo (DS).....	50
6.5	Porosidade e Espaço poroso saturado por água (EPSA).....	52

6.6	Fluxo de N ₂ O no solo	55
6.7	Fluxo de CH ₄ no solo.....	61
6.8	Fluxo de CO ₂ no solo	65
6.9	Carbono equivalente para neutralizar as emissões de N ₂ O, CH ₄ e CO ₂ ..	70
7	CONCLUSÃO	72
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1 INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma das espécies oleráceas mais cultivadas e consumidas em todo o mundo. Pertence à família *Amaryllidaceae* e tendo o continente asiático como centro de origem (CHASE; REVEAL; FAY, 2009). Relacionado a produção, tem-se que esta hortaliça representa a terceira de maior importância econômica no Brasil (KURTZ; MENEZES JÚNIOR; HIGASHIKAWA, 2018), atrás apenas das culturas da batata e do tomate.

Durante a safra de 2019/2020, estima-se uma movimentação de 2,5 milhões de reais, considerando uma produção de 1,4 milhões de toneladas de cebola em nível nacional. Produção essa que está difundida em todas as regiões do país, entretanto há destaque para os valores gerados na região Sul, que totaliza 44% do montante produzido no país (IBGE, 2020). Além disso, o estado de Santa Catarina é proeminente, sendo o estado com a maior produção nacional, sendo responsável por 29% da cebola produzida pelo Brasil neste período (EPAGRI/CEPA, 2021; IBGE, 2020).

Porém, para o seu cultivo ainda se faz muito uso de mecanização intensiva com revolvimento periódico do solo decorrente das práticas de aração, gradagens, subsolagem ou escarificação e, inclusive, o uso de enxada rotativa. (EPAGRI, 2013). Este sistema é conhecido como sistema de preparo convencional (SPC) do solo, e tem significativas consequências para a qualidade do solo (FAYAD et al., 2019), em especial nos atributos edáficos, como redução da estabilidade de agregados, diminuição do conteúdo de nutrientes e dos teores de matéria orgânica do solo (MOS) (BORTOLINI et al., 2021; GIUMBELLI et al., 2021; LOSS et al., 2015, 2017).

A redução dos teores de MOS pode interferir drasticamente em processos fundamentais no solo, como a ciclagem e retenção de nutrientes, agregação, dinâmica da água e atividade biológica (BORTOLINI et al., 2021; LOSS et al., 2015). Esta redução pode contribuir para o desencadeamento do processo de degradação ambiental, além de alterar toda a dinâmica de produção e emissão de gases de efeito estufa (GEE) (ALMEIDA et al., 2015; BAYER et al., 2011; CARVALHO et al., 2010; CERRI et al., 2010).

Como alternativa aos efeitos negativos causados pelo SPC, destaca-se o sistema de plantio direto (SPD), que vem sendo cada vez mais utilizado para a produção de hortaliças no Sul do Brasil (FAYAD et al., 2019). Neste contexto, tem-se

o surgimento do sistema plantio direto de hortaliças (SPDH), como estratégia de transição de sistemas simplificados para sistemas mais complexos, promovendo melhoria dos atributos biológicos, químicos e físicos do solo e da produtividade das culturas, aumentando as interações no redesenho e estabilidade das culturas diante de estresses abióticos (GIUMBELLI et al., 2021; MÜLLER JÚNIOR et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2016; SANTOS et al., 2017; SOUZA et al., 2012).

No SPDH a mobilização do solo é restrita à linha de plantio e plantas de cobertura são utilizadas para a produção de biomassa, que é mantida na superfície, formando um tapete de fitomassa sob a qual, posteriormente, as mudas de cebola (ou outra hortaliça) são transplantadas (FAYAD et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2016). A quantidade de fitomassa depositada na superfície do solo atua na redução da erosão, aumentando a infiltração e retenção de água no solo, além de suprimir a incidência de plantas espontâneas e aumentar gradativamente o acúmulo de MOS (COMIN et al., 2018; KIELING et al., 2009; LOSS et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016).

Estudos vêm sendo realizados para avaliar o impacto das práticas agrícolas e das mudanças no uso da terra nas emissões globais de GEE (BORDONAL et al., 2017; CARMO et al., 2016; CERRI et al., 2016; FARHATE et al., 2019; SCHIRMANN et al., 2020a). Entretanto, estudos com objetivos que comparem as diferenças entre os atributos edáficos e as emissões de GEE, entre SPC e SPD para a produção de hortaliças ainda são incipientes (MÜLLER JÚNIOR et al., 2019), considerando a necessidade de quantificação desses resultados na busca de uma produção sustentável. O entendimento das contribuições do SPDH na mitigação das emissões de GEE pelo solo cultivado com a cebola, permitirá identificar a melhor estratégia de sistema produtivo para uma produção sustentável de cebola.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EFEITO ESTUFA

A temática das mudanças climáticas é um dos principais assuntos da agenda científica mundial para o século XXI. O efeito estufa, pauta da maioria destes debates, é um dos fenômenos naturais responsáveis pela manutenção da vida como conhecemos no planeta Terra (ALMEIDA, 2019; IPCC, 2018). Entretanto, esse fenômeno tem grande potencial de ser amplificado de forma antropogênica através dos diferentes setores da indústria, da agricultura e pelos aglomerados urbanos. Por este motivo, torna-se necessário o pleno entendimento do funcionamento deste fenômeno natural, para mitigar as mudanças antrópicas (IPCC, 2021; JUNGES et al., 2018).

Compreendendo essa necessidade diante de definições errôneas do termo, circulantes em meios de comunicação não científicos, e até mesmo materiais paradidáticos, (JUNGES et al., 2018; XAVIER; KERR, 2004) abordaram, em seus respectivos trabalhos, o surgimento do termo efeito estufa e cada processo físico necessário para a existência deste fenômeno. Na presente revisão não iremos apresentar todos os processos físicos, e sim os mais relevantes para a compreensão do papel do dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) neste fenômeno.

O Sol é a principal fonte de energia da Terra. A energia emitida em ondas eletromagnéticas pela estrela, viaja através do vácuo do espaço até o nosso planeta, de forma que o fluxo ou intensidade de energia solar que chega ao planeta depende de fatores como a luminosidade do Sol e da distância do planeta ao Sol (GOODY; WALKER, 1996). Assim como a Terra recebe energia do Sol (luz visível), ela também reemite energia (radiação infravermelha) de volta para o espaço, pois, de outro modo, ela se tornaria cada vez mais quente. Este processo resulta em uma temperatura de equilíbrio (TE), onde a taxa de energia absorvida é igual a taxa de energia emitida (BARD, 2004; PIERREHUMBERT, 2004).

A Terra apresenta uma TE de 255 K (-18°C) (JUNGES; MASSONI, 2018). Se a Terra tivesse uma temperatura média tão baixa seria impossível a existência da vida como conhecemos, pois toda extensão continental estaria coberta por espessas camadas de gelo. No entanto, sabe-se que a temperatura média da superfície da Terra

não é 255 K, mas sim 288 K (15°C)(IPCC, 2022). Isso acontece porque a atmosfera terrestre é constituída de gases que são relativamente transparentes à radiação solar (luz visível), enquanto absorvem grande parte da radiação (infravermelho) emitida pela superfície aquecida da Terra. A este processo é dado o nome de efeito estufa (BARD, 2004; XAVIER; KERR, 2004).

As moléculas de vapor d'água (H₂O), CO₂, CH₄, N₂O, Clorofluorcarbonetos CFCs e ozônio (O₃), absorvem radiação eletromagnética (BARRY; CHORLEY, 2013). Por apresentarem uma eficiência de absorção menor para a radiação de ondas curtas (luz solar) do que para a radiação de ondas longas (infravermelha emitida pela superfície da Terra), esses gases atmosféricos são aquecidos retendo parte da energia infravermelha emitida pela Terra, elevando em 33°C a temperatura média do planeta, gerando assim uma condição climática essencial ao desenvolvimento da biosfera terrestre (JUNGES; MASSONI, 2018; PIERREHUMBERT, 2004).

O vapor d'água é o principal responsável pelo efeito estufa na terra, visto que 50% do efeito é causado pelo vapor presente na atmosfera, e 25% podem ser representados pelas nuvens. Dos 25% restantes, 20% são de responsabilidade do CO₂ existente na atmosfera e 5% dos demais gases(JUNGES et al., 2018). O vapor d'água condensa quando atinge uma certa concentração e dada temperatura resultando na formação de nuvens(MENDONÇA; DANNIO-OLIVEIRA, 2007). Enquanto os demais GEE não são condensáveis, sendo o aumento de suas concentrações responsáveis pelo aumento da temperatura média da atmosfera.

Como citado anteriormente, o efeito estufa é o responsável pelo aumento da temperatura média da Terra, sem alterar a sua TE. Isso ocorre graças ao conceito de "balanço de energia da Terra" (*earth energy budget*). Este balanço é o principal mecanismo que devemos considerar quando estamos interessados na questão da temperatura planetária, pois ele ocorre entre a energia absorvida, proveniente do Sol, e a energia emitida pelo planeta de volta para o espaço (JUNGES et al., 2018).

Um desequilíbrio no balanço de energia da Terra, a longo prazo, tem como consequência um aumento ou um decréscimo da temperatura no planeta (GUTRO, 2017; JUNGES; MASSONI, 2018). Isso acontece devido ao fato de um corpo aquecer quando recebe mais energia do que emite e esfriar quando emite mais energia do que recebe (PIERREHUMBERT, 2004). O balanço de energia da Terra pode ser alterado de três formas diferentes: 1) mudando a radiação solar que entra na Terra - para que haja uma mudança na radiação solar que entra na Terra, é necessário uma mudança

na órbita do planeta ou mudanças na própria intensidade radiação solar; 2) mudando o albedo da Terra - uma mudança no albedo demanda alterações na cobertura de nuvens, emissões de partículas de aerossóis e mudanças na cobertura do solo como desmatamento e urbanização; e 3) mudando a radiação infravermelha emitida pelo planeta para o espaço, o que envolve mudanças nas concentrações dos GEE (BARD, 2004; JUNGES et al., 2018; MONTEIRO et al., 2021).

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

Com o advento da Revolução Industrial houve um aumento constante na demanda energética, elevando o consumo e produção de energia elétrica, o que juntamente com o sistema de transporte, baseou-se na queima de combustíveis fósseis (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). O uso de combustíveis fósseis é responsável por emissões de CO₂, CH₄ e outros compostos orgânicos que uma vez na troposfera podem sofrer reações fotoquímicas contribuindo para o aumento das concentrações de ozônio (XAVIER; KERR, 2004).

O CO₂, CH₄ e N₂O são os GEE de maior importância, por serem quimicamente estáveis, podem permanecer na atmosfera por décadas ou até mesmo séculos (são chamados gases de longa vida), gerando assim um comportamento cumulativo ao longo dos anos (ESCOBAR et al., 2010; GOLDEMBERG; LUCON, 2007; IPCC, 2021, 2022). Como consequência da combinação destes dois fatores (aumento da emissão e efeito cumulativo), as concentrações destes três GEE na atmosfera terrestre têm aumentado gradativamente desde 1750 (período pré-industrial) (ESCOBAR et al., 2010; IPCC, 2021, 2022; JUNGES et al., 2018; JUNGES; MASSONI, 2018).

2.2 OS FLUXOS DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) NA AGRICULTURA

Os GEE como CO₂, CH₄ e o N₂O fazem parte dos ciclos agrícolas. Dentre estes, o CO₂ é o mais consumido nos sistemas agrícolas pela sua importância na fotossíntese, sendo retirado da atmosfera pelas plantas para produzir alimentos, fibras e energia (ESCOBAR et al., 2010). Eventualmente, parte desse CO₂ é devolvido à atmosfera no consumo ou decomposição dos materiais vegetais. Outra fonte de

contribuição importante está no que chamamos de mudanças no uso da terra, processo que inclui principalmente queimadas e abertura de novas áreas promovendo uma importante emissão pela exposição da matéria orgânica, contida no solo ou na vegetação, a um processo de oxidação (ALTHOFF et al., 2016; RIBEIRO et al., 2016).

Os fluxos de CH₄ nos sistemas de produção agroindustrial são atribuídos principalmente à pecuária (SNYDER et al., 2009). As emissões são provenientes tanto pela fermentação entérica quanto da deposição de excretas em pastagens ou da utilização do esterco como fertilizante (PAULA; PESSOA; ABRÃO, 2019). Os ruminantes são responsáveis pela emissão de 22 % do CH₄ à atmosfera, constituindo a terceira maior fonte em escala global (MONTEIRO et al., 2018). Outra importante fonte de emissão são solos alagados, que cobrem cerca de 8% da área terrestre no mundo, e podem ser responsáveis por metade da emissão do CH₄ emitido globalmente (RENAN BESEN et al., 2018; SPOSITO, 2016).

O principal GEE para agricultura é o N₂O, emitido principalmente pelo solo e pelos insumos à base de nitrogênio (N) utilizados nos sistemas de cultivo. Embora em um cenário geral o N₂O represente uma pequena parte dos GEE emitidos, ele apresenta o maior potencial de aquecimento global (PAG), correspondendo a 273 moléculas de CO₂ (IPCC, 2021). O setor agrário é considerado o seu principal emissor (SNYDER et al., 2009).

2.2.1 Os fluxos do N₂O do solo nos processos agrícolas

O N₂O possui PAG 273 vezes maior que o CO₂ e seu tempo de vida na atmosfera é superior a 120 anos (IPCC, 2021). Em paralelo, sua concentração na atmosfera superou, em 1998, a concentração estimada para o último ciclo glacial-interglacial e vem aumentando gradualmente desde então (ALMEIDA et al., 2015; BORTOLI et al., 2012a; INOUE et al., 2016; IPCC, 2022).

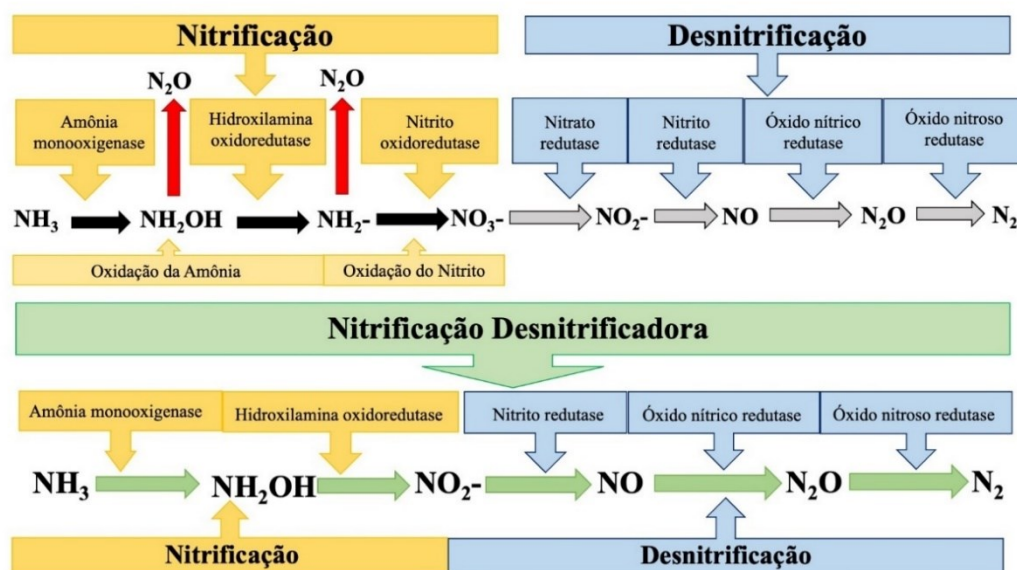
A produção e emissão do N₂O por atividades humanas ocorre basicamente de três formas, sendo a queima de combustíveis fósseis, o implemento de alguns sistemas de tratamento de efluentes, e principalmente no uso de fertilizantes nitrogenados no solo (BORTOLI et al., 2012b). A agricultura global contribui com 65 e 80 % de todo o N₂O emitido pela atividade antrópica para atmosfera, sendo os fertilizantes nitrogenados a principal fonte das emissões (de origem orgânica ou mineral) (ALMEIDA et al., 2015; BESEN et al., 2018; BORTOLI et al., 2012a), já que

o N é o macronutriente mais requerido pela maioria das plantas cultivadas (CARVALHO; ZABOT, 2012).

A maior parte do N_2O emitido pelo solo advém de dois processos biológicos pertencentes ao ciclo biogeoquímico do N: a nitrificação e a desnitrificação parcial (ALMEIDA et al., 2015; CARVALHO; ZABOT, 2012; CHAPUIS-LARDY et al., 2007). Estes processos raramente ocorrem de forma isolada, podendo ocorrer a transferência de N_2O ou produtos intermediários de um processo para 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 o processo de oxidação aeróbica da amônia (NH_3) ou amônio (NH_4^+) a nitrito (NO_2^-) ou nitrato (NO_3^-) (Figura 1), realizada por bactérias quimioautotróficas (ALMEIDA et al., 2015; WRAGE et al., 2001). As bactérias oxidadoras de NH_4^+ (*Nitrossomonas sp.* e *Nitrosospira sp.*) oxidam este a NO_2^- . A partir do NO_2^- , as oxidadoras (*Nitrobacter sp.*) o convertem em NO_3^- (ALMEIDA et al., 2015; BORTOLI et al., 2012a). A redução dissimilatória do NO_3^- a NH_4^+ se dá por meio das bactérias fermentativas, que são capazes de reduzir NO_2^- a N_2O , ou a NH_4^+ , processo esse favorecido em situações de limitação de NO_3^- . Embora sejam capazes de reduzir NO_2^- a N_2O , essas bactérias não são capazes de reduzir N_2O a N_2 (ALMEIDA et al., 2015).

Figura 1. Nitrificação, desnitrificação, nitrificação desnitrificadora e as enzimas envolvidas.



Fonte: Adaptado de Wrage et al. (2001).

Já a desnitrificação é a transformação do NO_3^- a NO_2^- na ausência de oxigênio, através da ação de bactérias anaeróbicas facultativas, as quais representam de 0,1 a 5 % da população total de bactérias no solo (BORTOLI et al., 2012a; WRAGE et al., 2001). A desnitrificação é favorecida por condições de limitação de carbono, sendo o N_2O produzido na solução do solo e emitido para a atmosfera, um produto da desnitrificação nas células microbianas (ALMEIDA et al., 2015; SNYDER et al., 2009).

Solos férteis, com altos teores de matéria orgânica, aliados a condições de umidade que dificultam a difusão de O_2 e favoreçam a formação de ambientes anaeróbicos, proporcionam condições ideais para a ocorrência do processo de desnitrificação. A magnitude da volatilização de NH_3 também determina a disponibilidade de N para a nitrificação ou desnitrificação. Desta forma, a desnitrificação é menor quando as perdas de NH_3 são altas, tanto em solos aerados como alagados (ESCOBAR et al., 2010).

A nitrificação também pode ser fonte de N_2O através de um processo chamado de nitrificação desnitrificadora. A nitrificação desnitrificadora é realizada por apenas um grupo de microrganismos chamados autotróficos oxidadores de NH_3 (WRAGE et al., 2001). Esses microrganismos conseguem oxidar NH_3 a NO_2^- com posterior redução do NO_2^- a N_2 ou N_2O .

Em solos bem drenados (ou bem aerados) quando os valores de espaço poroso saturado por água (EPSA) estão abaixo de 60%, a nitrificação é o principal processo responsável pela emissão de N_2O , em momentos de valores de EPSA superiores a 70%, a desnitrificação passa a ser a principal via de emissão do gás. No entanto, dada a natureza heterogênea dos solos, ambos os processos podem ocorrer simultaneamente (BATEMAN; BAGGS, 2005a; BRACKEN et al., 2021; GUO et al., 2014).

Em um estudo realizado em Ituporanga, (SC), em 2015, objetivando avaliar o efeito da adição de esterco de aviário sobre os resíduos da cultura de cobertura e o efeito de diferentes sistemas de plantio direto nas emissões de N_2O , os maiores fluxos de N_2O foram observados nos tratamentos que combinaram a adição de esterco de aviário com resíduos culturais de nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*) (MÜLLER JÚNIOR et al., 2019). Segundo os autores, os resultados estão aliados à maior velocidade de decomposição do nabo forrageiro. Além disso, no tratamento com adição de cama de aves, a decomposição do nabo foi ainda mais acelerada pela adição deste resíduo. Outro episódio observado por neste mesmo trabalho foi a maior

concentração das emissões de N_2O em ambos os sistemas (SPC e SPDH) terem ocorrido em até 15 dias após o transplante das mudas de cebola. Segundo os autores, estes resultados podem estar associados às condições do sistema de cultivo, que incluem a manutenção de maiores níveis de umidade e níveis de C e N.

2.2.2 Os fluxos do CH_4 do solo nos processos agrícolas

O CH_4 é o segundo gás indutor do efeito estufa de maior importância para o cenário agrícola. Ele possui potencial de efeito estufa 27 vezes (IPCC, 2021) maior que o CO_2 , o que ocorre devido às moléculas do CH_4 absorverem mais facilmente uma maior fração de luz infravermelha térmica, além de seu tempo de vida na atmosfera ser estimado em 12 anos (IPCC, 2014; PORTELA; LEITE, 2016). Assim como o N_2O , sua concentração na atmosfera vem aumentando com o passar do tempo, passando de 700 ppb no início da revolução industrial a 1774 ppb em 2005 (FORSTER et al., 2007). A agricultura é responsável por aproximadamente 58 % dos 598 Tg CH_4 emitidos anualmente, sendo que a pecuária contribui com 52 % das emissões agrícolas de CH_4 (ROBERTSON, 2014).

O CH_4 é formado naturalmente em regiões onde existe matéria orgânica em decomposição. Os principais processos agrícolas responsáveis pelas emissões de CH_4 são resultantes da queima de biomassa, cultivos em áreas alagadas (em especial, o cultivo do arroz), 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. A magnitude das emissões de CH_4 em solos inundados é influenciada pela disponibilidade de substratos orgânicos, sendo a taxa de produção desse gás aumentada com a adição de restos culturais, exsudatos radiculares e matéria orgânica (BAYER et al., 2011, 2014).

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 ruptura 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).

As emissões de CH₄ do solo são resultado do balanço entre a produção pelo processo de metanogênese e a oxidação através da metanotrofia (BAGGS; PHILIPPOT, 2010). Portanto, as condições de anaerobiose resultam na produção de CH₄ como produto da decomposição de compostos orgânicos pelas bactérias metanogênicas (BESEN et al., 2018). É válido ressaltar que as bactérias metanotróficas são aeróbias obrigatórias, pois a enzima monooxygenase, responsável pelo início da oxidação de CH₄, requer oxigênio molecular (MOSIER et al., 2004).

A disponibilidade de O₂ regula a atividade metanotrófica. Como esse gás é produzido por bactérias estritamente anaeróbias, ocorrem diminuições nas emissões de CH₄, após a drenagem do solo, devido a aeração do solo inibir a produção realizada pelas bactérias metanogênicas (BAYER et al., 2014). No entanto, a ocorrência da emissão de CH₄ pelo solo não é limitada há ambientes totalmente anaeróbios (como ocorrem nas lavouras de arroz), a existência de pequenos sítios anaeróbios, como espaços livres entre os agregados, é suficiente para proporcionar a emissão desse gás (BESEN et al., 2018; GLATZEL; STAHR, 2001).

Normalmente solos não perturbados atuam como dreno de CH₄ através da oxidação realizada pelas bactérias metanotróficas. Dessa maneira, é possível inferir que sistemas conservacionistas de solo se apresentam como uma estratégia para que áreas agrícolas atuem como sumidouros desse gás (BESEN et al., 2018).

No entanto, em um estudo do efeito de longo prazo (19 anos) do SPD em comparação ao SPC sobre os fluxos de CH₄, não foi encontrada relação entre a oxidação do CH₄ e os sistemas de manejo (BAYER et al., 2013). Segundo a hipótese proposta pelos autores, a melhoria em termos de qualidade do solo e consequente oxidação de CH₄, ocorrem de formas distintas no perfil do solo em sistemas conservacionistas de manejo, determinando que a recuperação da capacidade do solo em oxidar CH₄ seja bastante lenta.

Indo em contraponto, em estudo realizado no Estado de Ohio (EUA), com o intuito de compreender melhor os benefícios do SPD para os ecossistemas agrícolas, onde foi caracterizada a capacidade de oxidação de CH₄ por solos cultivados no SPD em comparação com SPC e floresta, Prajapati e Jacinthe (2014) observaram que, em geral, a adoção a longo prazo do SPD pode levar a melhorias nos atributos biológicos e físicos do solo ligados à absorção de CH₄. Portanto, o cultivo em SPD de longo prazo é uma melhor opção de manejo do solo em comparação com o preparo convencional (SPC) na mitigação de emissões de CH₄ associadas à agricultura.

2.2.3 Os fluxos do CO₂ do solo nos processos agrícolas

O CO₂ é considerado o mais importante GEE antropogênico, devido à grande quantidade emitida, especialmente nos últimos dois séculos devido ao aumento das atividades industriais e transportes, associados à queima de combustíveis fósseis e de florestas. Outra forma de perda significativa é através da mineralização da MOS provocada pelas alterações no uso do solo (IPCC, 2021, 2018).

No solo, a produção de CO₂ 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, a disponibilidade de N e o pH do solo influenciam na taxa de emissão de CO₂ (BESEN et al., 2018).

A temperatura do solo influencia diretamente a velocidade de decomposição da matéria orgânica, a atividade microbiana e a respiração dos sistemas radiculares das plantas. O aumento da temperatura do solo eleva exponencialmente a taxa de respiração do solo (FANG; MONCRIEFF, 2001). Em razão das massas de ar que circulam no planeta possuírem diferentes temperaturas, o fluxo de CO₂ é diferenciado; sendo observado que em regiões mais quentes as emissões são maiores (CARVALHO et al., 2010).

A falta de água no solo pode limitar a atividade microbiana e, normalmente, resulta em baixos fluxos de CO₂ quando o solo está seco. Por outro lado, com o aumento da umidade do solo, a atividade microbiana é elevada, o que promove grandes pulsos de mineralização de C e N, com consequente aumento na produção e emissão de CO₂ do solo. No entanto, quando a umidade do solo fica muito alta, a falta de O₂ limita a atividade microbiana, dificultando a produção e emissão de CO₂ (HARRISON-KIRK et al., 2014; SCHAUFLENER et al., 2010).

O CO₂ atmosférico é absorvido pelas plantas e convertido em C orgânico, podendo ser estocado no solo ou 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 MOS, fazendo com que o solo se torne dreno de CO₂ 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; MASSONI, 2018).

Em estudo de longa duração (18 anos), Costa et al. (2008) concluíram que a associação do SPD a alta adição de resíduos vegetais ricos em C e N aumenta os estoques de carbono orgânico no solo, enquanto o SPC, independentemente da adição de resíduos vegetais, promove perdas nos estoques de carbono preexistentes no solo. Nesse estudo também foram contabilizadas as emissões de CO₂, sendo que estas não diferiram entre os sistemas de manejo. Entretanto, quando as emissões de CO₂ foram ponderadas em função da quantidade de carbono orgânico no solo e nos resíduos vegetais, foi possível verificar a importância do SPD e da inclusão de plantas de cobertura na conservação do carbono no solo.

2.3 CULTIVO DA CEBOLA EM SC

A cebola é a terceira hortaliça em importância econômica para o Brasil, sendo superada apenas pela batata e pelo tomate (KURTZ; MENEZES JÚNIOR; HIGASHIKAWA, 2018). Em 2019, foram cultivados 48,68 mil ha de cebola no Brasil, cuja produção foi de 1556,89 mil Mg, com rendimento médio de 31,98 Mg ha⁻¹ (IBGE, 2020).

Santa Catarina concentra cerca de 30 % da produção brasileira de cebolas em, aproximadamente, 18,2 mil ha da hortaliça. O Estado é o principal produtor nacional e colheu na safra 2019/20, cerca de 532 mil Mg, resultando em uma produtividade média de 29,2 Mg ha⁻¹ (EPAGRI/CEPA, 2021).

As áreas de cultivo estão concentradas nas microrregiões de Ituporanga, Tabuleiro, Joaçaba e Rio do Sul, sendo a região do Alto Vale do Itajaí responsável por, praticamente, metade da produção do estado (MÜLLER JÚNIOR, 2017). O município de Ituporanga produz um terço da cebola de Santa Catarina (KURTZ; MENEZES JÚNIOR; HIGASHIKAWA, 2018).

Segundo Kurtz et al. (2018), o cultivo da cebola é uma atividade predominantemente realizada por pequenos e médios agricultores, desenvolvida tipicamente em regime de economia familiar. Dessa forma, a cebolicultura é importante tanto para a parte social, quanto a econômica do estado, de modo que a produção de cebola está ligada a geração de inúmeros empregos, suprimindo a necessidade de renda do agricultor familiar no meio rural da região.

2.3.1 Sistema de cultivo da cebola no Sul do Brasil: SPC e SPD

No sul do Brasil, e especificamente no Vale do Itajaí, a cebola é normalmente cultivada no SPC (OLIVEIRA et al., 2016). Esse tipo de sistema tem como princípios o revolvimento do solo com uma aração, seguida de duas gradagens e escarificação ou enxada rotativa, a uma profundidade de 20 a até 40 cm, antes do transplante das mudas de cebola (EPAGRI, 2013).

As práticas de aração e gradagem utilizadas no preparo do solo promovem a desagregação, pulverização e perda de solo por erosão hídrica e eólica, além de favorecer a redução dos teores de nutrientes e MOS (FAYAD et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2016). Durante seu desenvolvimento inicial relativamente lento, a cebola apresenta uma simplificada arquitetura de parte aérea, fatores que favorecem o crescimento de plantas espontâneas, ocasionando perda na produção e na qualidade dos bulbos, pela competição por água, luz e nutrientes (HIGASHIKAWA et al., 2022; KURTZ; MENEZES JÚNIOR; HIGASHIKAWA, 2018; SOUZA et al., 2012).

Com o intuito de mitigar os danos aos atributos edáficos causados pelo SPC, o cultivo de cebola vem sendo realizado em SPD, bem como no denominado de sistema de plantio direto de hortaliças - SPDH (FAYAD et al., 2019). No SPDH, a mobilização do solo é restrita a linha de cultivo, são usadas plantas de cobertura, especialmente: gramíneas como aveia preta (*Avena strigosa Schreb.*) e centeio (*Secale cereale L.*); algumas leguminosas, como a mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*); e outras famílias botânicas, como o nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*). as plantas de cobertura podem ser cultivadas sozinhas ou consorciadas nos períodos de outono/inverno (BORTOLINI et al., 2021; GIUMBELLI et al., 2020, 2021; OLIVEIRA et al., 2016; SOUZA et al., 2012).

A rotação ou sucessão de culturas, o consórcio de espécies vegetais, a adubação verde e uso de plantas de cobertura podem favorecer as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo cultivado com a cebola, com ênfase para o aumento dos teores de MOS e melhoria da agregação do solo (GIUMBELLI et al., [s.d.]; LOSS et al., 2015). Os resíduos vegetais protegem a superfície do solo do impacto das gotas de chuva reduzindo a erosão, além de suprimir a incidência de plantas espontâneas e aumentar o armazenamento de água no perfil do solo (OLIVEIRA et al., 2016).

A deposição das plantas de cobertura, em especial as que possuem propriedades alopatóicas, inibem o crescimento das plantas espontâneas (ALTIERI et al., 2011), reduzindo a competição por água, luz e nutrientes. Outra vantagem do SPDH no cultivo da cebola, devido a mobilização do solo ser restrita às linhas de plantio associado ao uso de plantas de cobertura em sucessão ou rotação, é a formação de um ambiente edáfico favorável à manutenção da fertilidade do sistema ao longo do tempo, o que permite o aumento da produção de bulbos juntamente com a redução no uso de fertilizantes sintéticos (SOUZA et al., 2012, 2021).

O tipo de preparo do solo tem grande impacto nos estoques de C, N e na disponibilidade de O_2 no substrato. Estas variáveis são associadas a disponibilidade de NH_4^+ e NO_3^- , e regulam os processos de nitrificação e desnitrificação. Processos estes responsáveis pela maior parte do óxido nitroso emitido pelos solos (BAYER et al., 2015; ESCOBAR et al., 2010).

2.4 CARBONO, NITROGÊNIO E OS FLUXOS DE GEE NO SOLO

A razão entre as quantidades de C e N presente na biomassa de uma cultura, conhecida como relação C/N, está diretamente relacionada com a sua decomposição e mineralização (GIACOMINI et al., 2003). Plantas de cobertura com relação C/N alta (> 30) levam a um maior consumo do N e, conseqüentemente, a sua imobilização no solo. Por outro lado, isso não ocorre para coberturas com relação C/N baixa (< 20), sendo nestes casos observada a liberação do elemento mineralizado. A relação C/N mais interessante para materiais adicionados como cobertura do solo são aquelas que se situam entre 20 e 30, balanceando imobilização e mineralização (CAS, 2009).

O C pode se acumular na MOS e em suas frações lábeis alterando a estruturação, a fertilidade e a capacidade de retenção do C atmosférico e seu armazenamento no solo (BAYER et al., 2004; GIUMBELLI et al., 2021). A MOS é a principal fonte de N orgânico para o solo, e funciona como estoque desse elemento, exigido em grande quantidade pela maioria das culturas, tornando-se um dos nutrientes mais limitantes ao desenvolvimento das plantas (BORTOLON et al., 2009; BRUNETTO et al., 2014; LOSS et al., 2015).

Ao avaliar o carbono orgânico total do solo (COT) e os índices de agregação do solo, cultivado com cebola em SPDH e SPC, Loss et al. (2015) constataram que o uso de plantas de cobertura, solteiras ou consorciadas no SPDH, foi eficiente na

recuperação e elevação dos teores de COT e dos índices de agregação do solo em relação ao SPC. Souza et al. (2021) avaliando a rotação e a sucessão de diferentes plantas de cobertura em SPDH, encontraram maiores rendimentos na produção da cebola com uso de plantas de cobertura associado ao preparo do solo limitado às linhas de plantio.

Os sistemas de produção exercem influência sobre os teores COT e nitrogênio total (NT) das frações húmicas e granulométricas da MOS (MAIA et al., 2008). Em um estudo conduzido na Estação Experimental da EPAGRI de Ituporanga, Santos et al. (2018) concluíram que ao adotar o SPDH em função do SPC, há um aumento dos teores de COT e NT, assim como de suas frações húmicas e granulométricas da MOS na camada superficial do solo. Isso ocorre devido o SPDH, em comparação ao SPC, favorecer o processo de humificação da MOS (na camada 0-10 cm) com predomínio de C em suas frações mais estáveis, além de promover a proteção da matéria orgânica nas camadas mais superficiais até 5 cm de profundidade.

Ambientes florestais são importantes na regulação do equilíbrio entre a produção e o consumo de GEE como CO₂, CH₄ e N₂O no solo. LV et al. (2022) estudando os padrões de produção, consumo e transporte destes GEE nos perfis do solo em uma floresta de bambu Moso após exposição à deposição simulada de N por 7 anos, verificaram um aumento significativo das concentrações anuais de CO₂, CH₄ e N₂O nas camadas 0-20 e 20-40 cm, em função da adição de N. Os autores encontraram correlação entre o aumento das concentrações de N₂O no solo, maiores valores de EPSA e maiores estoque de N no solo.

Os estudos sobre a emissão de GEE pelos solos agrícolas no Brasil concentram-se, principalmente, em áreas como a pecuária (ALMEIDA et al., 2015; BESEN et al., 2018; PEREIRA; CECÍLIO FILHO; LA SCALA, 2021). Outra importante fonte de emissão de GEE são as grandes culturas. Na produção da cana-de-açúcar, a substituição das tradicionais queimadas pela chamada de colheita em verde (mecanizada), reduziu significativamente a produção de GEE pelo solo devido ao acúmulo de restos culturais, promovendo a elevação dos níveis de MOS (TAVARES et al., 2018).

A produção de grãos e cereais também tem sua importância 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 CH₄ e

N_2O do solo na produção de arroz, encontraram uma redução de 21 % nas emissões de CH_4 no SPD em comparação com o SPC.

Na produção de hortaliças, Müller Júnior et al. (2019) estudando o efeito de diferentes sistemas de produção de cebola sem o uso de fertilizantes solúveis, na emissão de N_2O , encontraram resultados semelhantes para ambos os sistemas de cultivo em SPDH e SPC. No entanto, trabalhos que comparem a emissão de GEE por solos cultivados com cebola em SPC, com os cultivos em SPDH ainda são incipientes, o que sugere a necessidade da realização de trabalhos que avaliem os dois sistemas de forma a definir o mais eficiente na mitigação das emissões de GEE.

3 HIPÓTESES

O cultivo em SPDH de longa duração eleva os teores de C e N totais no solo em relação ao SPC, em decorrência da ausência de revolvimento periódico do solo e do aporte anual da massa seca das espécies de plantas de cobertura e espontâneas.

O uso do consórcio entre milheto (*Pennisetum americanum* L.), mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*) e girassol (*Helianthus annuus* L.) para produção de massa seca no SPDH aumenta a produtividade da cebola.

O uso do consórcio entre milheto, mucuna preta e girassol eleva os teores de N total nas camadas superficiais do solo, e isso causa aumento das emissões de N₂O ao longo do ciclo produtivo da cebola no SPDH.

O SPDH, por elevar os teores de C e N no solo tende a emitir maiores quantidades de gases de efeito estufa, entretanto sua capacidade de estocar C e N no solo com o passar dos anos, eleva a aptidão do sistema para mitigar essas emissões.

4 OBJETIVOS

4.1 GERAL

Avaliar a contribuição do sistema de plantio direto de hortaliças de longa duração (14 anos), em comparação ao sistema de preparo convencional, quanto à emissão de gases de efeito estufa e uma possível mitigação destes gases durante o cultivo de cebola.

4.2 ESPECÍFICOS

Avaliar a influência do SPDH de longa duração, com e sem o uso de plantas de coberturas, e do SPC na emissão de N_2O , CH_4 e CO_2 no solo ao longo do cultivo de um ciclo completo da cebola.

Quantificar os estoques de C e N totais no solo cultivado com cebola em SPDH de longa duração, com e sem o uso de plantas de coberturas, e no SPD e SPC.

Avaliar a porosidade e a densidade do solo cultivado com cebola em SPDH de longa duração, com e sem o uso de plantas de coberturas, e no SPD e SPC.

Avaliar a produção dos bulbos de cebola em SPDH de longa duração, com e sem o uso de plantas de coberturas, e no SPD e SPC.

Estimar o balanço de C e emissão de gases de efeito estufa em SPDH de longa duração, com e sem o uso de plantas de coberturas, e no SPD e SPC.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O estudo foi desenvolvido no 14º ano de um experimento de longa duração implantado em abril de 2007, na Estação Experimental da EPAGRI (27°25'02.0"S 49°38'51.9"W), Ituporanga, SC (Figura 2). A região conta com clima tipo Cfa (Köppen), subtropical úmido mesotérmico, com geadas pouco frequentes, verões quentes. A precipitação média anual é de 1.400 mm bem distribuídos ao longo do ano, a temperatura média anual é de 17,6°C (ALVARES et al., 2013; KURTZ; MENEZES JÚNIOR; HIGASHIKAWA, 2018).

Figura 2. Localização do município de Ituporanga no estado de Santa Catarina.

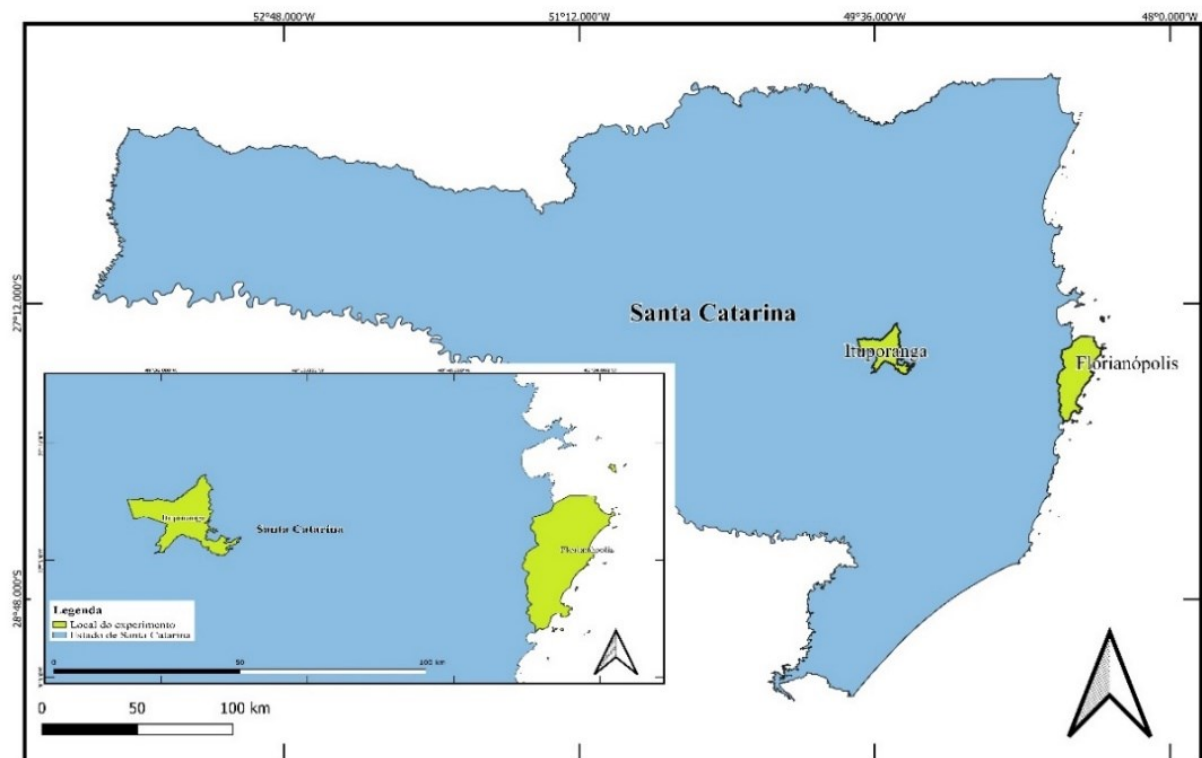


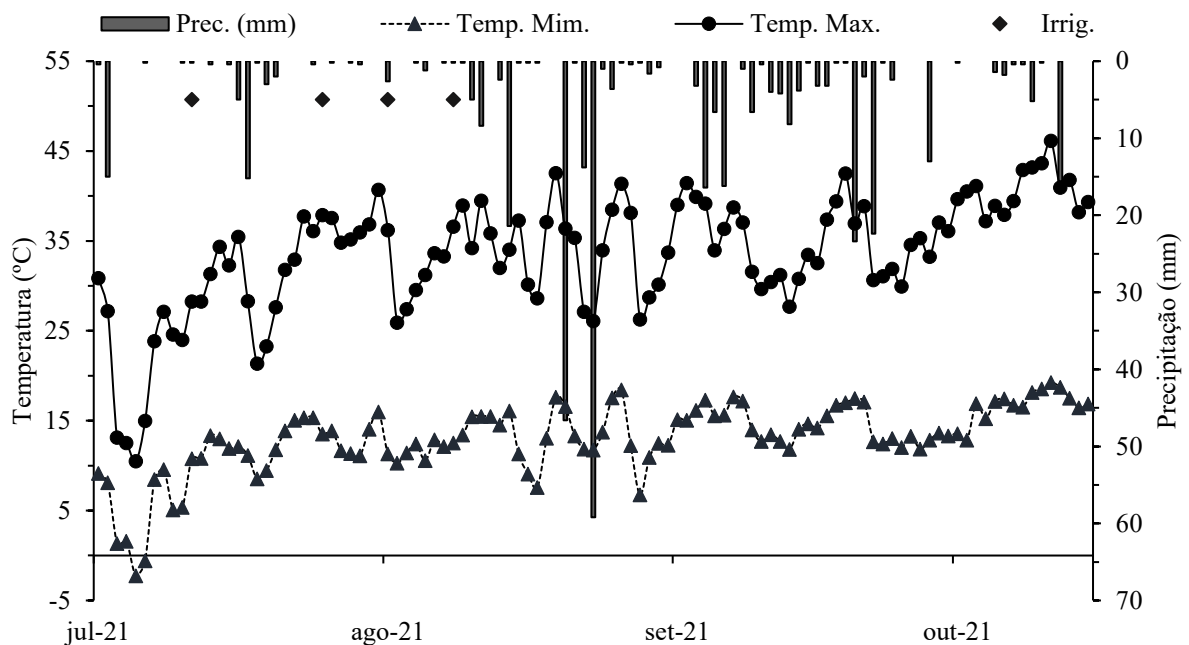
Imagem criado pelo autor através do software de geoprocessamento Qgis®

Os valores de precipitação e temperaturas mínimas e máximas registradas durante o período do estudo (do dia 26 de julho ao dia 8 de novembro de 2021) apresentados na Figura 3 foram obtidos através dos registros de uma Estação Meteorológica, distante aproximadamente 300 metros do experimento. A temperatura

média ao longo de experimento foi de 16,8°C, variando de -2,26°C no momento mais frio a 27,7°C no momento mais quente.

Ao longo dos 106 dias de experimento foram registrados 379,48 mm de chuvas, distribuídos a uma média de 3,58 mm por dia, com pico de 59,20mm registrado 54 dias após o transplante da cebola. Durante os primeiros 40 dias após o transplante foram precipitados 52,60 mm, a uma média de 1,32 mm por dia. Foram realizadas quatro irrigações por aspersão durante os primeiros 40 dias de cultivo devido a precipitação insuficiente para atender os requisitos hídricos da cultura.

Figura 3: Dados climáticos registrados ao longo do ciclo da cebola, safra de 2021.



Irrig. Representa as datas em que se fez necessária irrigação, valores de lâmina d'água não aferidos.

O solo foi classificado como Cambissolo Húmico Distrófico (EMBRAPA, 2018), apresentando, na camada de 0-10 cm, os seguintes atributos físicos e químicos, conforme Tedesco et al. (1995): 410, 264 e 326 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, pH-H₂O 6,1; Ca, Mg e Al trocáveis 6,4, 2,7 e 0,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente (extraídos por KCl 1 mol L⁻¹); P e K disponíveis 42 e 208 mg dm⁻³, respectivamente (extraídos por Mehlich-1).

Durante a implementação do experimento (2007) foi semeada em toda a área um mix de sementes contendo aveia preta (*Avena strigosa*), ervilhaca peluda (*Vicia villosa*), e Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). Posteriormente, foram implantados os tratamentos conforme consta na Tabela 1. A partir do ano 2011, o sistema de

rotação foi mudado para sucessão, a sequência das plantas de cobertura foi alterada, o tratamento T2 foi transformado em SPC, passando a ter uma aração e duas gradagens antes do plantio das culturas, este novo tratamento foi criado para efeito de comparação com os demais tratamentos em SPDH e SPD.

Tabela 1: Tratamentos implantados na rotação de culturas para cultivo de cebola sob manejo conservacionista do solo, de 2007 a 2021, Ituporanga, SC.

Ano Agrícola		T1-SPD	T2-SPC	T3-SPDH
2007	Inverno	Aveia + Ervilhaca + Nabo	Aveia + Ervilhaca + Nabo	Aveia + Ervilhaca + Nabo
		Pousio	Cebola	Cebola
	Verão	Milho	Feijão de Porco + Milheto	Girassol
2008	Inverno	Pousio	Aveia	Aveia+ Centeio
		Cebola	Cebola	Cebola
	Verão	Milho	Crotalária	Milheto + Mucuna + Girassol
2009	Inverno	Cebola	Centeio	Ervilhaca
	Verão	Milho	Milho	Milho
2010	Inverno	Pousio	Aveia	Aveia + Centeio + Nabo
		Cebola	Cebola	Cebola
	Verão	Milho	Crotalária	Milheto+ Mucuna+ Girassol
Ano Agrícola		T1-SPD	T2-SPC	T3-SPDH
2011 a	Inverno	Pousio	Pousio	Pousio
		Cebola	Cebola	Cebola
2021	Verão	Milho	Milho	Milheto + Mucuna + Girassol

Espécies vegetais: aveia preta (*Avena strigosa*), cebola (*Allium cepa* L.), centeio (*Secale cereale* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa*), feijão de porco (*Canavalia ensiformis* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), milho (*Zea mays* L.), milheto (*Pennisetum americanum* L.), mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*) e Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). T1-SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; T2-SPC - sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas, porém a partir de 2011, em sistema de preparo de convencional do solo e T3-SPDH- sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente.

Os tratamentos foram pensados de forma a contemplarem os sistemas mais utilizados na produção da cebola na região. A escolha das plantas de cobertura utilizadas foi baseada em coberturas do solo utilizadas para produção de matéria seca no SPDH. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com três tratamentos e quatro repetições, onde cada parcela possui 3 m de largura e 3,30 m de comprimento, somando uma área de 9,90 m².

5.2 CULTIVO DA CEBOLA (*ALLIUM CEPA* L.)

Antes do plantio da cebola as plantas de cobertura foram dessecadas e, posteriormente, nas parcelas referentes aos tratamentos SPD e SPDH foram abertos sulcos de semeadura com o auxílio de uma máquina adaptada para o plantio direto da cebola, e as mudas foram transplantadas manualmente. Esta etapa ocorreu no dia 26 de julho de 2021. A cultivar utilizada foi a 'Empasc 352' - Bola Precoce. O espaçamento usado foi 0,40 m entrelinhas e 0,08 m entre plantas, sendo sete linhas de cebola por parcela, com uma borda de 0,3 m em cada lado das parcelas. Para o tratamento SPC foi realizada uma aração e duas gradagens antes da abertura dos sulcos, sendo os demais procedimentos realizados da mesma forma que em SPD e SPDH. Foram coletadas amostras de resíduos vegetais para determinação da matéria seca (MS) da palhada que cobria o solo no momento do transplante e determinação dos perceptuais de C e N.

A adubação de base para produtividade estimada de 45 Mg ha⁻¹, foi realizada imediatamente antes do transplante, conforme recomendação de reposição da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC, 2016), com 105 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de sulfato de potássio, sendo aplicados 60 kg ha⁻¹ no plantio e os outros 45 kg ha⁻¹ aos 57 dias após o transplante (DAT), juntamente com a segunda adubação de N em cobertura; 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo, toda realizada no plantio; e 160 kg ha⁻¹ de N na forma de nitrato de amônio, sendo aplicados 20 kg ha⁻¹ no plantio e 90 kg ha⁻¹ dividido em três adubações de cobertura. O superfosfato triplo e sulfato de potássio (dose aplicada no transplante) foram incorporados no sulco de plantio, o nitrato de amônio foi aplicado a lanço após a primeira coleta de gases, que ocorreu em 27 de julho de 2021.

A aplicação em cobertura de 90 kg ha⁻¹ de N (nitrato de amônio) foi realizada a lanço, distribuídos em três aplicações, sendo 25 kg ha⁻¹ aos 36 DAT, 40 kg ha⁻¹ aos 57 DAT, juntamente com 45 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio, e 25 kg ha⁻¹ aos 85 DAT, recomendação adaptada por Kurtz et al. (2012). O tratamento SPDH (por conter mucuna na sua composição) recebeu uma dosagem 25% menor de adubação nitrogenada em todas as aplicações, totalizando 120 kg ha⁻¹ de N.

Em relação à produtividade da cebola, 26 plantas de cada uma das três fileiras centrais de cada parcela foram avaliadas. Em novembro/2021 realizou-se manualmente a colheita da cebola, utilizando-se as três linhas centrais de cada

parcela. Os bulbos permaneceram na superfície do solo por 10 dias para a cura (secagem e perda de água das folhas). Posteriormente, os bulbos foram pesados e, posteriormente, quantificada a produtividade, em Mg ha^{-1} .

A produção de massa seca (MS) das plantas de cobertura de cada tratamento, imediatamente antes do plantio, foi amostrada dentro de um quadro de madeira com $0,25 \text{ m}^2$, com duas subamostras por parcela. Para o SPDH, a MS era referente ao consórcio de mucuma + girassol + milho; para os tratamentos SPD, que não utilizam plantas de coberturas, a MS era remanescente de resíduos vegetais do milho; para o SPC foram coletadas amostras referentes aos restos culturais do milho remanescentes sobre o solo após o preparo. Posteriormente, foi realizada a secagem em estufa de 105° C e pesagem do material vegetal coletado para obtenção da massa seca. Parte desse material foi macerado com auxílio de um pilão e uma subamostra de dois gramas foi colocada em recipientes Eppendorf e enviada para análise pelo método de combustão a seco, utilizando autoanalisador (TruSpec CHNS; LECO Corporation, St. Joseph, MI, USA), a 1000° C , no Laboratório de Ciclagem de Nutrientes (LCN) do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba, SP, Brasil.

5.3 COLETAS E ANÁLISES DE AMOSTRAS DE SOLOS

Antecedendo o plantio da cebola, em março de 2021, foram realizadas amostragens de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-30 cm em todos os tratamentos, seguindo-se a metodologia preconizada por Veiga (2011) e Embrapa (2011). Foram abertas trincheiras de $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}$ e coletadas amostras deformadas e indeformadas. Nas amostras deformadas foram avaliados os teores de COT e 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 determinação da densidade do solo (D_s) utilizou-se o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2011). Amostras de volume conhecido (50 cm^3) foram coletadas e levadas a estufa de circulação forçada para secagem do solo a 110° C por 72 horas. Em seguida, as amostras foram pesadas e assim obtida a massa seca do solo. A D_s foi obtida pela divisão da massa seca pelo volume do anel, conforme a metodologia de Embrapa (2011).

Para a estabilidade de agregados, as amostras coletadas foram secas ao ar e, posteriormente, destorroadas manualmente, seguindo-se as fendas ou pontos de fraqueza, e em seguida foram passadas em um conjunto de peneiras de malha 8,00 mm e 4,00 mm para obtenção dos agregados do solo, conforme Embrapa (2011). Dos agregados retidos na peneira de 4,00 mm, foram pesados 25 gramas e transferidos para uma 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). Os agregados, inicialmente colocados na peneira de 2,00 mm, foram umedecidos com borrifador de água e, posteriormente, o conjunto de peneiras foi submetido à tamisação vertical via úmida por 15 minutos no aparelho de Yoder (YODER, 1936). Transcorrido esse tempo, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com jato d'água, colocado em cadinhos de alumínio previamente pesados e identificados, e levados à estufa até a obtenção de massa seca constante. A partir da massa de agregados foi calculado o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, segundo Embrapa (2011).

Para obtenção da porosidade do solo seguiu-se a metodologia de Veiga (2011). As amostras foram saturadas por capilaridade, sendo dispostas em um recipiente com água até atingir metade da altura do anel metálico e deixadas nessa condição por 24h para que toda a amostra fosse saturada. Em seguida foi aferido a massa das amostras saturadas. Para a obtenção da curva de retenção de água no solo, as amostras saturadas foram dispostas sobre uma mesa de tensão aplicando-se tensões de 0,6 e 6 kPa, passando em seguida para o extrator de Richards, com aplicação de tensões de 60 e 600 kPa. Ao fim da aplicação de cada tensão foi aferido a massa da amostra, passando então para a tensão seguinte. A distribuição de tamanho de poros foi obtida através dos dados da curva de retenção de água, considerando-se macroporos aqueles com diâmetro maior ou igual a 50 μm , que retém água do solo saturado até a tensão de 6 kPa, e os microporos aqueles com diâmetro menor do que 5 μm , que retém a água até a tensão de 600 kPa.

Em relação às amostras deformadas, no laboratório elas foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm. Em seguida, essas amostras foram moídas em gral de porcelana e passadas em malha de 150 mesh (0,149 mm) para determinação dos teores de COT e NT em analisador elementar de combustão seca (modelo FlashEA 1112 Thermo Finnigan) no Laboratório de Pesquisa em Biotransformações de Carbono e Nitrogênio (LABCEN) - Santa Maria (RS). A partir dos teores de C e N,

calcularam-se os estoques de COT e NT, utilizando-se o método de massa equivalente (SISTI et al., 2004), conforme equação 1.

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

Onde:

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

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$ é a soma do C ou N da primeira (superfície) à 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 $Mg \text{ ha}^{-1}$;

$\sum_{i=1}^n M_{Si}$ é a soma da massa do solo da primeira à última camada no perfil do solo no tratamento referência (SPDH) 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 C ou N na última camada do perfil do tratamento avaliado em $Mg \text{ C ou N } Mg^{-1}$ de solo.

Para avaliação da umidade gravimétrica do solo, uma vez por semana e durante todo o ciclo da cebola e avaliação dos GEE, foram coletadas amostras de solo nos tratamentos avaliados na profundidade de 0-10 cm. As amostras coletadas foram imediatamente acondicionadas em recipiente plástico, impedindo a troca de umidade da amostra com a atmosfera e estocadas ao abrigo da luz solar até o momento em que o solo foi acondicionado em cadinhos previamente pesados, pesados novamente para obtenção do peso úmido, seco em uma estufa de circulação forçada a 105°C por 24 horas e pesados novamente para obtenção do peso seco. A partir da diferença de massa seca e massa úmida foi determinada a umidade gravimétrica, conforme descrito por Tedesco et al. (1995).

Com as informações de umidade gravimétrica, densidade do solo e porosidade total, foi realizado o cálculo do espaço poroso saturado por água (EPSA, %) conforme a equação 2 (MÜLLER JÚNIOR, 2017; SIQUEIRA NETO et al., 2009).

$$\text{EPSA (\%)} = \frac{(\text{Ug} \times \text{Ds})}{\text{P Total}} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

EPSA (%) é o espaço poroso saturado por água (%);

Ug é a umidade gravimétrica (g g^{-1});

Ds é a densidade do solo (g cm^{-3});

P Total é a porosidade total do solo (%).

5.4 AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE N₂O, CH₄ E CO₂ DO SOLO

A avaliação dos fluxos de N₂O, CH₄ e CO₂ iniciaram no dia da primeira adubação nitrogenada, 27 de julho de 2021, e foram finalizadas uma semana antes da colheita da cebola, em 09 de novembro de 2021, totalizando 106 dias de avaliação. A coleta das amostras foi realizada pelo método de câmaras estáticas fechadas (MOSIER, 1989). Durante esse período foram realizadas 28 coletas (1, 2, 4, 8, 11, 14, 22, 29, 36, 37, 39, 42, 46, 49, 57, 64, 65, 67, 71, 74, 79, 85, 86, 88, 91, 94, 100 e 106 dias após a primeira adubação nitrogenada da cebola), sendo uma antes das adubações nitrogenadas, e as demais espaçadas aproximadamente 3 dias entre si nas primeiras duas semanas; após esse período a distância foi alterada para 7 dias seguindo o padrão 0, 1, 3, 7, 10, 13, 21, 28 dias pós-adubação.

A quantificação da emissão média diária de CH₄ em solos cultivados pode ser realizada a partir da sua avaliação no intervalo entre 09:00 e 12:00h (COSTA et al., 2008). O horário mais representativo para determinação dos fluxos de N₂O é próximo as 01:00h, como este período é demasiadamente inconveniente para amostragens o segundo horário mais representativo é 10:00h (JANTALIA et al., 2008a). As coletas ocorreram preferencialmente entre 09:00 e 11:00h, já que este horário é comum aos fluxos médios de dois dos 3 gases avaliados.

As câmaras utilizadas são constituídas de uma base metálica reforçada, uma caixa metálica com 3 furos na parte superior, um termômetro acoplado a uma rolha de vedação e um cateter equipado com válvula do tipo Luer Lock, onde são acopladas as seringas para a coleta dos gases. Alguns itens adicionais importantes para coleta foram um termômetro para aferição da temperatura do solo a mais ou menos 5 cm de profundidade, uma bateria de 12v para alimentação das ventoinhas, quatro seringas de polipropileno de 20mL equipadas com válvulas (Luer Lock) para coletas das

amostras e uma caixa térmica para o transporte das amostras até o laboratório (Figura 4).

Figura 4: Modelo de câmaras estáticas utilizadas na coleta das amostras de GEE e seus compartimentos.



Fonte: Paulo Câmara.

As caixas possuem um formato retangular nas seguintes dimensões: Largura 0,40 m; Comprimento 0,50 m e Altura 0,25 m. Sua construção é em chapas de aço galvanizado de 2 mm. No seu interior são instaladas duas ventoinhas de 12 volts e um pequeno circuito elétrico onde foi acoplada uma bateria externa durante as coletas no campo. Durante as coletas, as caixas foram acopladas sobre as canaletas das bases, as quais foram preenchidas com água para promover um isolamento da atmosfera interna das câmaras, e nos furos na parte superior das câmaras foram instalados o termômetro e o cateter.

A base é construída com lingotes de aço carbono de 5 mm (precisam ser resistentes a uma determinada pressão utilizada na sua fixação ao solo), que são soldados, assim formando uma canaleta com 4 cm de largura e 3 cm de altura. Centralizado abaixo da canaleta é soldada uma base de 5 cm que quando inserida no solo promove sua fixação bem como delimita uma área onde o solo não deve ser perturbado ao longo do experimento (Figura 5).

Figura 5: Base de metal fixada no solo



Fonte: Paulo Câmara.

A fixação das bases foi realizada um dia antes do início do experimento e permaneceram até o fim das coletas para evitar perturbações ao solo. Foram instaladas 12 bases, sendo uma em cada parcela distante, aproximadamente, 0,5 m das bordas. A localização foi definida de maneira que não prejudicasse o desenvolvimento da cebola nem os tratos culturais e permanecesse protegida de possíveis perturbações oriundas da movimentação no entorno durante as coletas. As mudas s cebola localizadas no interior das bases foram retiradas para que fosse possível o acoplamento das câmeras ao logo de todo o experimento.

O procedimento de coleta consistiu em conectar os terminais das ventoinhas em uma bateria externa por 30 segundos para que todo o ar no interior da caixa seja homogeneizado, movimentar o embolo da seringa por três vezes para que todo o ar acumulado no cateter seja substituído, trazer o embolo da seringa até a marcação de 20 ml, fechar as válvulas do cateter e da seringa, retirar a seringa e acomodar em uma caixa térmica até que o conteúdo fosse transferido para os frascos exetainers de 12 mL previamente evacuados, onde permaneceram até serem analisadas. O procedimento foi repetido por quatro vezes nos tempos 0, 15, 30 e 45 minutos para a construção da curva de emissão dos GEE em cada amostra. As quantificações do N_2O , CH_4 e CO_2 foram realizadas através de um cromatógrafo gasoso (Shimadzu GC-

2014 modelo Greenhouse) equipado com detector de captura de elétrons (ECD) e detector de ionização de chama (FID).

Os fluxos diários de N₂O, CH₄ e CO₂ foram calculados de acordo com equação 3 adaptada de Schirmann 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.

$$\text{Fluxo gás} = \frac{\Delta(\text{gás})}{\Delta t} \times \frac{PV}{RT} \times \frac{M}{A} \times \frac{\text{Elemento}}{\text{Gás}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Fluxo gás é o fluxo de N₂O e CH₄ (g ha⁻¹ dia) ou de CO₂ (kg ha⁻¹ dia);

Δ(gás) é a variação na concentração do gás (N₂O (ηmol mol⁻¹) ou CH₄ (μmol mol⁻¹) ou CO₂ (μmol mol⁻¹)) 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⁻¹ K⁻¹);

T é a temperatura interna da câmara (kelvin);

M é o peso molecular do gás (g mol⁻¹);

A é a área do solo ocupada pela câmara (m²);

Elemento/Gás é relação entre a massa atômica do elemento e a massa molecular do gás. No caso 28/44 para o N₂O, 12/16 para o CH₄ e 12/44 para o CO₂.

Os fluxos médios foram calculados a partir do valor médio de quatro 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-N₂O, C-CH₄ e C-CO₂ foram calculadas pela integração trapezoidal dos fluxos de N-N₂O, C-CH₄ e C-CO₂. 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., 2008a). Com os valores de emissão acumulada foi calculada as emissões em C equivalente, adaptando-se as equações 4, 5 e 6 descritas por Siqueira Neto et al. (2009).

$$\text{C equivalente} = \text{N-N}_2\text{O} \times \left(\frac{44}{28}\right) \times 273 \times \left(\frac{12}{44}\right) \quad \text{Equação 4}$$

$$\text{C equivalente} = \text{C-CH}_4 \times \left(\frac{16}{12}\right) \times 27 \times \left(\frac{12}{44}\right) \quad \text{Equação 5}$$

$$\text{C equivalente} = \text{C-CO}_2 \times \left(\frac{12}{44}\right) \times 1 \times \left(\frac{12}{44}\right) \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

N-N₂O e C-CH₄ são os fluxos de gás;

(44/28) representa a quantidade de N na molécula de N₂O, sendo N em massa atômica e N₂O 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 N₂O (IPCC, 2021);

(16/12) representa a quantidade de C na molécula de CH₄, sendo C em massa atômica e CH₄ 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 CH₄ (IPCC, 2021);

(12/44) representa a quantidade de C no CO₂, sendo C em massa atômica e CO₂ em massa molecular.

5.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A variação das médias dos fluxos diários de N-N₂O, C-CH₄ e C-CO₂ emitido pelo solo foi expressa através do erro padrão da média. Os dados da emissão acumulada de N-N₂O, C-CH₄ e C-CO₂, os atributos químicos e físicos, e a produtividade média da cebola e massa seca das plantas de coberturas foram submetidos a análise de variância, utilizando o programa estatístico Sisvar[®] em sua versão 5.8 (FERREIRA, 2019), e as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste t (LSD) a 5% de significância (DODGE, 2008).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA REMANESCENTE SOBRE O SOLO ANTES DO TRANSPLANTE DA CEBOLA.

A biomassa encontrada para os tratamentos SPDH e SPD foram 10,92 e 10,51 Mg ha⁻¹ respectivamente, o que indica acúmulo de biomassa superior a 10 Mg ha⁻¹, valor considerado ideal para o desenvolvimento do SPD e do SPDH (FAYAD et al., 2019), já o tratamento SPC acumulou 4,22 Mg ha⁻¹, valor que apesar de pequeno se comparado aos demais tratamentos reflete a grande quantidade de biomassa produzida pelo milho (cultura anterior), e sua capacidade de permanecer no solo por muito tempo após o corte, já que mesmo depois da incorporação promovida pelo preparo do solo, uma quantidade considerável de MS permaneceu na superfície da área (Tabela 2).

Tabela 2: Médias de massa seca (Mg ha⁻¹), teores de C e N (%), e relação C/N da biomassa remanescente sobre o solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra do ano 2021.

Tratamento	MS (Mg ha ⁻¹)	% C	% N	C/N
SPD	10,51 a	29,34 a	1,08 b	27,58 a
SPC	4,22 b	25,62 a	1,09 b	24,34 a
SPDH	10,92 a	28,01 a	2,08 a	13,38 b
CV (%)	18,64	20,69	18,05	24,96

SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH- sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente; CV- coeficiente de variação. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

Os percentuais de C da biomassa foram iguais para os três tratamentos, já o percentual de N foi superior em SPDH (Tabela 2). Com isso a relação C/N em SPDH foi de 13,38, sendo inferior aos demais tratamentos. A presença da leguminosa (mucuna) no SPDH e apenas a presença do milho no SPD e SOC, explicam as diferenças dos valores de N e relação C/N encontrados. Valores baixos de relação C/N são indicativos de uma alta taxa de decomposição, aliado a rápida mineralização do N contido na biomassa. Os valores da relação C/N de SPD e SPC foram 27,58 e

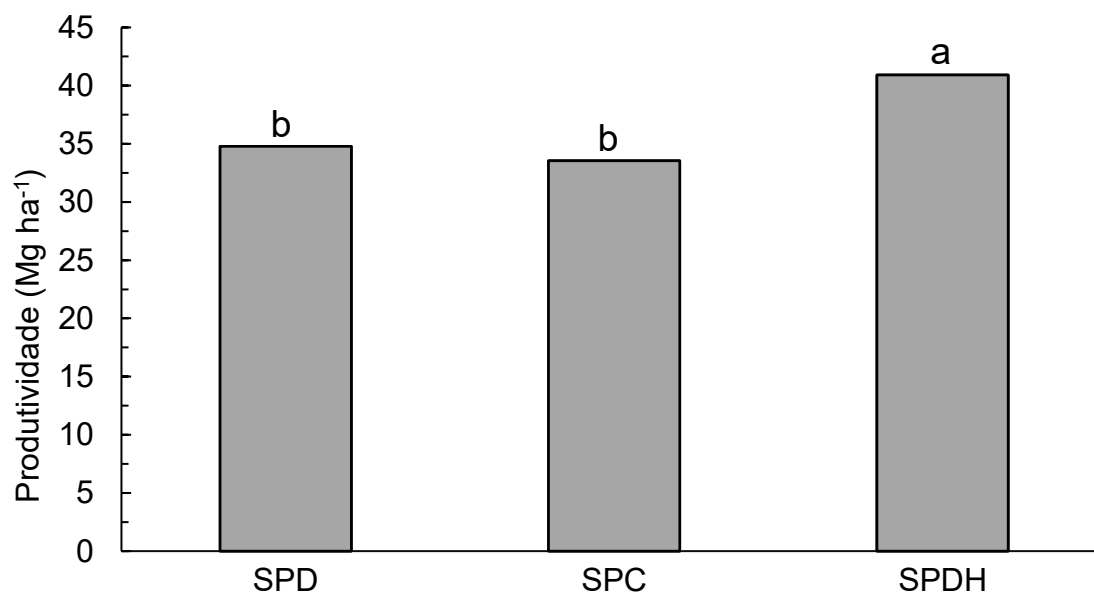
25,34, respectivamente (Tabela 2), o que pode ser classificado como uma relação C/N de média para alta (ACOSTA et al., 2014; WEILER et al., 2018). Geralmente, resíduos vegetais com relação C/N de 25 causam equilíbrio entre os processos de imobilização e mineralização. Valores superiores causam imobilização líquida, enquanto valores inferiores promovem mineralização líquida de N ao solo (GIACOMINI et al., 2003; SIQUEIRA NETO et al., 2010).

Outro ponto a se destacar quanto a utilização do consórcio de mucuna+milheto+girassol, como plantas de cobertura no SPDH, é o acúmulo de nutrientes no material vegetal e sua posterior liberação durante a decomposição, possibilitando manutenção e melhoria da fertilidade do solo (WOLSCHICK et al., 2016). A combinação de espécies vegetais de famílias botânicas diferentes, tais como mucuna (Fabaceae), milho (Poaceae) e girassol (Asteraceae), potencializa a ciclagem de nutrientes, uma vez que a mucuna apresenta baixa relação C/N (em média 16,5), produção média de matéria seca de 7,5 Mg ha⁻¹, grande capacidade de realizar fixação biológica de N (em média 185 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N) (CARVALHO et al., 2022; LIMA FILHO et al., 2014; SILVA, 2020); já o milho apresenta matéria seca com alta relação C/N (em média 36,5) e produção média de matéria seca de 11,5 Mg ha⁻¹ (BRÜCK et al., 2003; LIMA FILHO et al., 2014); e, o girassol possui média produtividade de massa seca 10,5 Mg ha⁻¹, e média relação C/N (em média 24) (CARVALHO et al., 2008; CASTRO et al., 1996).

6.2 PRODUTIVIDADE DA CEBOLA.

A produtividade média da cebola no SPDH foi de 40,92 Mg ha⁻¹ sendo superior aos demais tratamentos. Os tratamentos SPD e SPC não diferiram, produzindo 34,78 e 33,55 Mg ha⁻¹ respectivamente (Figura 6). A maior produtividade de cebola no SPDH está relacionada com os benefícios de uma maior produção de MS proveniente do consórcio de mucuna+milheto+girassol, assim como dos maiores teores de N presentes neste tratamento devido a presença da mucuna (Tabela 2).

Figura 6: Médias de produtividade da cebola (Mg ha^{-1}) nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra do ano 2021.



SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH- sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

A redução em 25 % na adubação nitrogenada oferecida ao SPDH em relação aos demais tratamentos, não influenciou negativamente na sua produtividade, o tratamento apresentou produção em média 20 % superior ao SPD e SPC, o que denota a importância das leguminosas (mucuna) junto ao consórcio utilizado para produção de MS nos sistemas de cultivo. O N é o nutriente mais demandado pela cebola (KURTZ et al., 2012), e a redução da dose de 160 para 120 kg ha^{-1} de N disponibilizado para a cultura certamente acarretaria menor produtividade. A maior produtividade da cebola deve-se a capacidade de fixação do N no solo e nos restos culturais realizada pela mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) (MELLO, 1978).

A maior produtividade da cebola no SPDH também tem relação com as melhores condições edáficas encontradas neste tratamento em comparação ao SPD e SPC. Além de apresentar maiores teores de N na camada superficial do solo (0-5 cm), o SPDH também apresentou maiores teores de COT e agregação do solo (diâmetro médio geométrico) e redução dos valores de densidade do solo (Tabelas 2, 3 e 4). Estes atributos contribuem para um ambiente edáfico favorável ao aumento da produtividade, assim como relatado por outros autores que avaliaram a produtividade

da cebola em SPD e SPC (FERREIRA et al., 2018; LOSS et al., 2020; SOUZA et al., 2021).

A cebola possui raízes fasciculadas que exploram as camadas superficiais do solo (MANFRON; GARCIA; ANDRIOLO, 1992). O milho e girassol possuem raízes agressivas e profundas, o que permite explorar maior volume de solo, possibilitando a absorção de nutrientes indisponíveis para cebola, estes nutrientes retornam a superfície com o processo de decomposição e mineralização dos restos culturais destas plantas (CARVALHO et al., 2022; LIMA FILHO et al., 2014).

6.3 TEORES E ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO TOTAIS DO SOLO

Os maiores teores de COT foram encontrados no tratamento SPDH, em todas as camadas, exceto para 5-10 cm, que não diferiu de SPD. Para os estoques de COT, o SPDH também apresentou maiores valores na camada de 0-5 cm e 0-30 cm, sendo na camada de 10-30 cm verificados maiores valores em relação ao SPD (Tabela 3).

Tabela 3: Teor de COT e seus estoques nas camadas do solo nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.

Tratamentos	COT (g kg ⁻¹)			Est. C (Mg ha ⁻¹)			
	Camadas (cm)						
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30	0-30
SPD	28,43 b	27,57 ab	21,34 b	17,75 b	15,49 a	53,62 b	86,85 b
SPC	27,45 b	25,63 b	21,23 b	16,98 b	16,36 a	54,79 ab	88,13 b
SPDH	42,63 a	30,42 a	23,23 a	21,62 a	16,23 a	57,03 a	94,89 a
CV%	2,97	6,60	4,47	4,78	6,68	2,63	2,60

SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas; SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milho, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente e CV - coeficiente de variação. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5% de significância.

Os menores teores de COT encontrados em SPC são resultantes do revolvimento periódico do solo por meio das práticas de aração e gradagem, promovendo a ruptura da sua estrutura, com conseqüente aumento da mineralização dos resíduos vegetais e perda do C para a atmosfera em forma de CO₂ (GIUMBELLI et al., 2021; PULLEMAN et al., 2005). A ausência de diferenças entre os teores e estoques de COT de SPC e SPD, é resultado das sucessivas incorporações dos

resíduos vegetais da cultura do milho (de 2007 a 2021), que por ter uma elevada relação C/N, favorece a imobilização de nutrientes, com decomposição lenta dos resíduos vegetais, o que acarreta aumento do C no solo. Giumbelli et al. (2021) relataram resultados semelhantes em estudo realizado na mesma área de avaliação com a cultura da cebola, porém com dados coletados durante o ano de 2016. Os autores encontraram menores quantidades de matéria orgânica leve, COT e NT do solo em SPC e SPD em comparação ao SPDH com uso de diferentes espécies de plantas de cobertura do solo.

Tabela 4: Teor de NT e seus estoques em camadas do solo nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.

Tratamentos	NT (g kg^{-1})			Est. N (Mg ha^{-1})			
	Camadas (cm)						
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30	0-30
SPD	3,03 b	2,85 a	1,91 a	1,89 b	1,59 a	4,79 a	8,28 a
SPC	2,25 c	2,13 b	1,70 b	1,44 c	1,39 b	4,31 b	7,14 b
SPDH	4,12 a	2,81 a	1,87 ab	2,09 a	1,55 ab	4,61 ab	8,26 a
CV%	2,00	6,93	6,89	4,59	7,19	5,16	3,28

SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas; SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente e CV - coeficiente de variação. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

Resultados semelhantes ao deste estudo foram encontrados por KUNESKI (2021) e LOSS et al. (2015) avaliando os teores e estoques de C e N em diferentes sistemas de manejo em SPC e SPDH com plantas de cobertura solteiras e consorciadas na cultura da cebola. Os autores encontram maiores valores de C e N nas áreas manejadas em SPDH.

Mesmo SPDH recebendo 25% menos adubação nitrogenada, os teores e estoques de NT encontrados em SPD não diferiram nas camadas subsuperficiais, enquanto na camada 0-5 cm, o SPDH apresentou maiores valores tanto para o NT quando comparados a SPD, resultado que se repetiu para os Est. N.

Estes resultados estão relacionados a presença de plantas de cobertura no SPDH, como a mucuna, que apresenta grande capacidade em realizar fixação biológica de N (em média $185 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N) (ALVARENGA et al., 2001; SILVA,

2020), o que permite a maior presença de N na camada superficial à medida que ocorre a decomposição e mineralização do material vegetal depositado sobre o solo.

Apesar dos nutrientes presentes na palhada de milho (origem de grande parte do material vegetal depositado sobre SPD) também serem liberados na camada superficial ao logo da decomposição e mineralização do material, os teores de N presentes na biomassa de milho são muito inferiores ao disponibilizado pelo consórcio milheto+mucuna+girassol, além do milho possuir uma relação C/N alta (Tabela 2), o que torna a disponibilização lenta além de favorecer a imobilização de parte do N alocado na biomassa (SANTOS et al., 2014; SIQUEIRA NETO et al., 2010; WISNIEWSKI; HOLTZ, 1997).

Os maiores estoques de COT (Tabela 3), assim como os maiores teores e estoques de NT foram observados no SPDH, com destaque para as áreas em SPD que apresentaram maiores teores de NT em comparação ao SPC (Tabela 4). Estes resultados podem ser decorrentes do maior acúmulo de MS na superfície do solo (Tabela 2). Aliado ao fato da utilização do consórcio de plantas de cobertura (SPDH) ser capaz de promover uma melhor exploração do solo pelas raízes das diferentes espécies vegetais, favorecendo assim o acúmulo de C por rizodeposição, além da mineralização e imobilização na massa microbiana do N presentes na biomassa (LIMA et al., 2018; LOSS et al., 2015; PRASAD et al., 2016; PUGLISI et al., 2009; SOUZA et al., 2021).

6.4 DIÂMETRO MÉDIO GEOMÉTRICO (DMG) E DENSIDADE DO SOLO (DS)

Houve diferenças significativas entre os tratamentos para DMG e DS. O SPDH apresentou DMG maior que o SPC em todas as camadas, e maior que o SPD somente na camada superficial. Para DS foram encontrados melhor resultados em SPDH nas camadas 0-5 e 5-10 quando comparados a SPD e SPC que não diferiram entre si nestas camadas. Em relação à camada 10-30, os valores de DS foram iguais para todos os tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5: Diâmetro médio geométrico (DMG) e densidade do solo (DS) em função dos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.

Tratamentos	DMG (mm)			DS (g cm ³)		
	Camadas (cm)					
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30
SPD	3,97 b	4,09 a	3,96 a	1,25 a	1,25 a	1,26 a
SPC	3,27 c	3,38 b	2,40 b	1,28 a	1,28 a	1,28 a
SPDH	4,45 a	4,32 a	4,15 a	1,01 b	1,08 b	1,23 a
CV%	6,95	5,66	8,79	4,01	4,30	5,72

SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas; SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente e CV- coeficiente de variação. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5% de significância.

Os menores valores de DMG no SPC estão associados aos processos de preparo do solo adotados neste sistema, já que a aração e gradagem promovem a quebra dos macroagregados, causando a redução de seus índices de agregação (BAYER et al., 2004; GIUMBELLI et al., 2021; LOSS et al., 2015). Como consequência da ruptura dos agregados tem-se a exposição da matéria orgânica que estava protegida no interior deles. Esta exposição pode levar a rápida decomposição da matéria orgânica e posterior diminuição na atividade microbiana, causando redução da produção de mucilagens, o que acarreta a perda de estabilidade dos macroagregados e, conseqüentemente, aumento dos microagregados (BORTOLINI et al., 2021; LOSS et al., 2015; OADES, 1984).

Estes resultados são semelhantes aos observados por Giumbelli et al. (2021), em um estudo realizado na mesma área de avaliação, porém com amostras de solo coletadas no ano de 2016. Os autores encontraram menores valores de DMG em todas as camadas avaliadas para o SPC, entretanto os valores de DMG do SPD não diferiram do SPC nas camadas de 5-10 e 10-20 cm. Conforme verificado no presente estudo (Tabela 5), com amostras de solo coletadas em 2021, foi possível evidenciar diferenças entre os tratamentos. Isso indica que o maior tempo do cultivo da cebola no SPD, mesmo sem o uso de plantas de cobertura, está aumentando a agregação do solo em comparação ao SPC, também sem o uso de plantas de coberturas. A ausência de revolvimento do solo no SPD e aliado a maior biomassa de resíduos vegetais do milho remanescente sobre o solo (Tabela 2) auxiliam na manutenção de agregados de maior tamanho para este tratamento em comparação ao SPC.

Outro comparativo interessante entre os dois estudos é a relação entre os valores de DMG observados em SPD e SPDH. Giumbelli et al (2021) encontraram diferenças significativas em todas as camadas entre estes dois tratamentos, no entanto o resultado apresentado na tabela 5, aponta a inexistência de diferenças entre estes dois tratamentos para o DMG nas camadas de 5-10 e 10-30 cm, o que pode indicar a formação de macroagregados estáveis no SPD em decorrência de um maior acúmulo de biomassa sobre o solo (Tabela 2), refletindo em aumento de matéria orgânica e, conseqüentemente, maior atividade microbiana.

Os maiores valores de DMG observados no SPDH na camada superficial do solo (Tabela 5) são decorrentes da maior diversidade vegetal decorrente do consórcio entre três espécies vegetais de plantas de cobertura (girassol, mucuna e milho), o que causa maior atividade radicular, acarretando maior liberação de exsudatos radiculares (LANGE et al., 2015). Essa diversidade vegetal também promove maior adição de COT no solo via rizodeposição (PUGLISI et al., 2009), o que se reflete nos maiores teores de COT observados em SPDH na camada superficial do solo (Tabela 3).

Os menores valores de DS, verificados no SPDH em comparação aos demais tratamentos para as camadas de 0-5 e 5-10 cm (Tabela 5), são reflexos dos maiores valores de COT (Tabela 3) e DMG (Tabela 5), o que causa redução dos valores de Ds. O manejo realizado na área em SPD e SPC provavelmente contribuiu para a compactação do solo nas camadas mais superficiais, padrão não observado para a área de SPDH, que conta com ciclos de plantas com diferentes arquiteturas radicular ao longo do ano agrícola.

O indicativo de compactação nas camadas superficiais pode ser um problema para a cultura da cebola, visto que o sistema radicular da cultura explora estas camadas (KURTZ et al., 2016; KURTZ; MENEZES JÚNIOR; HIGASHIKAWA, 2018). Uma menor Ds pode indicar menor compactação e, conseqüentemente, um aumento na aeração e capacidade de retenção e infiltração de água no solo (GUEDES FILHO et al., 2013; HOORMAN, 2009).

6.5 POROSIDADE E ESPAÇO POROSO SATURADO POR ÁGUA (EPSA)

Os valores de porosidade total (PT), macroporosidade e microporosidade não apresentaram diferenças entre os tratamentos em nenhuma das camadas avaliadas

(Tabela 6). Apesar da não detecção de diferenças para os dados de porosidade do solo, os memos são importantes para a determinação do espaço poroso saturado por água (EPSA %).

Tabela 6: Macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP) e porosidade total (PT), do solo em função dos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.

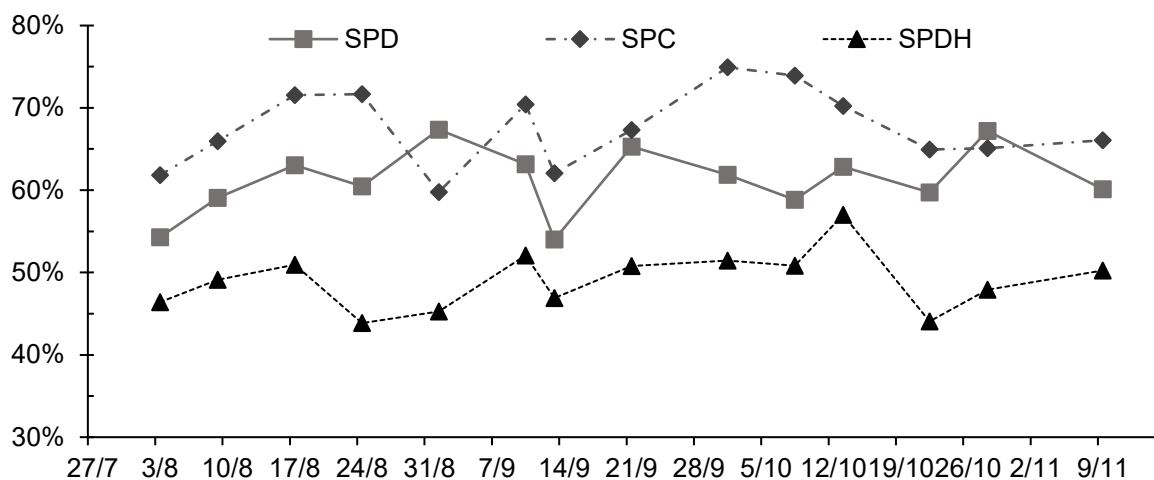
Macroporosidade (%)			
Tratamentos	Camadas (cm)		
	0 - 5	5 - 10	10 - 30
SPD	16,60 a	10,81 a	8,37 a
SPC	16,69 a	13,64 a	10,41 a
SPDH	17,34 a	12,82 a	8,68 a
CV%	24,34	20,49	16,75
Microporosidade (%)			
Tratamentos	Camadas (cm)		
	0 - 5	5 - 10	10 - 30
SPD	38,61 a	38,96 a	41,13 a
SPC	37,85 a	39,38 a	41,63 a
SPDH	41,86 a	41,45 a	41,43 a
CV%	6,17	3,66	2,77
Porosidade Total (%)			
Tratamentos	Camadas (cm)		
	0 - 5	5 - 10	10 - 30
SPD	55,22 a	49,78 a	49,50 a
SPC	54,55 a	53,03 a	52,03 a
SPDH	59,20 a	54,29 a	50,11 a
CV%	5,78	5,2	3,16

SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas; SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente e CV - coeficiente de variação. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5% de significância.

Na Figura 7, são apresentados os valores de EPSA para todos os tratamentos nas datas em que foi coletado solo para determinação da umidade gravimétrica. Destaca-se que os tratamentos influenciaram diretamente nos valores de EPSA, sendo que SPD apresentou os menores valores médios de EPSA em todos os dias analisados. O menor valor apresentado pelo SPDH foi 44 %, sendo registrado por duas vezes, com a primeira no dia 24 de agosto e a segunda no dia 22 de outubro. Já

o valor máximo apresentado pelo SPDH foi de 57 %, valor registrado no dia 13 de outubro, uma semana antes de uma das ocorrências mínimas.

Figura 7: Espaço poroso saturado por água (EPSA %) nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, ao longo da safra de cebola no ano 2021.



SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Os valores de EPSA foram calculados a partir dos dados de umidade do solo, a coleta de amostras para determinação da umidade do solo se iniciou no dia 3 de agosto de 2021 e foram realizadas aproximadamente a cada 7 dias, perdurando até o dia 9 de novembro, data da última coleta de gases.

Uma das justificativas para o menor preenchimento por água dos poros do SPDH é associado a uma menor densidade do solo, já que para o cálculo do EPSA multiplicasse a umidade do solo pela sua densidade, e se divide o resultado pela porosidade total do solo (MÜLLER JÚNIOR et al., 2018).

O valor médio de EPSA obtido ao logo do experimento em cada tratamento foi de 61, 68 e 49 % para SPD, SPC e SPD, respectivamente. Os valores médios mais altos para EPSA foram observados no SPC em quase todos os dias avaliados, sendo superado pelo SPD em primeiro de setembro (SPD - 67 % e SPC - 60 % de EPSA) e 28 de outubro (SPD - 67 % e SPC - 65 % de EPSA). Estes resultados corroboram com os maiores valores de DS (Tabela 5) associados ao SPC na camada superficial, uma vez que a amostra para determinação da umidade gravimétrica foi coletada na camada 0-5 cm.

Os valores de EPSA são importantes para a compressão das vias de emissão N_2O pelo solo. Em solos bem drenados (ou bem aerados), quando os valores de EPSA estão abaixo de 60 %, a nitrificação é o principal processo responsável pela emissão

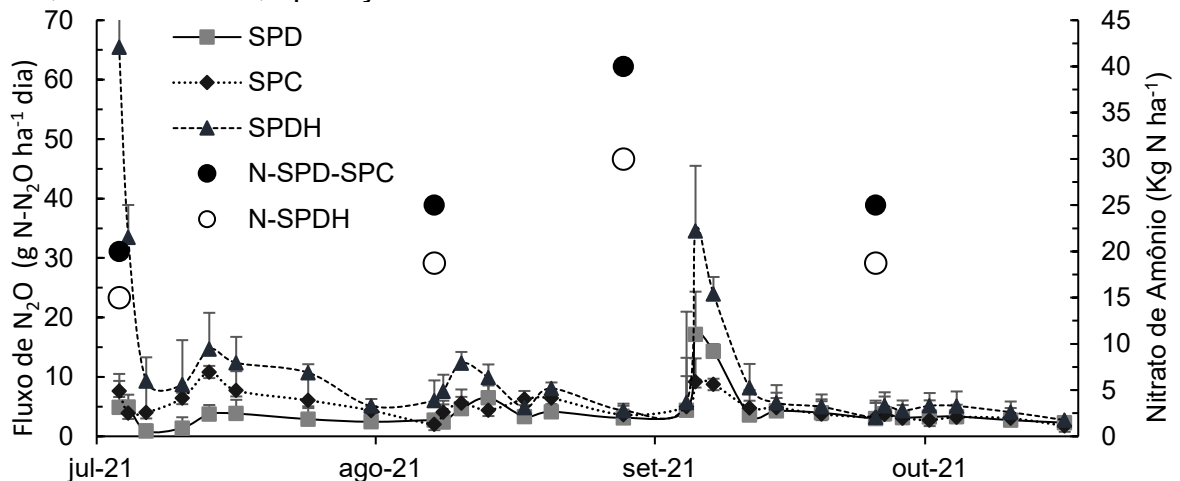
de N_2O ; porém em momentos de valores de EPSA superiores a 70 %, a desnitrificação passa a ser a principal via de emissão do gás. No entanto, dada a natureza heterogênea dos solos, ambos os processos podem ocorrer simultaneamente (BATEMAN; BAGGS, 2005a; BRACKEN et al., 2021; GUO et al., 2014). Tomando como base este conceito, é correto afirmar que as emissões de N_2O quantificadas no experimento tem sua origem em grande parte na nitrificação.

6.6 FLUXO DE N_2O NO SOLO

Os maiores fluxos de N_2O ($65,43 \text{ g N- } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ dia}$) foram observados no SPDH, logo no primeiro dia de avaliação, antes mesmo da aplicação do nitrato de amônio. Este fato não foi observado nos demais tratamentos e pode ser associada a maior disponibilidade de N no solo em função da fixação biológica promovida pela mucuna preta (FAVERO et al., 2000; MELLO, 1978), e aos maiores teores e estoques de NT no solo deste tratamento (Tabela 3). Todos os tratamentos apresentaram uma queda nas emissões de N_2O nos primeiros três dias de avaliação, voltando a apresentar um pequeno pico aos 10 dias após o transplante da cebola (Figura 8).

Fluxo de N_2O ($\text{g N-}N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ dia}$)

Figura 8: Fluxos médios diários de N_2O ($\text{g N- } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ dia}$) pelo solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, aplicações de nitrato de amônio na safra de cebola no ano 2021.



SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente, N-SPD-SPC- aplicações de nitrato de amônio nos tratamentos um e dois, N-SPDH- aplicações de nitrato de amônio no tratamento três. A variação das médias dos fluxos diários de $N-N_2O$ emitidos pelo solo foram expressas através do desvio padrão da média.

Em experimento realizado por Müller Júnior et al. (2019) os autores verificaram um pico nas emissões de N_2O na primeira coleta para os tratamentos em SPDH, se destacando o tratamento onde nabo forrageiro foi associado aos dejetos de aves. Esse salto inicial foi atribuído ao fornecimento de C e N à população microbiana envolvida na desnitrificação. No caso do tratamento contendo nabo forrageio os valores destoantes dos demais tratamentos em SPDH também foram associados a rápida decomposição, especialmente por causa dos baixos valores de relação C/N, maiores teores de celulose e menores teores de lignina, favorecendo a rápida mineralização do N. Estas características podem ser associadas ao SPDH, visto que a relação C/N dele é mesmo da metade dos demais (Tabela 2), o que contribui para o incremento dos teores de N mineral no solo e, conseqüentemente, emissão de N_2O (LI et al., 2015).

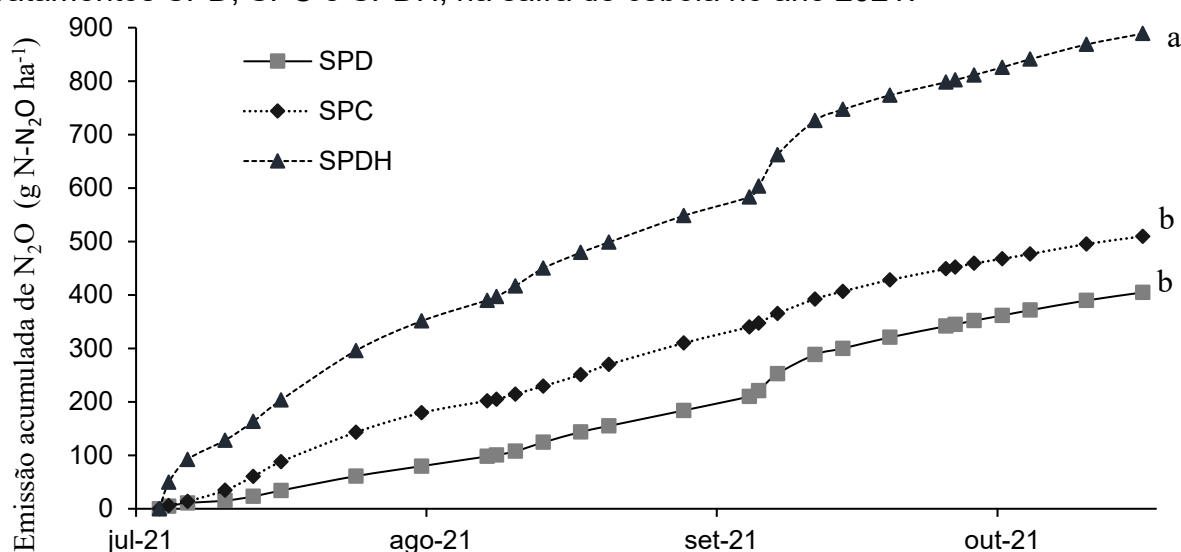
Cada aplicação de nitrato de amônio foi sucedida de um posterior pico de emissão de N_2O , por vez ocorrido nos primeiros 3 dias após a aplicação como na segunda aplicação, ocorrida no dia 31 de agosto aos 36 DAT, e na quarta aplicação, ocorrida no dia 19 de outubro aos 85 DAT, ou em aproximadamente 10 dias após a aplicação, fato ocorrido na primeira aplicação, no dia 27 de julho aos 0 DAT, e na terceira aplicação, ocorrida no dia 21 de setembro aos 57 DAT. A primeira e terceira adubação têm em comum a aplicação de sulfato de potássio, sendo 60 kg K ha^{-1} no plantio e outros 45 kg K ha^{-1} aos 57 DAT, fato que pode ter relação com o atraso nos picos dos fluxos de N_2O .

Em um estudo onde foram contabilizadas as emissões de N_2O acarretadas pelo uso de diferentes fontes de adubação nitrogenada, nas culturas de milho e soja, em SPD no cerrado brasileiro, Carvalho et al. (2010), encrostaram picos semelhantes após a aplicação do nitrato de amônio. O estudo também contabilizou as emissões com aplicação de ureia e sulfato de amônio, sendo que os valores emitidos pelos tratamentos com nitrato de amônio não diferiram do sulfato de amônio, porém foram inferiores aos emitidos pelos tratamentos com aplicação de ureia.

Logo após a terceira adubação de cobertura (aplicação com maior aporte de nitrogênio, sendo 30 kg N ha^{-1} para o SPDH e 40 kg N ha^{-1} para os demais) foram registradas as maiores médias de fluxos de N_2O para o SPD ($14,29 \text{ g N- } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ dia}$) e SPC ($9,20 \text{ g N- } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ dia}$), e o segundo maior pico de emissão do SPDH ($34,53 \text{ g N- } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ dia}$).

As maiores emissões de N_2O ao longo do experimento foram registradas no tratamento SPDH. Este tratamento emitiu uma média de $888,83 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ ao longo dos 106 dias de monitoramento, sendo este valor superior em 74 % aos valores médios do tratamento SPC, que emitiu $509,60 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$. O tratamento SPD emitiu $404,71 \text{ g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$, valor de 119% menor que SPDH. Não foram verificadas diferenças entre os valores emitidos de N_2O para os tratamentos SPD e SPC (Figura 9).

Figura 9: Emissões médias acumuladas de N_2O ($\text{g N-N}_2\text{O ha}^{-1}$) pelo solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.



SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

Os tratamentos SPD e SPC tiveram exatamente os mesmos tratamentos culturais, recebendo as mesmas doses de nitrato de amônio, sendo que a única diferença entre eles foi o sistema de cultivo. O SPD, por sua vez, tem o potencial de melhorar as propriedades edáficas do solo (GIUMBELLI et al., 2021). Solos férteis, com altos teores de matéria orgânica, aliados a condições de umidade que dificultam a difusão de O_2 no solo e favoreçam a formação de ambientes anaeróbicos, proporcionam condições ideais para a ocorrência do processo de desnitrificação gerando condições mais favoráveis à emissão do N_2O (ESCOBAR et al., 2010). No entanto, os resultados

apontam a inexistência de diferenças significativas entre os dois sistemas de cultivo nas emissões acumuladas de N_2O (Figura 8).

A adição de resíduos culturais com menor valor de relação C/N, como acontece no SPDH, promove maiores valores de emissão de N_2O (CHEN et al., 2013; HUANG et al., 2004; WEILER et al., 2018), que ocorre devido a intensidade da nitrificação e desnitrificação ser diretamente afetada pela disponibilidade de N e C no solo (BATEMAN; BAGGS, 2005b; WEIER et al., 1993). Isso acontece devido aos altos teores de C e N armazenados na palhada das plantas de cobertura (milheto, mucuna e girassol), que são disponibilizados aos microrganismos do solo durante o processo de decomposição (HUANG et al., 2004; WISNIEWSKI; HOLTZ, 1997). O efeito dos resíduos culturais na emissão de N_2O foi evidenciado em estudos que avaliaram sistemas de cultivo contendo plantas de cobertura de verão (FRIMPONG; BAGGS, 2010; GOMES et al., 2009; MILLAR; BAGGS, 2005) e inverno (BAYER et al., 2015; JANTALIA et al., 2008b; SANZ-COBENA et al., 2014).

O SPDH, que apresentou as maiores emissões de N_2O , apresenta um sistema diferenciado de produção, onde não é implantado uma segunda cultura de interesse comercial e sim um consórcio de plantas de cobertura de verão na intenção de aumentar a produção de massa seca e melhorar a características edáficas do solo. O resultado é visível quando se observam os teores e estoques de COT e NT do solo, que são muito superiores aos demais tratamentos, principalmente, na camada superficial do solo (Tabelas 3 e 4). Outro elemento que corrobora o aumento da fertilidade do solo no SPDH é a produtividade de cebola, que foi superior aos demais tratamentos, sendo em média, $6,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ maior (Figura 6), mesmo com uma diminuição de 25 % nas quantidades de nitrato de amônio aplicadas no tratamento.

As maiores emissões no SPDH podem ser relacionadas a rápida disponibilização do N fixado pela mucuna (MELLO, 1978), o que ocorre devido a menor relação C/N da palhada gerada pelo consórcio entre o milheto, a mucuna e o girassol (ACOSTA et al., 2014; TORRES et al., 2005), o que é comprovado pelos elevados teores de N na biomassa disposta sobre o solo (Tabela 2), e superiores estoques de NT na camada 0-5 em relação aos demais tratamentos (Tabela 4). Este efeito pode ser facilmente notado quando observamos os fluxos diários de emissão de N_2O apresentados na Figura 8.

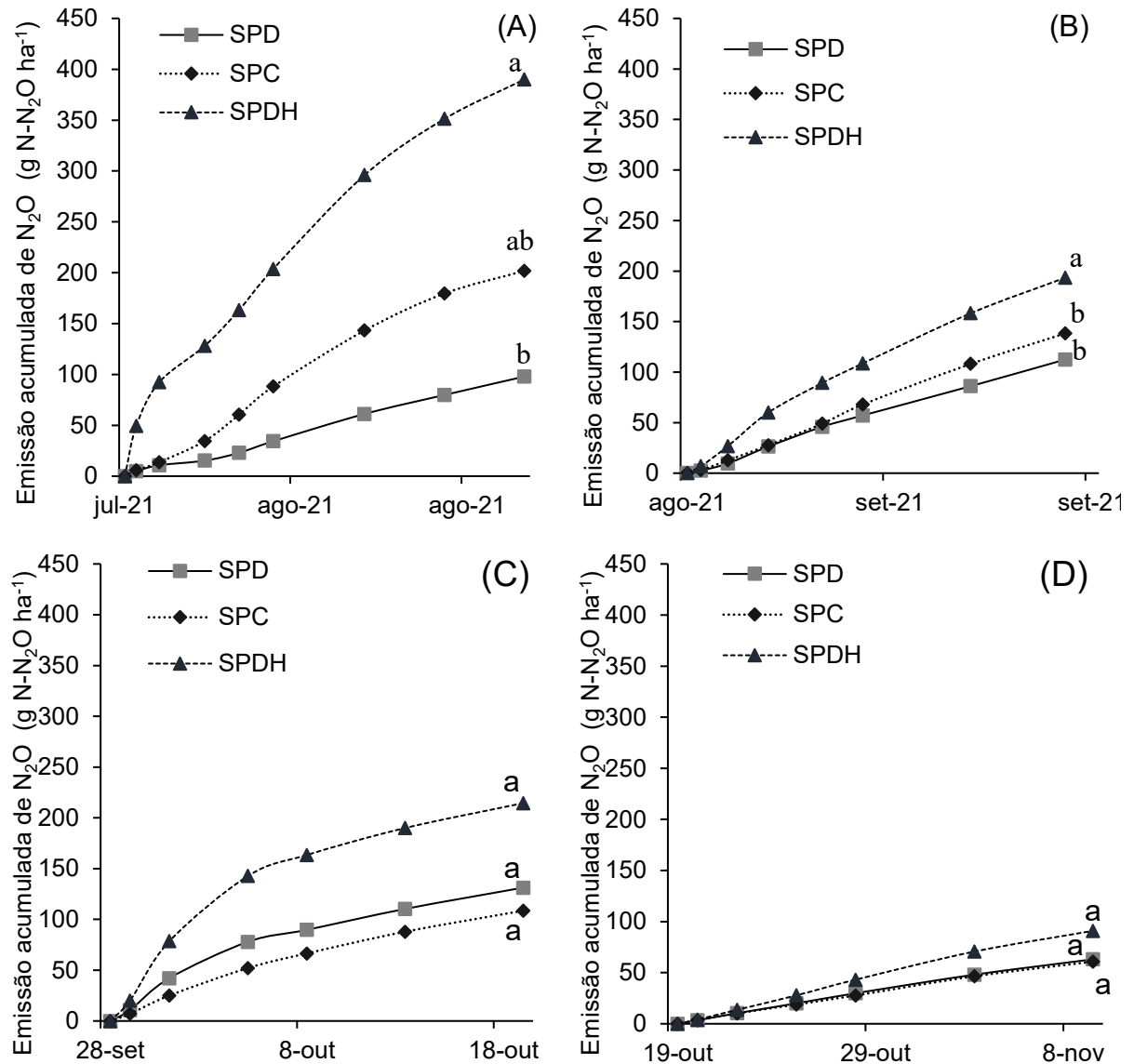
Quando avaliamos os valores de emissão de N_2O em cada ciclo de adubação separadamente, nota-se uma redução nas diferenças entre SPDH e os demais

tratamentos, chegando a se igualar estatisticamente aos demais a partir da terceira aplicação de nitrato de amônio (Figura 10 – C, D). No primeiro ciclo (Figura 10 - A), as médias acumuladas não diferem estatisticamente entre SPDH (389,95 g N-N₂O há⁻¹) e SPC (201,85 g N-N₂O ha⁻¹).

Este resultado pode ser associado a quantidade de N demandada pela cebola em cada fase do seu ciclo vegetativo. Um estudo realizado por Kurtz et al. (2016), que quantificaram as taxas diárias de absorção de N pela cultivar bola precoce, os resultados descritos pelos autores apontam para um pico de absorção (70% do N absorvido) entre 56 e 84 DAT, coincidindo com a bulbificação da cebola. Durante este período foi realizada a terceira aplicação de nitrato de amônio (30 Kg N ha⁻¹ para o SPDH e 40 Kg N ha⁻¹ para os demais tratamentos), o segundo pico de emissão de N₂O, notado no dia 29 de setembro (Figura 9) em SPD e SPDH, não foi o suficiente para criar uma diferença significativa entre as emissões acumuladas no terceiro ciclo de adubação (Figura 10-C).

Kurtz et al. (2016) encontraram uma extração equivalente de 101,4 kg N ha⁻¹ pela cebola ao longo do ciclo, entretanto, foram aplicados 75 kg N ha⁻¹ o que resulta em uma quantidade de N absorvida 35,2% superior a adubação mineral. Visto que área utilizada está sendo cultivada rotação de culturas, e antes do plantio da cebola, a área experimental foi cultivada com milheto (*Pennisetum glaucum*) como planta de cobertura (KURTZ et al., 2016), podemos afirmar que existe uma similaridade entre as condições de cobertura do solo nos dois experimentos. Partindo deste pressuposto, é provável que parte do nitrogênio aplicado em SPDH não seja absorvido pela cebola e fique disponível para a microbiota do solo, o que favorece a emissão de N₂O (CARVALHO; ALVES; PEREIRA, 2010; LI et al., 2015).

Figura 10: Emissões médias acumuladas de N_2O ($g\ N-N_2O\ ha^{-1}$) pelo solo, em cada ciclo ente aplicação de nitrato de amônio nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.



SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. (A) emissões médias acumuladas no período de 35 dias (27 de julho de 2021 a 31 de agosto de 2021) entre a aplicação de nitrato de amônio no transplante e a primeira aplicação em cobertura, (B) emissões médias acumuladas no período de 28 dias (31 de agosto de 2021 a 28 de setembro de 2021) entre a primeira aplicação de nitrato de amônio em cobertura e a segunda aplicação, (C) emissões médias acumuladas no período de 21 dias (28 de setembro de 2021 a 19 de outubro de 2021) entre a segunda aplicação de nitrato de amônio em cobertura e a terceira aplicação, (D) emissões médias acumuladas no período de 21 dias (19 de outubro de 2021 a 09 de novembro de 2021) entre a terceira aplicação de nitrato de amônio em cobertura e a última coleta de gases. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5% de significância.

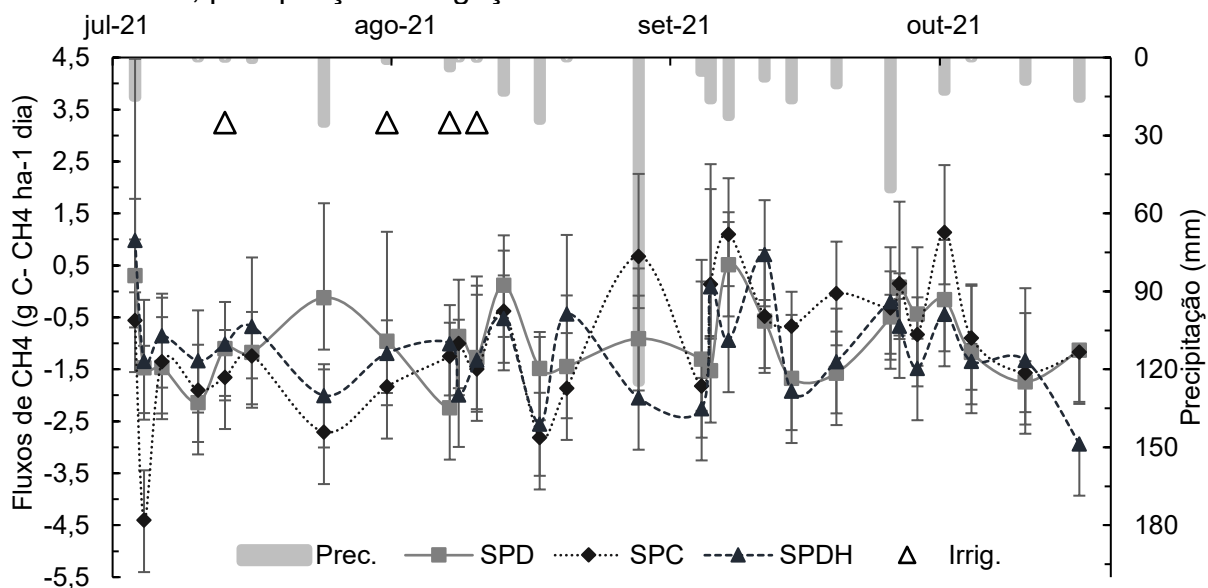
O SPD foi o tratamento que menos emitiu N_2O nos dois primeiros ciclos de adubação quando comparado ao SPDH, mas não diferiu do SPC em todos os ciclos

de adubação (Figura 10). A aproximação das emissões acumuladas em SPD com os demais tratamentos no quarto ciclo (Figura 10-D) pode estar ligada a lenta liberação dos nutrientes armazenados na palhada do milho em função da sua relação C/N (SANTOS et al., 2014), associado ao somatório de menor demanda de N por parte da cebola (KURTZ et al., 2016), e mesma quantidade de nitrato de amônio aplicado em SPD e SPC (Figura 8).

6.7 FLUXO DE CH₄ NO SOLO

A Figura 11 apresenta os fluxos de CH₄ ao longo experimento juntamente com os valores de precipitação (acumulados) ocorridos no intervalo entre as coletas. Estes valores são importantes para entendermos os raros casos de emissão de CH₄ registrados. A maior emissão foi registrada no SPC aos 91 DAT (1,14 g C-CH₄ ha⁻¹ dia) no dia 25/10/21. O maior consumo também foi registrado no SPC (4,40 g C-CH₄ ha⁻¹ dia) no segundo dia após o transplântio.

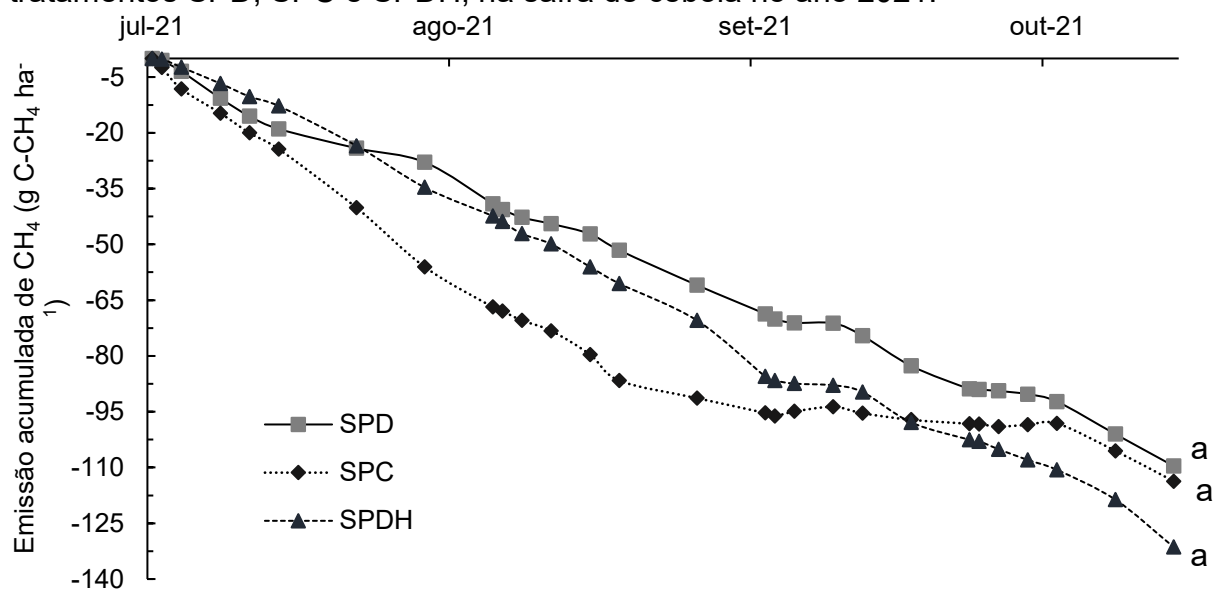
Figura 11: Fluxos médios de CH₄ (g C-CH₄ ha⁻¹ dia) pelo solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, precipitação e irrigação na safra de cebola no ano 2021.



Prec. Valores acumulados de precipitação ocorridos nos intervalos entre coletas. SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Irrig. Representa as datas em que se fez necessária irrigação, valores de lâmina d'água não aferidos. A variação das médias dos fluxos diários de C-CH₄ emitidos pelo solo foram expressas através do desvio padrão da média.

O CH₄ não apresentou emissões no acumulado dos 106 dias de experimento. No entanto, foi registrado o consumo do CH₄ pelo solo em todos os sistemas de produção. Este comportamento ocorre porque a emissão de CH₄ está intimamente ligada a existência de sítios anaeróbicos no solo (COSTA et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2009). Além disso, nos tratamentos avaliados não há problemas relacionados com má drenagem. Não foram registradas diferenças entre os tratamentos, sendo verificados valores de consumo de CH₄ no SPDH de 131,44 g C-CH₄ ha⁻¹, seguido pelo SPC que consumiu 113,73 g C-CH₄ ha⁻¹, e por fim o SPD, com consumo de 109,63 g C-CH₄ ha⁻¹ (Figura 12).

Figura 12: Emissões médias acumuladas de CH₄ (g C-CH₄ ha⁻¹) pelo solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.



SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5% de significância.

Em um trabalho realizado com diferentes níveis de palhada de cana de açúcar, Vasconcelos et al. (2018), observaram que no solo com presença da palhada a absorção do gás CH₄ foi 40% mais elevada em comparação as áreas onde todo o resíduo vegetal foi retirado. No entanto, a ausência de diferenças para o CH₄ nos três tratamentos possivelmente está associada ao fato dos solos serem bem drenados, e as emissões de CH₄ estarem ligadas as condições meteorológicas ou disponibilidade de irrigação (CERRI et al., 2010; SMITH et al., 2018), que foram todas iguais entre

todos os tratamentos (Figura 3). Resultado semelhante foi observado por Bayer et al. (2013), onde os autores relataram não haver diferença de oxidação de CH_4 em função dos sistemas de manejo. Para os autores, a melhoria dos indicadores de qualidade do solo e consequente oxidação de CH_4 ocorrem de formas distintas no perfil do solo em sistemas conservacionistas de manejo. É importante também lembrar que a capacidade do solo de oxidar CH_4 tende a ser bastante lenta (BAYER et al., 2013; VASCONCELOS et al., 2018).

O SPC também foi o tratamento que mais oscilou entre valores de emissão e consumo de CH_4 ao longo do ciclo da cebola (Figura 12). Este fato pode estar associado a menor quantidade de palhada (resíduos vegetais do milho) sobre o solo (Tabela 2), bem como ao revolvimento do solo decorrente das operações de preparo realizado antes do transplântio da cebola. O revolvimento do solo e menor cobertura de massa seca neste tratamento ocasionou em menores índices de agregação (Tabela 5), com consequente aumento do EPSSA (Figura 7). Elementos estes que favorecem uma maior fluidez entre condições de solo saturado por água e menores teores de umidade do solo. Esta dinâmica variável também pode ser notada na Figura 13, onde são apresentados os valores para emissões médias acumuladas de CH_4 ($\text{g C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) em cada ciclo entre aplicação de nitrato de amônio.

Figura 13: Emissões médias acumuladas de CH_4 ($\text{g C-CH}_4 \text{ ha}^{-1}$) pelo solo, em cada ciclo entre aplicação de nitrato de amônio nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.

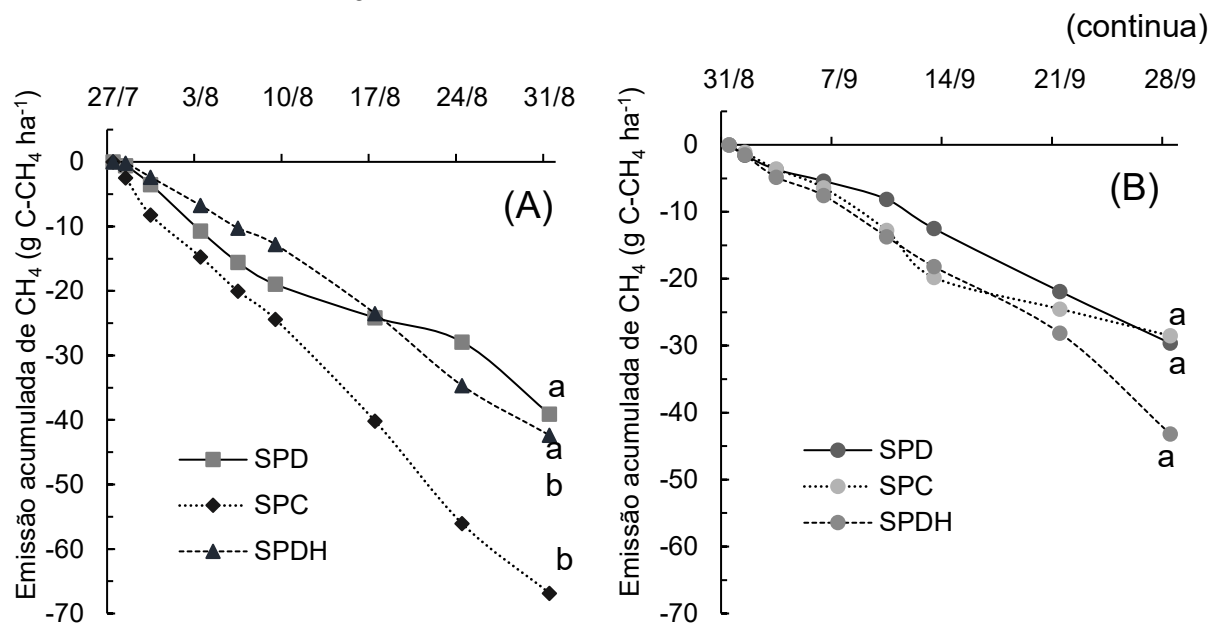
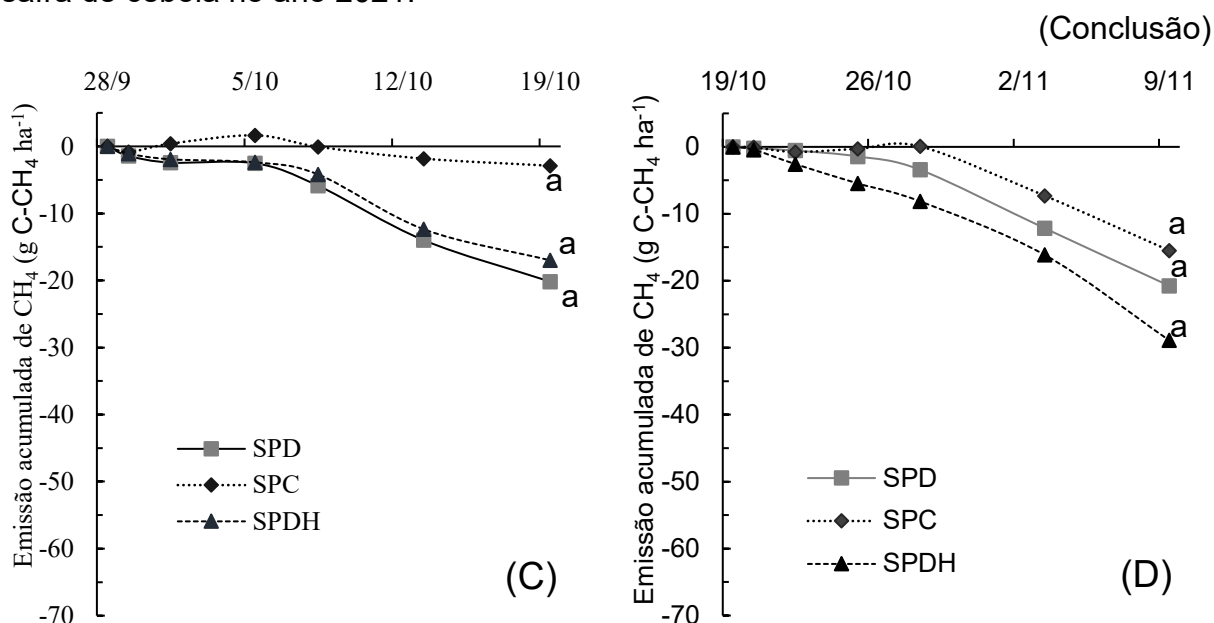


Figura 13: Emissões médias acumuladas de CH₄ (g C-CH₄ ha⁻¹) pelo solo, em cada ciclo entre aplicação de nitrato de amônio nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.



SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. (A) emissões médias acumuladas no período de 35 dias (27 de julho de 2021 a 31 de agosto de 2021) entre a aplicação de nitrato de amônio no transplante e a primeira aplicação em cobertura, (B) emissões médias acumuladas no período de 28 dias (31 de agosto de 2021 a 28 de setembro de 2021) entre a primeira aplicação de nitrato de amônio em cobertura e a segunda aplicação, (C) emissões médias acumuladas no período de 21 dias (28 de setembro de 2021 a 19 de outubro de 2021) entre a segunda aplicação de nitrato de amônio em cobertura e a terceira aplicação, (D) emissões médias acumuladas no período de 21 dias (19 de outubro de 2021 a 09 de novembro de 2021) entre a terceira aplicação de nitrato de amônio em cobertura e a última coleta. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5% de significância.

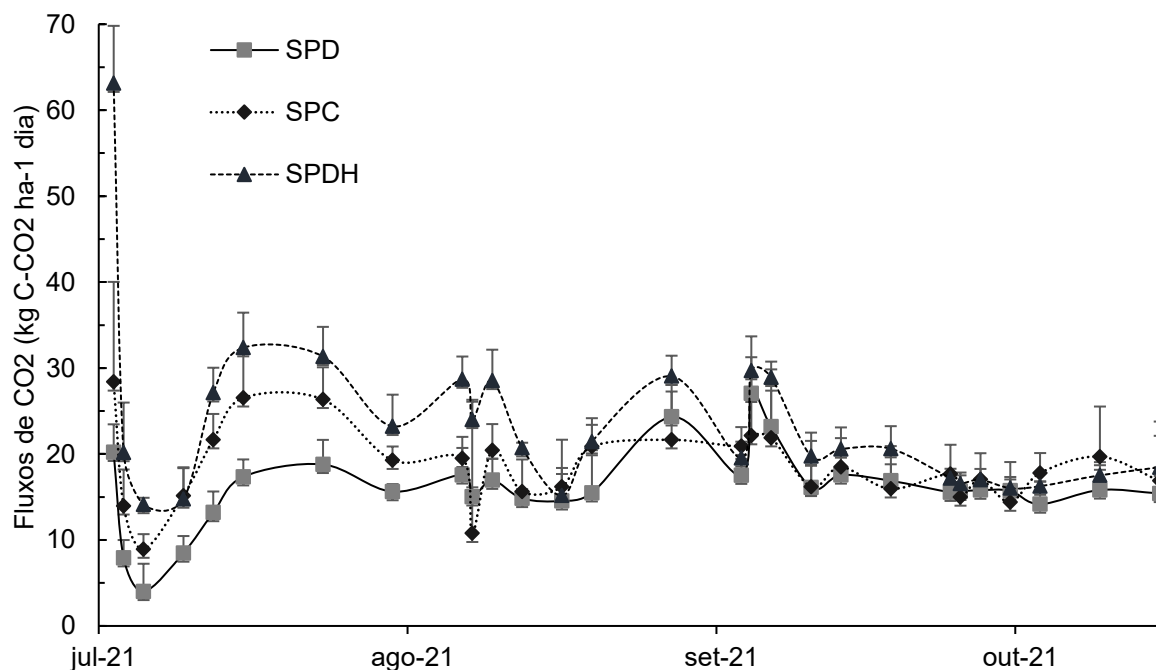
Na Figura 13-A são apresentados os valores médios de emissões de CH₄ no primeiro ciclo de adubação (período após a adubação de plantio com 15 kg N ha⁻¹ para o SPDH e 20 kg N ha⁻¹ para os demais tratamentos). Este período foi o único onde foi contabilizado diferença significativa entre as quantidades de CH₄ consumidas pelo solo. As maiores médias de consumo foram obtidas pelo SPC (66,85 g C-CH₄ ha⁻¹) e os menores valores foram encontrados em SPD (39,08 g C-CH₄ ha⁻¹), sendo que o SPDH (42,46 g C-CH₄ ha⁻¹) não diferiu dos demais tratamentos. Este resultado pode estar relacionado aos menores valores de porosidade, DMG e maior densidade do solo apresentados na camada 0-5 cm do tratamento SPC (Tabelas 3 e 4), resultados que indicam uma leve compactação da camada, quando comparado aos demais tratamentos. Solos mais compactados tendem a ter mais dificuldade de drenagem

(MILDE; DEDECEK; GAVA, 2010), o que facilita a criação de sítios de anaeróbios, proporcionando assim as condições para emissão do CH_4 (GLATZEL; STAHR, 2001).

6.8 FLUXO DE CO_2 NO SOLO

O pico dos fluxos médios de emissões diárias de CO_2 (Figura 14) foi observado na primeira coleta para os tratamentos SPDH (61,12 $\text{Kg C-CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}$) e SPC (20,16 $\text{Kg C-CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}$), já o tratamento SPD atingiu seu pico (29,69 $\text{Kg C-CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}$) em 29 de setembro de 2021, 65 DAT (Figura 14).

Figura 14: Fluxos médios de CO_2 ($\text{Kg C-CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}$) pelo solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, precipitação e irrigação na safra de cebola no ano 2021.



SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. A variação das médias dos fluxos diários de C-CH_4 emitidos pelo solo foram expressas através do desvio padrão da média.

O pico dos fluxos de emissões de SPDH próximo ao início das coletas deve-se ao fato de o tratamento contar uma cobertura vegetal com menor relação C/N, com maior teor de N (Tabela 2), este elemento é crucial para a decomposição mais rápida de boa parte de seu material vegetal (CARVALHO et al., 2022; LIMA FILHO et al., 2014; SILVA, 2020). Assim, tem-se maior liberação de C na forma de CO_2 durante este processo de decomposição da biomassa vegetal (SIQUEIRA NETO et al., 2011).

Em contrapartida, no SPC, o maior pico de CO₂ no primeiro dia de coleta pode estar associado à fragmentação do material vegetal (resíduos de milho) promovido pelo preparo do solo que antecede ao plantio da cebola, o que aumenta a degradação de parte desse material rico em carbono (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN-NETO, 2000).

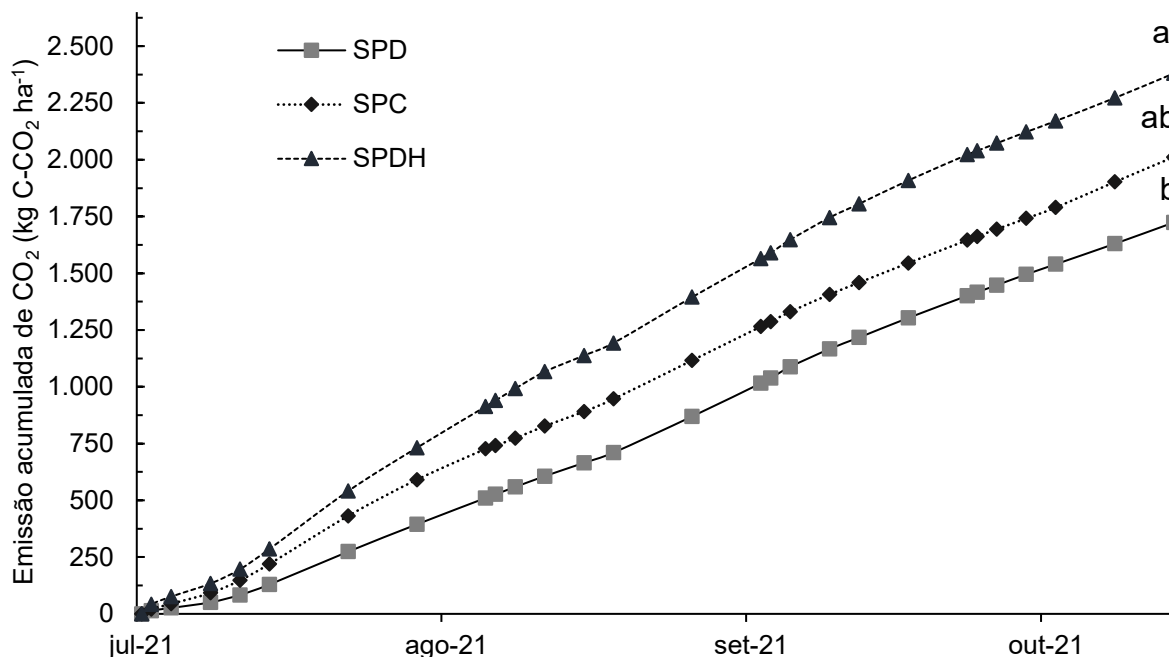
O pico dos fluxos médios de emissões diárias de CO₂ de SPD, ocorrido aos 65 DAT, pode ter relação com a disponibilização mais lenta e uniforme do C contido na sua cobertura vegetal. O que ocorre devido a maior relação C/N (Tabela 2) associada a palhada restante do milho cultivado na entressafra do tratamento (SANTOS et al., 2014).

O milho possui uma palhada muito resistente a degradação devido à alta concentração de C e baixa concentração de N (quase todo translocado para a semente durante os estágios finais da cultura) nos seus restos culturais (BORIN; LANA; PEREIRA, 2010; SANTOS et al., 2014). Outro fator que pode ser associado ao pico é a elevação nos teores de N no solo, já que o pico foi registrado 8 dias após o maior aporte de N em cobertura para cultura da cebola, 40 kg N ha⁻¹ na forma de nitrato de amônio o que diminui a relação C/N e favorece a mineralização da matéria orgânica (WOLSCHICK et al., 2018).

LV et al. (2022) encontraram uma correlação positiva entre a aplicação de N e a elevação das concentrações de CO₂ do solo superficial (camada 0-20 cm um aumento de 81,5%) e subsolo (camada 20-40cm um aumento de 74,2%). Além disso, somam-se as precipitações que ocorreram, sendo as maiores verificadas anteriormente ao pico de CO₂ (Figura 3), e às três adubações nitrogenadas já realizadas, o que corrobora o maior pico de N₂O no SPD nesta mesma época (Figura 8), conferindo, também, maiores picos de CO₂ (Figura 14).

Os maiores valores observados para as emissões médias acumuladas de CO₂ foram 2379,87 kg C-CO₂ ha⁻¹ no SPDH, e os menores valores foram verificados no SPD, com 1723,52 kg C-CO₂ ha⁻¹. O tratamento SPC apresentou valores acumulados de 2011,74 kg C-CO₂ ha⁻¹, porém não diferiu dos demais tratamentos (Figura 15).

Figura 15: Emissões médias acumuladas de CO₂ (kg C-CO₂ ha⁻¹) pelo solo, nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.



SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5% de significância.

O tratamento SPD mostrou menor potencial de emissão de CO₂ em comparação ao SPDH. Esta diferença pode estar associada a menor relação C/N da cobertura vegetal (com leguminosas) presente em SPDH, uma vez que a menor relação C/N causa aumento da decomposição e mineralização da MOS (GIACOMINI et al., 2003). Com uma mineralização mais rápida da matéria orgânica tem-se também maior biomassa microbiana no solo, e as emissões de CO₂ se originam exatamente do processo de respiração destes microrganismos (SPOSITO, 2016). Outro fato que corrobora ao aumento nas emissões no SPDH é a quantidade de matéria orgânica sobre o solo, bem como o percentual de COT e NT superiores nas camadas superficiais deste tratamento em relação ao SPD (Tabela 4 e 5). Segundo Giumbelli et al. (2021), no tratamento SPDH tem-se maiores teores de matéria orgânica leve e particulada, que são frações do C e N mais lábeis.

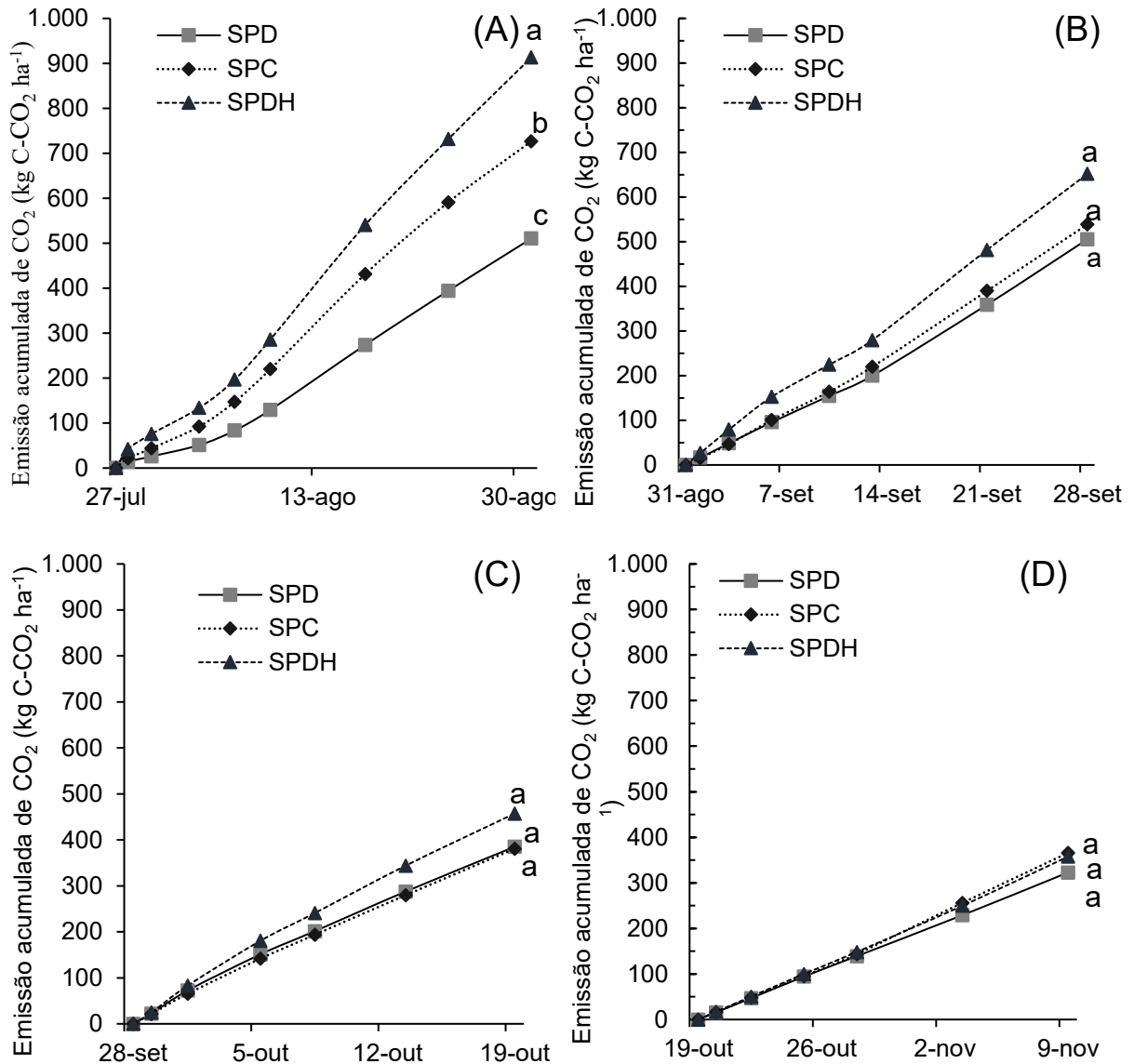
Em relação ao SPC, que apresentou valores de emissões acumuladas de CO₂ intermediários ao SPD, verificou-se uma redução de 368,13 kg C-CO₂ ha⁻¹ em comparação ao SPDH (Figura 15). Esses menores valores podem ser relacionados a disponibilidade muito menor de carbono, tanto na biomassa vegetal (Tabela 2) ou

como COT (Tabela 3) do solo na camada 0-5 cm, bem como os menores teores de N presentes na biomassa vegetal (que são resíduos de milho) e no solo, o que aumenta a relação C/N promovendo uma menor de mineralização da matéria orgânica presente neste solo (Tabelas 2 e 4).

Porém, quando comparamos as emissões acumuladas de CO₂ entre o SPC e o SPD, verifica-se uma redução de 288,22 kg C-CO₂ ha⁻¹ no SPD em relação ao SPC (Figura 15). Esta diferença está relacionada com a maior fragmentação da biomassa do milho no preparo do solo do SPC. A quebra mecânica promovida pelo implemento agrícola aumenta a área superficial da biomassa e torna mais rápida a degradação deste material (BESEN et al., 2018; LAL, 2004; OMONODE et al., 2007; PUGLISI et al., 2009), aumentando assim os fluxos de CO₂ no SPC. O fato de SPDH emitir mais CO₂ que SPC está associado com a natureza da biomassa disposta sobre o solo. A relação C/N consideravelmente inferior em SPDH (Tabela 2) favorece uma alta taxa de decomposição, aliada a rápida mineralização da biomassa (ACOSTA et al., 2014; SIQUEIRA NETO et al., 2010), o que também favorece os fluxos de CO₂.

Quando analisamos as emissões médias acumuladas de CO₂ em cada ciclo entre as aplicações de nitrato de amônio (Figura 16), encontramos diferença significativa em todos os tratamentos no primeiro ciclo de adubação (Figura 16 A), onde as maiores médias de emissões ocorreram em SPDH (913, 21 Kg C-CO₂ ha⁻¹), já os menores valores foram observados no SPD (510,39 Kg C-CO₂ ha⁻¹) e por fim as médias de SPC (726,51 Kg C-CO₂ ha⁻¹) ficaram situadas entre os valores encontrados para os tratamentos em SPDH e SPD.

Figura 16: Emissões médias acumuladas de CO₂ (kg C-CO₂ ha⁻¹) pelo solo, em cada ciclo entre aplicação de nitrato de amônio nos tratamentos SPD, SPC e SPDH, na safra de cebola no ano 2021.



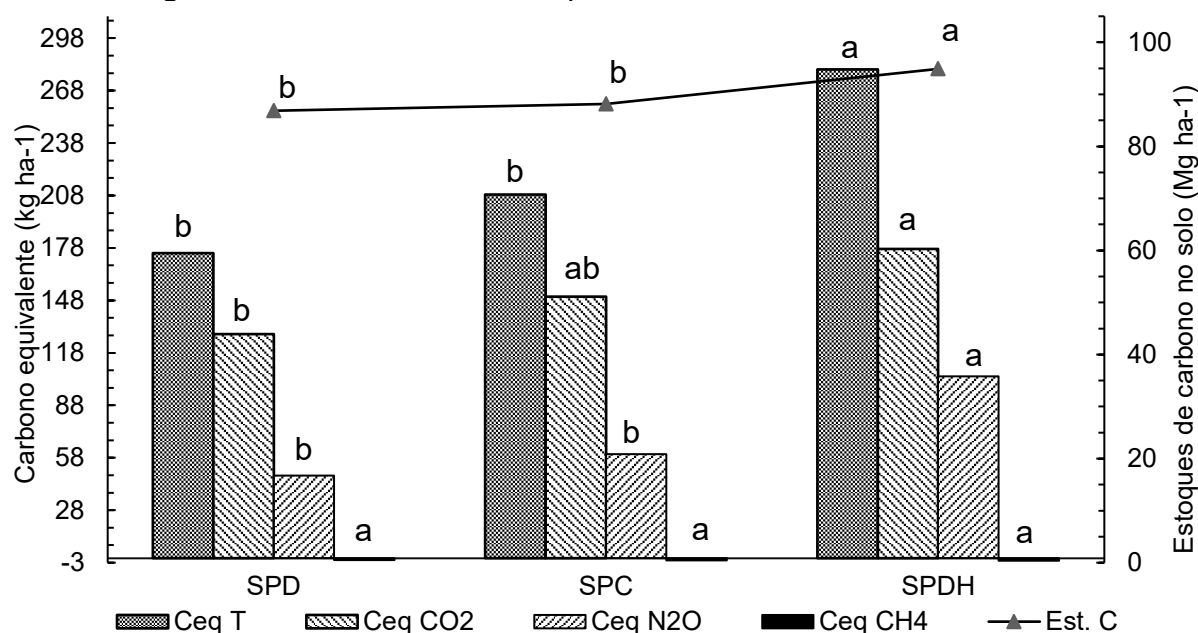
SPDH - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. (A) emissões medias acumuladas no período de 35 dias (27 de julho de 2021 a 31 de agosto de 2021) entre a aplicação de nitrato de amônio no transplante e a primeira aplicação em cobertura, (B) emissões médias acumuladas no período de 28 dias (31 de agosto de 2021 a 28 de setembro de 2021) entre a primeira aplicação de nitrato de amônio em cobertura e a segunda aplicação, (C) emissões médias acumuladas no período de 21 dias (28 de setembro de 2021 a 19 de outubro de 2021) entre a segunda aplicação de nitrato de amônio em cobertura e a terceira aplicação, (D) emissões médias acumuladas no período de 21 dias (19 de outubro de 2021 a 09 de novembro de 2021) entre a terceira aplicação de nitrato de amônio em cobertura e a última coleta. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5% de significância.

Os demais ciclos de adubação não apresentaram diferenças significativas quanto a emissão atribuída aos três tratamentos (Figura 16 B, C, D).

6.9 CARBONO EQUIVALENTE PARA NEUTRALIZAR AS EMISSÕES DE N₂O, CH₄ E CO₂.

O C equivalente para neutralizar as emissões em cada tratamento está apresentado na Figura 17. Os maiores valores de estoques demandados para a mitigação das emissões de N₂O e CO₂, foram associados ao SPDH, o tratamento também foi o que apresentou o maior consumo de C equivalente ((valores associados ao consumo de CH₄ registado em todos os tratamentos (Figura 13)). Estes resultados são decorrentes das maiores emissões acumuladas de N₂O e CO₂ (Figuras 9 e 15), assim como do maior consumo de C equivalente em relação CH₄, o que ocorre devido as quantidades de CH₄ consumida pelo tratamento ter sido superior aos demais (Figura 14).

Figura 17: Carbono equivalente para neutralizar a emissão acumulada de N₂O, CH₄ e CO₂ ao longo do ciclo da cebola e estoques de carbono no solo em cada tratamento.



SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Est. C – estoques de carbono no solo na camada de 0-30 cm em Mg ha⁻¹, Ceq N₂O – carbono equivalente para neutralizar as emissões de N₂O, Ceq CH₄ - carbono equivalente para neutralizar as emissões de CH₄, Ceq CO₂ - carbono equivalente para neutralizar as emissões de CO₂, Ceq T - carbono equivalente para neutralizar as emissões somadas de N₂O, CH₄ e CO₂. Médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste t (LSD) a 5 % de significância.

O SPDH possui os maiores estoques de COT no solo na camada 0-30 cm ($94,89 \text{ Mg ha}^{-1}$) em comparação aos demais tratamentos. Os valores de estoque de C associados ao SPDH superam em 339,23 vezes o valor equivalente em C ($279,72 \text{ kg}$) das emissões de GEE, ocorridas em decorrência de processos no solo. Tirando como base esta informação, é correto afirmar que o tratamento SPDH é perfeitamente capaz de mitigar todas as emissões de GEE ocorridas em decorrência de processos no solo, ao longo do ciclo de produção da cebola através de seu armazenamento de C nos estoques do solo apenas na camada de 0-30 cm.

Os demais tratamentos também se mostraram capazes de promover a mitigação de suas emissões, visto que seus estoques de C no solo superaram em muito a quantidade de C equivalente total, relacionado as suas emissões. Vale lembrar que a construção dos estoques de C no solo é um processo lento e gradativo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011), sendo assim, o resultado positivo encontrado no balanço entre emissões e estoques de C pelo presente trabalho, está diretamente associado ao fato de se tratar de um experimento de longa duração, onde ao longo de 14 anos foram adotadas práticas conservacionistas de solo em todos os tratamentos.

Siqueira Neto et al. (2009) em um estudo realizado no cerrado brasileiro com áreas cultivadas em SPD por diferentes períodos (12 e 22 anos de implantação de SPC), não encontraram diferenças de C equivalente (o estudo analisou emissões de N_2O) para os tempos de implantação. Entretanto, foi notada um aumento na ordem de 41% (sucessão milho trigo) e 29% (sucessão soja e trigo) nos estoques de C para o tratamento SPD 22 anos. Esse aumento pode indicar uma capacidade dos sistemas em SPDH de ainda acumular mais C nos próximos anos, o que associado ao não aumento das emissões de N_2O em função do SPD com o passar dos anos (SIQUEIRA NETO et al., 2009), promove um sequestro cada vez maior de C pelos tratamentos em SPDH.

7 CONCLUSÃO

O SPDH, que faz uso do consórcio entre milheto, mucuna preta e girassol para produção de massa seca, se mostrou mais eficiente quanto à melhoria dos atributos químicos e físicos do solo; pois neste sistema ocorreu a elevação dos teores e estoques de COT e NT; o aumento do diâmetro médio geométrico e a diminuição da densidade do solo, todos na camada superficial do solo, em relação aos demais tratamentos. Além disso, se destacou no aumento dos estoques de COT na camada de 0-30 cm em comparação aos demais tratamentos.

O SPDH se mostrou o sistema com maior potencial de emissão de GEE, visto que as maiores emissões de CO₂ foram obtidas em suas parcelas, se destacando ainda mais nas emissões de N₂O, o que pode estar associado a maior presença de N disponível em seu solo e sua menor relação C/N. Assim, é correto afirmar que a maior capacidade do sistema em armazenar N também pode ser responsável por uma maior emissão de óxido nítrico.

O SPDH se mostrou mais eficiente na produção de cebola. O sistema alcançou uma produtividade superior em 18% ao SPD e 22% ao SPC. Estes valores se tornam ainda mais consideráveis quando se observa uma economia de 25% no uso de nitrato de amônio no tratamento. No entanto, o calendário de rotações proposto pelo sistema renuncia a uma segunda safra de cultura de interesse comercial, fato que juntamente com os custos de implantação das plantas utilizadas como cobertura de solo, apontam a necessidade de um balanço entre ganhos e perdas antes da opção pelo sistema.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo sugerem a existência de uma influência da adição de fontes de N, assim como o uso de plantas de cobertura com capacidade de fixação de N para o fim de obter resíduos vegetais, sobre os processos que controlam a dinâmica e liberação de N pelo solo na forma de N₂O para a atmosfera.

Os maiores fluxos de N₂O e CO₂ foram verificados nos primeiros 15 dias após o transplântio das mudas de cebola para quase todos os tratamentos, voltando a ter um aumento nos fluxos após a segunda adubação de cobertura. Esta adubação é a maior dose de nitrato de amônio aplicada, somado também a aplicação de sulfato de potássio. O tratamento SPD foi o único que não apresentou seu pico de emissão de N₂O e CO₂ nos primeiros dias e sim após a segunda adubação de cobertura. No entanto, os fluxos registrados para ambos os GEE nos dois picos foram similares. É correto afirmar que o SPD foi o tratamento que apresentou resultados mais lineares para a emissão de todos os GEE avaliados, se mostrando menos emissor de GEE ao ponto que ainda apresenta resultados melhores para parâmetros edáficos quando comparado ao SPC.

É importante ressaltar que o SPDH renuncia a uma segunda safra de cultura de interesse comercial, fato que deve ser levado em consideração por tomadores de decisão antes de optarem por este sistema. Em cima disto também é importante lembrar que o SPD e SPDH avaliado já conta com 14 anos de manejo, sendo que este elemento corrobora com a premissa de melhorias gradativas das propriedades edáficas propostas pelo sistema conservacionista.

A eficiência dos tratamentos avaliados em mitigar suas próprias emissões é muito positiva para uma perspectiva de redução dos impactos da agricultura no aquecimento global. Entretanto, se faz necessário a realização de um trabalho complementar, onde se busque estimar o balanço de emissões de toda a cadeia produtiva da cebola nos diferentes sistemas, ou até mesmo estimar a pegada de carbono dos sistemas. Este trabalho seria de grande valia para auxiliar a tomada de decisão no presente curso da humanidade para mitigação dos efeitos negativos do aquecimento global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, José Alan de Almeida; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; SILVA, Leandro Souza Da; SANTI, Anderson; WEBER, Mirla Andrade. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, [S. l.], v. 44, n. 5, p. 801–809, 2014. DOI: 10.1590/S0103-84782014005000002.

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>.

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 jul. 2022.

ALTHOFF, Tiago Diniz; MENEZES, Rômulo Simões Cezar; DE CARVALHO, André Luiz; DE SIQUEIRA PINTO, Alexandre; SANTIAGO, Gabriela Ayane Chagas Felipe; OMETTO, Jean Pierre Henry Balbaud; VON RANDOW, Celso; DE SÁ BARRETTO SAMPAIO, Everardo Valadares. Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 360, p. 367–375, 2016. DOI: 10.1016/J.FORECO.2015.10.001. Acesso em: 8 jul. 2022.

ALTIERI, Miguel A.; LANA, Marcos A.; BITTENCOURT, Henrique V.; KIELING, André S.; COMIN, Jucinei J.; LOVATO, Paulo E. Enhancing Crop Productivity via Weed Suppression in Organic No-Till Cropping Systems in Santa Catarina, Brazil. **Journal of Sustainable Agriculture**, [S. l.], v. 35, n. 8, p. 855–869, 2011. DOI: 10.1080/10440046.2011.588998. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10440046.2011.588998>.

ALVARENGA, Ramon Costa; CABEZAS, Waldo Alejandro Lara; CRUZ, José Carlos; SANTANA, Derli Prudente. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto.

Informe Agropecuário, [S. l.], v. 22, n. 208, p. 25–36, 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/485005>. Acesso em: 7 jul. 2022.

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.

BAGGS, Elizabeth M.; PHILIPPOT, Laurent. Microbial Terrestrial Pathways to Nitrous Oxide. *Em: Nitrous Oxide and Climate Change*. 1. ed. [s.l.] : Routledge, 2010. p. 8–39. DOI: 10.4324/9781849775113-5. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781849775113-5/microbial-terrestrial-pathways-nitrous-oxide-elizabeth-baggs-laurent-philippot>. Acesso em: 9 jul. 2022.

BARD, Edouard. Greenhouse effect and ice ages: historical perspective. **Comptes Rendus Geoscience**, [S. l.], v. 336, n. 7–8, p. 603–638, 2004. DOI: 10.1016/J.CRTE.2004.02.005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2004.02.005>. Acesso em: 8 jul. 2022.

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BATEMAN, E. J.; BAGGS, E. M. Contributions of nitrification and denitrification to N₂O 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 jul. 2022.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 599–607, 2000. DOI: 10.1590/S0100-06832000000300013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000300013>. Acesso em: 10 jul. 2022.

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; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; TORNQUIST, Carlos Gustavo; CERRI, Carlos Eduardo Clemente; DIECKOW, Jeferson; ZANATTA, Josiléia Accordi; 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: 24 jul. 2022.

BAYER, Cimélio; GOMES, Juliana; ZANATTA, Josiléia Accordi; VIEIRA, Frederico Costa Beber; PICCOLO, Marisa de Cássia; DIECKOW, Jeferson; SIX, Johan. Soil nitrous oxide emissions as affected by long-term tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 146, n. PB, p. 213–222, 2015. DOI: 10.1016/j.still.2014.10.011. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198714002207>.

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>.

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>.

BORDONAL, Ricardo de Oliveira; LAL, Rattan; RONQUIM, Carlos Cesar; DE FIGUEIREDO, Eduardo Barretto; CARVALHO, João Luís Nunes; MALDONADO, Walter; MILORI, Débora Marcondes Bastos Pereira; LA SCALA, Newton. Changes in quantity and quality of soil carbon due to the land-use conversion to sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 240, n. 2017, p. 54–65, 2017. DOI: 10.1016/j.agee.2017.02.016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.016>.

BORIN, Ana Luiza Dias Coelho; LANA, Regina Maria Quintão; PEREIRA, Hamilton Seron. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condições de campo. **Ciência e Agrotecnologia**, [S. l.], v. 34, n. spe, p. 1591–1597, 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000700001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000700001>. Acesso em: 10 jul. 2022.

BORTOLI, Marcelo; KUNZ, Airton; SOARES, Hugo Moreira; BELLI FILHO, Paulo; COSTA, Rejane Helena Ribeiro Da. Emissão de óxido nitroso nos processos de remoção biológica de nitrogênio de efluentes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 01–06, 2012. a. DOI: 10.1590/S1413-41522012000100003. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522012000100003&lng=pt&tlng=pt.

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>.

BRACKEN, Conor J. et al. Source partitioning using N₂O isotopomers and soil WFPS to establish dominant N₂O production pathways from different pasture sward compositions. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 781, p. 146515, 2021. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.146515. Acesso em: 13 jul. 2022.

BRÜCK, H.; PIRO, B.; SATTELMACHER, B.; PAYNE, W. A. Spatial distribution of roots of pearl millet on sandy soils of Niger. **Plant and Soil**, [S. l.], v. 256, n. 1, p. 149–159, 2003. DOI: 10.1023/A:1026246728095. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1023/A:1026246728095>. Acesso em: 21 jul. 2022.

BRUNETTO, Gustavo; CERETTA, Carlos Alberto; BASTOS DE MELO, George Wellington; KAMINSKI, João; TRENTIN, Gustavo; GIROTTO, 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>.

CARMO, Heliton Fernandes Do; MADARI, Beáta Emöke; WANDER, Alcido Elenor; MOREIRA, Flavia Rabelo Barbosa; GONZAGA, Augusto Cesar de Oliveira; SILVEIRA, Pedro Marques Da; SILVA, Aluisio Goulart; SILVA, José Geraldo Da; MACHADO, Pedro Luiz Oliveira de Almeida. Balanço energético e pegada de carbono nos sistemas de produção integrada e convencional de feijão-comum irrigado.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, [S. l.], v. 51, n. 9, p. 1069–1077, 2016. DOI: 10.1590/s0100-204x2016000900006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2016000901069&lng=pt&tlng=pt.

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>. Acesso em: 24 jul. 2022.

CARVALHO, Arminda Moreira De; BUSTAMANTE, Mercedes Maria da Cunha; SOUSA JUNIOR, José Geraldo de Abreu; VIVALDI, Lúcio José. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 32, n. spe, p. 2831–2838, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000700029. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rbcs/a/rYX5vkLNcxCL9KhMXWLq38B/?lang=pt>. Acesso em: 21 jul. 2022.

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.

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 jul. 2022.

CARVALHO, Nathália Leal; ZABOT, Valdirene. NITROGÊNIO: NUTRIENTE OU POLUENTE? **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 6, n. 6, p. 2236–1170, 2012. DOI: 10.5902/223611704671. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/223611704671>. Acesso em: 9 jul. 2022.

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.

CASTRO, César De; CASTIGLIONI, Vania Beatriz Rodrigues; BALLA, Antal; LEITE, Regina Maria Vilias Bôas de Campos; KARAM, Décio; MELLO, Heveraldo Camargo; GUEDES, Luiz César Auvray; FARIAS, José Renato Bouças. **A cultura do Girassol**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1996. . Acesso em: 21 jul. 2022.

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>.

CERRI, Carlos Clemente; MOREIRA, Cindy Silva; ALVES, Priscila Aparecida; RAUCCI, Guilherme Silva; DE ALMEIDA CASTIGIONI, Bruno; MELLO, Francisco F. C.; CERRI, Domingos Guilherme P.; CERRI, Carlos Eduardo P. Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 112, p. 2593–2600, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.10.072. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.072>.

CHAPUIS-LARDY, LYDIE; WRAGE, NICOLE; METAY, AURÉLIE; CHOTTE, JEAN-LUC; BERNOUX, MARTIAL. Soils, a sink for N₂O? A review. **Global Change Biology**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 1–17, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01280.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01280.x>. Acesso em: 9 jul. 2022.

CHASE, Mark W.; REVEAL, James L.; FAY, Michael F. A subfamilial classification for the expanded asparagalean families Amaryllidaceae, Asparagaceae and Xanthorrhoeaceae. **Botanical Journal of the Linnean Society**, [S. l.], v. 161, n. 2, p. 132–136, 2009. DOI: 10.1111/J.1095-8339.2009.00999.X. Disponível em:

<https://academic.oup.com/botlinnean/article/161/2/132/2418404>. Acesso em: 8 jul. 2022.

CHEN, Huaihai; LI, Xuechao; HU, Feng; SHI, Wei. Soil nitrous oxide emissions following crop residue addition: a meta-analysis. **Global Change Biology**, [S. l.], v. 19, n. 10, p. 2956–2964, 2013. DOI: 10.1111/GCB.12274. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.12274>. Acesso em: 24 jul. 2022.

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.

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. Acesso em: 19 jun. 2022.

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. Disponível em: http://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf. Acesso em: 6 jul. 2022.

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.

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.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF.

EPAGRI. **Sistema de produção para a cebola**. 4. ed. Florianópolis: Epagri. Sistemas de Produção, 46, 2013. Disponível em: https://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/cebola/acervo/sistema_producao_cebola_sc.pdf.

EPAGRI/CEPA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2019-2020**. 41. ed. Florianópolis. v. 1 Disponível em: <https://cepa.epagri.sc.gov.br>.

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>.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO₂ 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>.

FARHATE, Camila V. V.; SOUZA, Zigomar M.; LA SCALA, Newton; SOUSA, Allan Charles M.; SANTOS, Ana Paula G.; CARVALHO, João Luis N. Soil tillage and cover crop on soil CO₂ emissions from sugarcane fields. **Soil Use and Management**, [S. l.], v. 35, n. 2, p. 273–282, 2019. DOI: 10.1111/sum.12479. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez46.periodicos.capes.gov.br/doi/full/10.1111/sum.12479>.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L. M.; ALVARENGA, R. C.; NEVES, J. C. L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 171–177, 2000. DOI: 10.1590/S0100-06832000000100019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000100019>. Acesso em: 10 jul. 2022.

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: 4 jul. 2022.

FERREIRA, Lucas Borges et al. Organic carbon and nitrogen contents and their fractions in soils with onion crops in different management systems. **Soil Research**, [S. l.], v. 56, n. 8, p. 846–855, 2018. DOI: 10.1071/SR18167. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/sr/SR18167>. Acesso em: 19 jul. 2022.

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, 2007. p. 129–234.

FRIMPONG, K. A.; BAGGS, E. M. Do combined applications of crop residues and inorganic fertilizer lower emission of N₂O from soil? **Soil Use and Management**, [S. l.], v. 26, n. 4, p. 412–424, 2010. DOI: 10.1111/J.1475-2743.2010.00293.X. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1475-2743.2010.00293.x>. Acesso em: 24 jul. 2022.

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>.

GIUMBELLI, Lucas Dupont et al. Aggregation index, carbon, nitrogen, and natural abundance of ^{13}C and ^{15}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 et al. Aggregation index, carbon, nitrogen, and natural abundance of ^{13}C and ^{15}N in soil aggregates and bulk soil cultivated with onion under crop successions and rotations. **Soil Research**, [S. l.], [s.d.]. 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>.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 21, n. 59, p. 7–20, 2007. DOI: 10.1590/S0103-40142007000100003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142007000100003>.

GOMES, Juliana; BAYER, Cimélio; DE SOUZA COSTA, Falberni; DE CÁSSIA PICCOLO, Marisa; ZANATTA, Josiléia Acordi; VIEIRA, Frederico Costa Beber; SIX, Johan. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 106, n. 1, p. 36–44, 2009. DOI: 10.1016/J.STILL.2009.10.001. Acesso em: 24 jul. 2022.

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: 13 jul. 2022.

GUO, Xiaobin; DRURY, Craig F.; YANG, Xueming; DANIEL REYNOLDS, W.; FAN, Ruqin. The Extent of Soil Drying and Rewetting Affects Nitrous Oxide Emissions, Denitrification, and Nitrogen Mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, [S. l.], v. 78, n. 1, p. 194–204, 2014. DOI: 10.2136/sssaj2013.06.0219. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj2013.06.0219>. Acesso em: 13 jul. 2022.

GUTRO, Rob. **A Look at the U.S. Cold Snap from NASA Infrared Imagery**. 2017. Disponível em: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/a-look-at-the-us-cold-snap-from-nasa-infrared-imagery>. Acesso em: 2 jul. 2021.

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: 9 jul. 2022.

HIGASHIKAWA, Fábio Satoshi; CANTÚ, Rafael Ricardo; KURTZ, Claudinei; GONÇALVES, Paulo Antônio de Souza; VIEIRA NETO, João. Aplicações anuais de adubação mineral e orgânica em plantio direto de cebola. **Revista Thema**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 130–153, 2022. DOI: 10.15536/thema.V21.2022.130-153.2490. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/2490>.

HOORMAN, James J. Using cover crops to improve soil and water quality. **Lima, Ohio: Agriculture and Natural Resources, The Ohio State University Extension**, [S. l.], p. 1–4, 2009. . Acesso em: 13 jul. 2022.

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: 24 jul. 2022.

IBGE. **Produção de Cebola no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cebola/br>. Acesso em: 5 jun. 2022.

INOUE, Keles R. A.; SOUZA, Cecília De F.; MATOS, Antonio T.; SOUSA, Marilú S.; VIEIRA, Maria De F. A. Potential of reduction in the emission of methane and nitrous oxide from swine wastewater after treated by two different systems. **Engenharia Agrícola**, [S. l.], v. 36, n. 6, p. 1198–1205, 2016. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v36n6p1198-1205/2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162016000601198&lng=en&tlng=en.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** (V. Masson-Delmotte et al., Org.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2021. DOI: 10.1017/9781009157896. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 3 jul. 2022.

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, 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. b. DOI: 10.1007/S10705-008-9178-Y/TABLES/5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-008-9178-y>. Acesso em: 24 jul. 2022.

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: 8 jul. 2022.

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>.

KIELING, André dos Santos; COMIN, Jucinei José; FAYAD, Jamil Abdalla; LANA, Marcos Alberto; LOVATO, Paulo Emílio. Plantas de cobertura de inverno em sistema de plantio direto de hortaliças sem herbicidas: efeitos sobre plantas espontâneas e na produção de tomate. **Ciência Rural**, [S. l.], v. 39, n. 7, p. 2207–2209, 2009. DOI: 10.1590/S0103-84782009000700040. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782009000700040&lng=pt&tlng=pt.

KUNESKI, Ana Carla. **Teores e estoques de carbono e nitrogênio em solo sob sistema de plantio direto e preparo convencional de cebola de longa duração**. 2021. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/227016/PAGR0474-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em: 4 jul. 2022.

KURTZ, Claudinei; ERNANI, Paulo Roberto; COIMBRA, Jefferson Luís Meirelles; PETRY, Eder. Rendimento e conservação de cebola alterados pela dose e parcelamento de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 865–876, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000300017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300017>. Acesso em: 6 jul. 2022.

KURTZ, Claudinei; MENEZES JÚNIOR, Francisco Olmar Gervini De; HIGASHIKAWA, Fábio Satoshi. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da cebola**. Epagri, Bo ed. Florianópolis: Epagri, 2018.

KURTZ, Claudinei; PAULETTI, Volnei; FAYAD, Jamil A.; NETO, João Vieira. Crescimento e absorção de nutrientes pela cultivar de cebola Bola Precoce. **Horticultura Brasileira**, [S. l.], v. 34, n. 2, p. 279–288, 2016. DOI: 10.1590/S0102-053620160000200020. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/hb/a/xsTgWJx6N6dJDrTdsYMNmqm/?lang=pt>. Acesso em: 24 jul. 2022.

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: 10 jul. 2022.

LANGE, Markus et al. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. **Nature Communications**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 6707, 2015. DOI: 10.1038/ncomms7707. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/ncomms7707>.

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: 24 jul. 2022.

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: 6 jul. 2022.

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: 21 jul. 2022.

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/rbc/a/sPQvjG8jFjgvjcJJXpxRkkG/?format=pdf&lang=pt>.

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: 21 jul. 2022.

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>.

LV, Jianhua; LI, Quan; ZHANG, Junbo; LI, Yongfu; PENG, Changhui; SONG, Xinzhang. Nitrogen addition increases CO₂, CH₄, and N₂O concentrations of topsoils and subsoils in a subtropical Moso bamboo forest. **CATENA**, [S. l.], v. 216, p. 106397, 2022. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106397. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0341816222003836>.

MAIA, Stoécio Malta Ferreira; XAVIER, Francisco Alisson da Silva; OLIVEIRA, Teógenes Senna De; MENDONÇA, Eduardo De Sá; ARAÚJO FILHO, João Ambrósio. Frações de nitrogênio em Luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 32, n. 1, p.

381–392, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000100036. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100036>.

MANFRON, Paulo Augusto; GARCIA, Danton Camacho; ANDRIOLO, Jerônimo Luiz. ASPECTOS MORFO-FISIOLÓGICOS DA CEBOLA. **Ciência Rural**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 101–108, 1992. DOI: 10.1590/S0103-84781992000100016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84781992000100016>. Acesso em: 21 jul. 2022.

MELLO, Francisco de A. F. De. Fixação de nitrogênio por algumas leguminosas. **BRAZILIAN JOURNAL OF AGRICULTURE-Revista de Agricultura**, [S. l.], v. 53, n. 1–2, p. 59–63, 1978. Disponível em: <http://www.revistadeagricultura.com.br/index.php/revistadeagricultura/article/download/3946/3739>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MENDONÇA, Francisco.; DANNIO-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia : noções básicas e climas do Brasil**. [s.l.] : Oficina de Textos, 2007.

MILDE, Gilson A.; DEDECEK, Renato A.; GAVA, José Luiz. Unidades de colheita: estratégia para evitar a compactação dos solos florestais. **Revista Árvore**, [S. l.], v. 34, n. 6, p. 1075–1083, 2010. DOI: 10.1590/S0100-67622010000600013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000600013>. Acesso em: 24 jul. 2022.

MILLAR, N.; BAGGS, E. M. Relationships between N₂O emissions and water-soluble C and N contents of agroforestry residues after their addition to soil. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], v. 37, n. 3, p. 605–608, 2005. DOI: 10.1016/J.SOILBIO.2004.08.016. Acesso em: 24 jul. 2022.

MONTEIRO, Alda Lúcia Gomes; FARO, Amanda Moser Coelho da Fonseca; PERES, Mylena Taborda Piquera; BATISTA, Rafael; POLI, Cesar Henrique Espirito Candal; VILLALBA, Juan Jose. The role of small ruminants on global climate change. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, [S. l.], v. 40, n. 1, p. 43124, 2018. DOI: 10.4025/actascianimsci.v40i1.43124. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.43124>. Acesso em: 8 jul. 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. Chamber and isotope techniques. *Em*: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, David S. (org.). **Exchange of Trace Gases Between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere**. 1. ed. [s.l.] : John Wiley & Sons Ltd, 1989. p. 175–187.

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. **Sistema de plantio direto agroecológico de cebola e emissão de gases de efeito estufa**. 2017. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/177887>.

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.

MÜLLER JÚNIOR, Vilmar; SOUZA, Monique; KOUCHER, Leoncio de Paula; KURTZ, Claudinei; BRUNETTO, Gustavo; COMIN, Jucinei José. Emissão de óxido nitroso em cebola (*Allium cepa* L.) cultivada sob Sistema de Plantio Direto Agroecológico. **Cadernos de Agroecologia**, [S. l.], v. 13, n. 2236–7934, 2018.

NIEBERT, Kai; GROPENGIESSER, 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: 13 jul. 2022.

OLIVEIRA, Rodolfo Assis De et al. Cover Crops Effects on Soil Chemical Properties and Onion Yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 40, p. 1–17, 2016. DOI: 10.1590/18069657rbc20150099. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150099>.

OMONODE, Rex A.; VYN, Tony J.; SMITH, Doug R.; HEGYMEGI, Péter; GÁL, Anita. Soil carbon dioxide and methane fluxes from long-term tillage systems in continuous corn and corn–soybean rotations. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 95, n. 1–2, p. 182–195, 2007. DOI: 10.1016/j.still.2006.12.004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.12.004>. Acesso em: 10 jul. 2022.

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: 8 jul. 2022.

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: 9 jul. 2022.

PIERREHUMBERT, 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>.

PORTELA, Mirya Grazielle Torres; LEITE, Luiz Fernando Carvalho. GHG EMISSIONS BY AGRICULTURE: THE CASE OF THE SUGAR CANE PLANTATION. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 18, p. 377–388, 2016. DOI:

10.5380/abclima.v18i0.42393. Disponível em:
<http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/42393>.

PRAJAPATI, P.; JACINTHE, P. A. Methane oxidation kinetics and diffusivity in soils under conventional tillage and long-term no-till. **Geoderma**, [S. l.], v. 230–231, p. 161–170, 2014. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.04.013. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.013>. Acesso em: 9 jul. 2022.

PRASAD, J. V. N. S.; RAO, Ch Srinivasa; SRINIVAS, K.; JYOTHI, Ch Naga; VENKATESWARLU, B.; RAMACHANDRAPPA, 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; CAPPÀ, 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.

PULLEMAN, M. M.; SIX, J.; VAN BREEMEN, N.; JONGMANS, A. G. Soil organic matter distribution and microaggregate characteristics as affected by agricultural management and earthworm activity. **European Journal of Soil Science**, [S. l.], v. 56, n. 4, p. 453–467, 2005. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2004.00696.x.

RENAN BESEN, Marcos; RIBEIRO, Ricardo Henrique; ALESSANDRA, ; TRÍCIA, Nardina; MONTEIRO, Rigo; GUILHERME, ; IWASAKI, Seiki; JONATAS, ;; PIVA, Thiago. Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. **Scientia Agropecuaria**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 429–439, 2018. DOI: 10.17268/SCI.AGROPECU.2018.03.15. Disponível em:
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000300015&lng=es&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 8 jul. 2022.

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: 8 jul. 2022.

ROBERTSON, G. P. Soil Greenhouse Gas Emissions and Their Mitigation. *Em: Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. [s.l.] : Elsevier, 2014. p. 185–196. DOI: 10.1016/B978-0-444-52512-3.00097-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00097-8>. Acesso em: 9 jul. 2022.

SANTOS, Flávia Cristina Dos; ALBUQUERQUE FILHO, Manoel Ricardo De; VILELA, Lourival; FERREIRA, Gilvan Barbosa; CARVALHO, Maria da Conceição Santana; VIANA, João Herbert Moreira. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 38, n. 6, p. 1855–1861, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000600020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600020>. Acesso em: 24 jul. 2022.

SANTOS, Luiz Henrique Dos; CANTON, Ludiana; VENTURA, Barbara Santos; FERREIRA, Guilherme Wilbert; KURTZ, Claudinei; BRUNETTO, Gustavo; COMIN, Jucinei José; LOVATO, Paulo Emílio; LOSS, Arcângelo. Chemical Properties in Macroaggregates of a Humic Dystrudept Cultivated with Onion under No-Till and Conventional Tillage Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 41, p. 1–13, 2017. DOI: 10.1590/18069657rbcS20160419. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20160419>. Acesso em: 8 jul. 2022.

SANTOS, Luiz Henrique; LOSS, Arcangelo; CANTON, Ludiana; DOS SANTOS JÚNIOR, Elano; KURTZ, Claudinei; BRUNETTO, Gustavo; COMIN, Jucinei José. Efecto del contenido de Carbono en sustancias húmicas en suelo en un cultivo de cebolla. **Idesia (Arica)**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 15–25, 2018. DOI: 10.4067/S0718-34292018000100015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292018000100015>. Acesso em: 9 jul. 2022.

SANZ-COBENA, A.; GARCÍA-MARCO, S.; QUEMADA, M.; GABRIEL, J. L.; ALMENDROS, P.; VALLEJO, A. Do cover crops enhance N₂O, CO₂ or CH₄ emissions from soil in Mediterranean arable systems? **Science of The Total Environment**, [S.

l.], v. 466–467, p. 164–174, 2014. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2013.07.023. Acesso em: 24 jul. 2022.

SCHAUFLEER, 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. 198–206, 2020. a. DOI: 10.1071/SR19095.

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>.

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: 10 jul. 2022.

SIQUEIRA NETO, Marcos; PICCOLO, Marisa de Cássia; COSTA JUNIOR, Ciniro; CERRI, Carlos Clemente; BERNOUX, Martial. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [*S. l.*], v. 35, n. 1, p. 63–76, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000100006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100006>. Acesso em: 25 jul. 2022.

SIQUEIRA NETO, Marcos; PICCOLO, Marisa de Cássia; VENZKE FILHO, Solismar de Paiva; FEIGL, Brigitte Josefine; CERRI, Carlos Clemente. Mineralização e desnitrificação do nitrogênio no solo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, [S. l.], v. 69, n. 4, p. 923–936, 2010. DOI: 10.1590/S0006-87052010000400019.

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: 20 jun. 2022.

SISTI, Claudia P. J.; DOS SANTOS, Henrique P.; KOHHANN, Rainoldo; ALVES, Bruno J. R.; URQUIAGA, Segundo; BODDEY, Robert M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 76, n. 1, p. 39–58, 2004. DOI: 10.1016/j.still.2003.08.007.

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: 24 jul. 2022.

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: 6 jul. 2022.

SOUZA, Monique; COMIN, Jucinei José; LEGUIZAMÓN, Eduardo Sixto; KURTZ, Claudinei; BRUNETTO, Gustavo; MÜLLER JÚNIOR, Vilmar; VENTURA, Bárbara; CAMARGO, Ana Paula. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência Rural**, [S. l.], v. 43, n. 1, p. 21–27, 2012. DOI: 10.1590/S0103-84782012005000150. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/tQbsSWChLYHCZzzDggcNcmD/?format=pdf&lang=pt>.

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

TAVARES, Rose Luiza Moraes; SPOKAS, Kurt; HALL, Kate; COLOSKY, Edward; SOUZA, Zigomar Menezes De; SCALA, Newton La. Sugarcane residue management impact soil greenhouse gas. **Ciência e Agrotecnologia**, [S. l.], v. 42, n. 2, p. 195–203, 2018. DOI: 10.1590/1413-70542018422019817. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542018000200195&lng=en&tlng=en.

TEDESCO, José Marino; GIANELLO, Clesio; BISSANI, Carlos Alberto; BOHNEN, Humberto; VOLKWEISS, Sérgio Jorge. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre. . Acesso em: 3 jul. 2022.

TEIXEIRA, Cláudia Echevengúá; 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.

TORRES, José Luiz Rodrigues; PEREIRA, Marcos Gervásio; ANDRIOLI, Itamar; POLIDORO, José Carlos; FABIAN, Adelar José. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 29, n. 4, p. 609–618, 2005. DOI: 10.1590/S0100-06832005000400013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400013>. Acesso em: 10 jul. 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: 24 jul. 2022.

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: 13 jul. 2022.

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: 10 jul. 2022.

WEIER, K. L.; DORAN, J. W.; POWER, J. F.; WALTERS, D. T. Denitrification and the Dinitrogen/Nitrous Oxide Ratio as Affected by Soil Water, Available Carbon, and Nitrate. **Soil Science Society of America Journal**, [S. l.], v. 57, n. 1, p. 66–72, 1993. DOI: 10.2136/SSSAJ1993.03615995005700010013X. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2136/sssaj1993.03615995005700010013x>. Acesso em: 24 jul. 2022.

WEILER, Douglas Adams; GIACOMINI, Sandro José; RECOUS, Sylvie; BASTOS, Leonardo Mendes; PILECCO, Getúlio Elias; DIETRICH, Guilherme; AITA, Celso. Trade-off between C and N recycling and N₂O emissions of soils with summer cover crops in subtropical agrosystems. **Plant and Soil**, [S. l.], v. 433, n. 1–2, p. 213–225, 2018. DOI: 10.1007/S11104-018-3831-2/FIGURES/5. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-018-3831-2>. Acesso em: 24 jul. 2022.

WISNIEWSKI, Celina; HOLTZ, Guilherme Pimentel. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S. l.], v. 32, n. 11, p. 1191–1197, 1997. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/92361/1/pab14796.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2022.

WOLSCHICK, Neuro Hilton; BARBOSA, Fabrício Tondello; BERTOL, Ildegardis; BAGIO, Bárbara; KAUFMANN, Danieli Schneiders. Long-Term Effect of Soil Use and Management on Organic Carbon and Aggregate Stability. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 42, n. 0, p. 170393, 2018. DOI: 10.1590/18069657rbc20170393. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170393>. Acesso em: 25 jul. 2022.

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.

WRAGE, N.; VELTHOF, G. L.; VAN BEUSICHEM, M. L.; OENEMA, O. Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], v. 33, n. 12–13, p. 1723–1732, 2001. DOI: 10.1016/S0038-0717(01)00096-7. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00096-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00096-7). Acesso em: 9 jul. 2022.

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>.

YODER, Robert E. A Direct Method of Aggregate Analysis of Soils and a Study of the Physical Nature of Erosion Losses ¹. **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: 19 jul. 2022.