



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

Ana Carla Kuneski

**Teores e estoques de carbono e nitrogênio em solo sob sistema de plantio direto e  
preparo convencional de cebola de longa duração**

Florianópolis

2021

Ana Carla Kuneski

**Teores e estoques de carbono e nitrogênio em solo sob sistema de plantio direto e preparo convencional de cebola de longa duração**

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

Orientador: Prof. Dr. Jucinei José Comin  
Coorientador: Prof. Dr. Arcângelo Loss

Florianópolis

2021

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

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 / Ana Carla Kuneski ; orientador, Jucinei José Comin, coorientador, Arcângelo Loss, 2021. 70 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. Sistema de plantio direto de hortaliças. 3. Carbono orgânico particulado . 4. Nitrogênio particulado . 5. Plantas de cobertura. I. Comin, Jucinei José . II. Loss, Arcângelo . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. IV. Título.

Ana Carla Kuneski

**Teores e estoques de carbono e nitrogênio em solo sob sistema de plantio direto e preparo convencional de cebola de longa duração**

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

Rafael da Rosa Couto, Dr.  
Instituto Federal Catarinense

Prof. Cledimar Rogério Lourenzi, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

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. Jucinei José Comin, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2021.

Dedico este trabalho aos meus pais  
Edvirges Rubick Kuneski e Hilário Kuneski.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que estiveram comigo nessa caminhada, apoiando de maneira impetuosa e genuína. Meus pais Edvirges e Hilário, meu irmão Hugo, minha cunhada Mayume, meu companheiro João e seus familiares, aos meus estimados amigos e amigas.

À toda a minha família pelas lutas e pelo apoio em todos os momentos. Em especial a minha avó Ida Prim Kuneski (*in memoriam*) cujas lembranças ocupam meu coração de alegria.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, aos meus colegas, professores e integrantes do NEPEA - Núcleo de Estudo Pesquisa e Extensão de Agroecologia - por todo o apoio e suporte recebido.

Ao programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina (UNIEDU), pela concessão de bolsa FUMDES, que tornou possível o desenvolvimento e conclusão desta dissertação.

E pela orientação deste trabalho, agradeço aos professores Jucinei e Arcângelo.

*“Restam apenas ervas daninhas?  
Pior ainda: as ervas daninhas estão de tal maneira  
emaranhadas nas boas que não se consegue enfiar as mãos no meio e puxar.  
Dir-se-ia que se criou um pacto de cumplicidade  
entre as ervas de semeadura e as ervas selvagens,  
um afrouxamento das barreiras impostas pelas desigualdades de nascimento,  
uma tolerância resignada em relação à degradação.  
Algumas ervas espontâneas, por si só, não têm de modo algum  
um aspecto maléfico e insidioso.  
Porque não admiti-las no número das que pertencem ao prado de pleno direito,  
integrando-as na comunidade das que foram cultivadas?”*

(Italo Calvino, 1983)

## RESUMO

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma cultura de grande importância alimentícia e econômica. O estado de Santa Catarina (SC) é o principal produtor nacional, e o município de Ituporanga se destaca como o maior produtor estadual. O cultivo da cebola ocorre tipicamente em sistema de preparo convencional do solo (SPC), no qual a lavração do solo favorece a mineralização e decomposição da matéria orgânica e a perda de carbono (C) e nitrogênio (N) do solo. Para contornar os efeitos negativos do SPC, o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) atua baseado em pilares sustentáveis com contínua cobertura de solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores e estoques de C e N em diferentes sistemas de manejo com plantas de cobertura solteiras e consorciadas no cultivo de cebola em Ituporanga, SC. O experimento foi implementado no ano de 2009 e conduzido até o ano de 2019. Foram coletadas amostras de solo neste ano nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-30 cm nos tratamentos manejados em SPDH, sendo aveia-preta (AV); centeio (CE); nabo-forrageiro (NB); centeio + nabo-forrageiro (CE+NB); aveia-preta + nabo-forrageiro (AV+NB) e vegetação espontânea (PE). Além desses tratamentos, mais duas áreas adjacentes foram utilizadas, sendo uma manejada em SPC e uma área de floresta secundária (MATA). Foram avaliados os teores e estoques de C orgânico total (COT), N total (NT), matéria orgânica leve em água (MOL), carbono orgânico particulado (COP), nitrogênio particulado (Np), C associado aos minerais (COam) e N associado aos minerais (Nam). O SPDH apresentou os maiores teores e estoques de COT e NT com a utilização de consórcio gramíneas e crucíferas em detrimento dos cultivos solteiro, além de ser superior em comparação ao SPDH com vegetação espontâneas e ao SPC. O teor e estoque de MOL foi superior em SPDH com a utilização de gramíneas solteiras e se sobressaiu em relação ao SPDH com consórcio, SPDH com vegetação espontânea e ao SPC. Não houve diferença estatística para o Np entre MATA, CE e CE+NB demonstrando que o SPDH é eficiente em elevar esses teores em substituição ao SPC. O CE e o NB, em consórcio e solteiros, apresentaram maiores teores de COP e Np, evidenciando que essas espécies são plantas capazes de aportar expressivas quantidades de C e N particulados no solo. De forma semelhante aos teores, os estoques de COP e Np foram favorecidos nas áreas com a presença de CE e NB solteiras ou em consórcio. O COam e Nam, foram superiores no SPDH com o consórcio CE+NB, superando a área de referência MATA. Este consórcio foi eficiente em recuperar e elevar os teores de COam e Nam na camada superficial do solo após a substituição de SPC por SPDH. Assim como os teores, os estoques de COam e Nam foram superiores à MATA no consórcio CE+NB. O uso do consórcio entre CE e NB é um manejo eficiente em adicionar C e N no solo.

**Palavras-chave:** Sistema de plantio direto de hortaliças. Carbono orgânico particulado. Nitrogênio particulado. Plantas de cobertura. Adubação verde.

## ABSTRACT

The onion (*Allium cepa* L.) is a crop of great nutritional and economic importance. The state of Santa Catarina (SC) is the main national producer, and the municipality of Ituporanga stands out as the largest state producer. Onion cultivation typically occurs in a conventional soil tillage system (SPC), in which tilling the soil favors mineralization and decomposition of organic matter and the loss of carbon (C) and nitrogen (N) in the soil. To circumvent the negative effects of SPC, the system of direct planting of vegetables (SPDH) operates based on sustainable pillars with continuous soil cover. The objective of this work was to evaluate the levels and stocks of C and N in different management systems with single cover plants and intercropped in onion cultivation in Ituporanga, SC. The experiment was implemented in the year 2009 and conducted until the year 2019. Soil samples were collected this year in the 0-5, 5-10 and 10-30 cm layers in the treatments managed in SPDH, being black oats (AV); rye (CE); turnip (NB); rye + turnip (CE + NB); black oats + turnip (AV + NB) and spontaneous vegetation (PE). In addition to these treatments, two more adjacent areas were used, one being managed in SPC and an area of secondary forest (MATA). The contents and stocks of total organic C (TOC), total N (NT), light organic matter in water (MOL), particulate organic carbon (C<sub>Op</sub>), particulate nitrogen (N<sub>p</sub>), C associated with minerals (C<sub>Oam</sub>) and Not associated with minerals (N<sub>am</sub>). The SPDH presented the highest contents and stocks of COT and NT using a consortium of grasses and crucifers to the detriment of single crops, in addition to being superior in comparison to the SPDH with spontaneous vegetation and the SPC. The content and stock of MOL was higher in SPDH with the use of single grasses and stood out in relation to SPDH with intercropping, SPDH with spontaneous vegetation and SPC. There was no statistical difference for N<sub>p</sub> between MATA, CE and CE + NB demonstrating that the SPDH is efficient in raising these levels in substitution to the SPC. The CE and NB, in consortium and singles, presented higher levels of C<sub>Op</sub> and N<sub>p</sub>, showing that these species are plants capable of providing significant amounts of particulate C and N in the soil. Similar to the levels, the stocks of C<sub>Op</sub> and N<sub>p</sub> were favored in areas with the presence of CE and NB single or in consortium. C<sub>Oam</sub> and N<sub>am</sub>, were superior in SPDH with the CE + NB consortium, surpassing the reference area MATA. This consortium was efficient in recovering and increasing the contents of C<sub>Oam</sub> and N<sub>am</sub> in the topsoil after replacing SPC with SPDH. As well as the levels, the stocks of C<sub>Oam</sub> and N<sub>am</sub> were higher than MATA in the CE + NB consortium. The use of the consortium between CE and NB is an efficient management to add C and N to the soil.

**Keywords:** No-till system for vegetables. Particulate organic carbon. Particulate nitrogen. Cover plants. Green adubation.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias de produção de matéria seca ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) das plantas de cobertura de inverno nas safras 2017/2018 e 2018/2019 em sistema de plantio direto e preparo convencional de cebola. ....	32
Tabela 2 - Densidade do solo ( $\text{Mg m}^3$ ) em solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola (SPC). ....	33
Tabela 3 - Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes plantas de cobertura e preparo convencional de cebola. ....	36
Tabela 4 - Teor de matéria orgânica leve (MOL) do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola. ....	41
Tabela 5 - Teores de carbono orgânico particulado (CO <sub>p</sub> ) e nitrogênio orgânico particulado (N <sub>p</sub> ) da fração granulométrica da matéria orgânica do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola. ....	44
Tabela 6 - Teores de carbono orgânico associado aos minerais (CO <sub>am</sub> ) e nitrogênio orgânico associado aos minerais (N <sub>am</sub> ) da fração granulométrica da matéria orgânica do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola. ....	49

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola. .... 38
- Figura 2 - Estoque de matéria orgânica leve (MOL) do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola. .... 43
- Figura 3 - Estoques de carbono orgânico particulado (COp) e nitrogênio particulado (Np) da fração granulométrica do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola. .... 46
- Figura 4 - Estoques de carbono orgânico associado aos minerais (COam) e de nitrogênio associado aos minerais (Nam) da fração granulométrica do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola. .... 51

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C – Carbono

CH<sub>4</sub> – Metano

C/N – Relação carbono/nitrogênio

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CO<sub>am</sub> – Carbono associado aos minerais

CO – Carbono orgânico

CO<sub>p</sub> – Carbono orgânico particulado

COT – Carbono orgânico total

DAP – Dias após plantio

D<sub>s</sub> – Densidade do solo

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural

GEEs – Gases de efeito estufa

ILP – Sistema integração lavoura pecuária

MOL – Matéria orgânica leve em água

MOM – Matéria orgânica associada aos minerais

MOP – Matéria orgânica particulada

MOS – Matéria orgânica do solo

MS – Matéria seca

N – Nitrogênio

N<sub>am</sub> – Nitrogênio associado aos mineira

NO – Óxido nítrico

N<sub>2</sub>O – Óxido nitroso

N<sub>p</sub> – Nitrogênio particulado

NT – Nitrogênio total

SC – Santa Catarina

SPD – Sistema de plantio direto

SPC – Sistema de plantio convencional

SPDH – Sistema de plantio direto de hortaliças

SPR – Sistema de preparo reduzido

SP – São Paulo

TFSA – Terra fina seca ao ar

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1. CEBOLA E SISTEMAS DE CULTIVO .....	18
2.2 PLANTAS DE COBERTURA E SUA RELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS EDÁFICOS .....	21
2.3 SISTEMAS DE MANEJO E ESTOQUES DE C E N .....	23
<b>2.3.1 Influência dos sistemas de manejo no C e N nas frações da MOS.....</b>	<b>25</b>
<b>3 HIPÓTESES .....</b>	<b>28</b>
<b>4 OBJETIVOS .....</b>	<b>29</b>
4.1 GERAL .....	29
4.2 ESPECÍFICOS .....	29
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>30</b>
5.1 LOCALIZAÇÃO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	30
5.3 COLETA DE AMOSTRAS E ANÁLISES .....	32
<b>5.3.1 Coleta e preparo das amostras .....</b>	<b>32</b>
<b>5.3.2 Determinação dos teores e cálculo dos estoques de C e N .....</b>	<b>33</b>
<b>5.3.3 Análise de MOL.....</b>	<b>34</b>
<b>5.3.4 Fracionamento granulométrico da MOS .....</b>	<b>34</b>
5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	35
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>36</b>
6.1 TEORES E ESTOQUES DE COT E NT DO SOLO .....	36
6.2 TEORES E ESTOQUES DE MATÉRIA ORGÂNICA LEVE.....	41
6.3 TEORES E ESTOQUES DE C E N DA FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	44
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>54</b>
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>55</b>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa* L.) está entre as hortaliças produzidas em maior volume mundialmente, e no Brasil são 55.266 hectares de cultivo e 1.563.986 toneladas de cebola, sendo a terceira olerácea mais importante, logo após o tomate e a batata (IBGE, 2017a). A região sul é responsável por 45,9% da produção nacional, representando 717.482 toneladas. Dentre os estados, Santa Catarina (SC) é o maior produtor nacional com 432.383 toneladas, em uma área de 19.346 hectares. Em SC, o município de Ituporanga é conhecido como a Capital Nacional da Cebola, sendo o maior produtor estadual, participando com 23% da produção e utilizando uma área de 3.276,95 hectares. A cebolicultura está presente em 36% dos estabelecimentos agropecuários do município de Ituporanga, sendo responsável por gerar empregos e renda para as famílias na região (IBGE, 2017b).

O cultivo da cebola ocorre, tipicamente, em sistema de preparo convencional do solo (SPC), no qual utiliza-se de mobilização periódica do solo por meio de maquinário e implementos agrícolas, tais como arado de discos, subsolador, grade destorroadora e a enxada rotativa. Se por um lado este manejo promove a descompactação dos solos e melhora a aeração momentaneamente, por outro promove a fragmentação dos resíduos vegetais e a incorporação destes ao solo, o que aumenta a superfície de solo exposto e, conseqüentemente, aumenta as oscilações de temperatura e umidade do solo, causando a rápida decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo (MOS) (FLORES et al., 2008; RIBON et al., 2014). O SPC também provoca alterações negativas na estrutura do solo, como a ruptura dos agregados, aumentando as perdas dos estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) que estavam protegidos fisicamente no interior dos agregados (COMIN et al., 2018; FERREIRA et al., 2018). Em solos sem cobertura vegetal, pouco estruturados e pulverizados pelo SPC, tem-se o aumento dos processos erosivos, que aliado à utilização massiva de agrotóxicos e adubos solúveis, aumentam os impactos negativos ao meio ambiente e os custos de produção, com conseqüente diminuição da qualidade dos bulbos de cebola produzidos (EPAGRI, 2013; PEIXOTO; AHRENS; SAMAHA, 1997).

O sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) é uma solução aos efeitos negativos gerados pelo SPC, pois nesse se preconiza o revolvimento restrito do solo, uso contínuo de cobertura vegetal viva ou morta e rotações de culturas (FAYAD et al., 2019). Esse sistema de manejo possibilita a diminuição e/ou a eliminação dos processos erosivos; manutenção do equilíbrio dos microrganismos presentes no solo; diminuição da população de plantas espontâneas; aumento da agregação do solo, redução da flutuação de temperatura e umidade na

superfície do solo, favorecendo a agregação do solo, o aumento dos estoques de C, N e outros nutrientes (KONG et al., 2005; LOSS; PEREIRA; TORRES, 2016).

O SPDH tem por estratégia, no campo técnico-científico, promover a saúde da planta e, no campo político-pedagógico, a concepção metodológica dialética. O princípio central de promoção da saúde da planta consiste em técnicas que promovam o conforto da planta pela minimização do estresse com balanço nutricional, disponibilidade de água, temperatura e pH; arranjos espaciais baseados na arquitetura do sistema radicular, no tamanho das plantas e suas necessidades; adição de matéria seca (MS) superior a  $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ; rotações de cultura e adubos verdes evoluindo para sistemas integrados; revolvimento restrito à linha de plantio; manejo de plantas de cobertura e espontâneas com rolo-faca; diminuição e busca por eliminação do uso de adubos solúveis e agrotóxicos; produção de sementes e mudas saudáveis; redução dos custos de produção e ambientais mantendo os índices de produtividade; e ascensão da paisagem rural pela associação de matas e corredores ecológicos às lavouras (MASSON; ARL; WUERGES, 2019).

A cobertura do solo é produzida pelas plantas vivas ou seus resíduos culturais. A quantidade desse material vegetal depende das características botânicas e agrônômicas das espécies utilizadas, assim como das condições ambientais e de manejo. Existem diversas espécies de plantas de cobertura recomendadas para essa finalidade, assim como recomendações de seus consórcios (MAFRA et al., 2019). A utilização de espécies solteiras é a modalidade mais tradicional, e os consórcios, que utilizam duas espécies ou mais, procuram complementar e potencializar os seus efeitos benéficos ao solo e ao ambiente (WILDNER, 2014). O consórcio de plantas com relação C/N diferentes beneficia o solo quando os seus resíduos são depositados em superfície, pois as espécies com relação C/N baixa mineralizam rapidamente e disponibilizam nutrientes para as plantas subsequentes, enquanto as plantas com relação C/N elevadas permanecem no solo por mais tempo protegendo o solo (SECRETI, 2017). Ademais, a utilização de plantas com diferentes taxas de decomposição dos resíduos vegetais, como por exemplo nabo-forageiro + centeio, aumentam os teores de carbono orgânico total (COT) e consórcios de nabo-forageiro + aveia aumentam os teores de carbono orgânico particulado (CO<sub>p</sub>), em relação ao nabo solteiro (CANTON et al., 2015).

A MOS desempenha um papel fundamental na manutenção dos microrganismos, na formação de agregados do solo, no armazenamento de água e no fornecimento de nutrientes às plantas, em especial o N (BRADY; WEIL, 2013). A MOS consiste em vários compartimentos, diferindo em sua susceptibilidade a decomposição microbiana. A matéria orgânica leve em água (MOL) é uma fração da MOS que inclui materiais parcialmente decompostos. O conteúdo desta

fração depende da deposição e adição de restos vegetais ao solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). É um parâmetro sensível ao manejo de solo, porém é uma propriedade transitória e reflete efeitos de curto prazo, sendo também dependente da quantidade e da qualidade do material orgânico depositado sobre o solo, das variações de umidade do solo e temperatura (JANZEN et al., 1992).

A fração particulada da matéria orgânica, também denominada de CO<sub>p</sub>, inclui matéria orgânica viva da biomassa, pequenos fragmentos de detritos vegetais, entre outras substâncias não húmicas. Este compartimento fornece a maior parte de alimentos facilmente acessíveis para os microrganismos do solo, e grande parte do N prontamente mineralizável. Pode ser facilmente aumentada pela adição de resíduos vegetais, assim como facilmente perdida por manejos de solo com mobilização periódica (BRADY; WEIL, 2013). A fração da MOS associada aos minerais, também conhecida como carbono orgânico associado aos minerais (CO<sub>am</sub>) de argila e silte, é protegida quimicamente pelas interações entre os minerais e coloides orgânicos. Apresenta elevada resistência ao ataque microbiano, devido sua associação à superfície de minerais e por estar localizado no interior dos agregados, locais inacessíveis aos microrganismos (SOLLINS; HOMANN; CALDWELL, 1996). A fração do CO<sub>am</sub> é composta por uma estrutura complexa, com alta reatividade e elevado peso molecular. Sua ciclagem é mais lenta, permanecendo muito tempo no solo, atua na estabilização de agregados do solo e como reservatório de nutrientes (BRADY; WEIL, 2013; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

As frações da MOS são importantes armazenadores de C e N no solo e estão continuamente em renovação, sendo decompostas e renovadas através das novas adições de material orgânico. O SPD preconiza o aporte de material orgânico, protegendo a matéria orgânica e os agregados do solo, decompondo lentamente e gradualmente os resíduos orgânicos, e desta forma aumenta o estoque de C e N no solo e reduz a emissão de gases para a atmosfera (CARVALHO; CERRI; CERRI, 2009; CARDOSO et al., 2010). Porém, o SPC proporciona a perda dos estoques C e outros elementos por utilizar práticas de aração e gradagem, manejos que aceleram o processo de decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos no solo (COSTA et al., 2008; HICKMANN; COSTA, 2012; LOVATO et al., 2004).

Por isso a importância de desenvolver o presente trabalho e avaliar os teores e estoques de carbono e nitrogênio em diferentes sistemas de manejo com plantas de cobertura solteiras e consorciadas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. CEBOLA E SISTEMAS DE CULTIVO

Desde tempos antigos a cebola vem sendo utilizada na alimentação humana e, atualmente, é apontada como a espécie mais cultivada dentro do gênero *Allium*. Registros de antigas civilizações revelam a importância do bulbo, como no caso dos egípcios que acreditavam que sua forma esférica proporciona a eternidade. Dentro das pirâmides foram encontradas pinturas que retratam a hortaliça, além de artefatos em ouro na forma de cebola e sua utilização na mumificação de sacerdotes e faraós. É um dos alimentos mais antigos e difundidos no mundo, um condimento milenar com propriedades nutracêuticas e nutricionais valiosas. Acredita-se que sua origem seja na Ásia, compreendendo o noroeste da Índia, Baluchistão e Afeganistão (MEHTA, 2017; GONÇALVES; MENEZES JUNIOR; VIEIRA NETO, 2016).

A estimativa da produção mundial de cebola no ano de 2017 foi de 97,86 milhões de toneladas, sendo os maiores produtores a China, Índia e Estados Unidos. Neste mesmo ano o Brasil produziu 1,62 milhões de toneladas, cerca de 1,65% do volume total mundial (FAOSTAT, 2019).

A cebola pertence à família das liliáceas e está entre as hortaliças produzidas e consumidas em maior volume no Brasil. Segundo dados do IBGE (2017a), o cultivo brasileiro de cebola ocorreu em 55.266 hectares e apresentou rendimento médio de 28.296 kg ha<sup>-1</sup>. A maior parte da produção nacional se concentra na região sul, responsável por 45,9%, abrangendo uma área de 32.126 hectares e com produção de 717.482 kg. Dentre os estados, Santa Catarina é o que mais produz cebola, com produção de 432.383 kg, em uma área de 19.346 hectares e com rendimento de 22.350 kg ha<sup>-1</sup>, o que representa 27,7% do total da produção nacional.

Dentre os municípios produtores de cebola em SC, destaca-se Ituporanga, que está situado na mesorregião do Alto Vale do Itajaí e participa com 23% da produção de cebola do estado, utilizando uma área de 3.276,95 hectares, tornando-se o município com a maior produção. É também conhecido como a Capital Nacional da Cebola. A cebolicultura está presente em 36% dos estabelecimentos agropecuários do município de Ituporanga, sendo responsável por gerar empregos e renda para as famílias na região (IBGE, 2017b).

O destaque da produção de cebola em SC e na região de Ituporanga foi alcançado através de investimentos públicos, com políticas direcionadas para o setor agrícola; da

assistência técnica que, juntamente com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), desenvolveram variedades adaptadas à região e difundiram técnicas de maiores rendimentos na lavoura; do mercado consolidado e acessível aos produtores; e através do trabalho desenvolvido pela agricultura familiar que desempenha um papel fundamental na manutenção das atividades agrícolas da região, empregando a mão-de-obra e os investimentos necessários para a produção de cebola (EPAGRI, 2013).

Para o cultivo da cebola, tipicamente utiliza-se o sistema de preparo convencional (SPC) do solo, o qual faz uma lavração do solo em uma profundidade de até 20 cm, a partir de maquinário e implementos agrícolas, tais como arado de discos, subsolador, grade destorroadora e enxada rotativa. Este manejo possibilita a descompactação do solo e momentaneamente, melhora a aeração, porém também ocorre a fragmentação dos resíduos vegetais e a sua incorporação ao solo, o que aumenta a superfície de solo exposta e, conseqüentemente, acelera a atividade microbiana do solo. Isto irá favorecer a uma rápida decomposição e mineralização da MOS (COSTA; GOEDERT; SOUSA, 2006; PAVEI, 2005). Ademais, no SPC também ocorrem alterações negativas na estrutura do solo, pois o periódico revolvimento do solo ocasiona a ruptura dos agregados do solo, aumentando ainda mais as perdas de C e N que estavam protegidos fisicamente no interior dos agregados (COMIN et al., 2018; FERREIRA et al., 2018). E em solos pouco estruturados e pulverizados pelo SPC observa-se o selamento superficial do solo durante chuvas e irrigações, o que aumenta os processos erosivos (EPAGRI, 2013).

No SPC, a falta de cobertura vegetal na superfície do solo expõe o mesmo à erosão, competição por plantas espontâneas e exposição aos fatores climáticos. Estes fatores, aliados à utilização de agrotóxicos e adubos altamente solúveis, vêm causando impactos negativos no meio ambiente, aumentando os custos de produção, reduzindo o tempo de armazenagem e a qualidade dos bulbos, além de impactar negativamente na qualidade do solo e da água na região de cultivo (EPAGRI, 2013; PEIXOTO; AHRENS; SAMAHA, 1997).

Em estudo realizado por Loss et al. (2015), em que os autores objetivaram avaliar os teores de COT e os índices de agregação do solo comparando diferentes manejos de solo na cultura da cebola, verificou-se que as práticas de manejo utilizadas no SPC causam efeitos negativos, através de perturbações na estrutura dos agregados e, conseqüente, exposição da matéria orgânica protegida nestes, resultando na redução dos teores de COT na camada superficial e na perda da fertilidade do solo. Ferreira et al. (2018) avaliaram o efeito do uso de plantas de cobertura em sucessão e rotação de culturas, sob diferentes sistemas de manejo de solo no cultivo da cebola e associaram a sucessão de milho e cebola em SPC aos menores

rendimentos de bulbos, menores índices de COT e NT, quando comparado com tratamentos que utilizaram rotação com plantas de cobertura de inverno e verão cultivadas no SPD.

Para contornar os efeitos negativos ocasionados ao solo durante o cultivo da cebola no SPC, surge o sistema de plantio direto (SPD), que neste caso é conhecido como SPD de hortaliças (SPDH). Em 1998, na Estação Experimental da EPAGRI de Caçador, Santa Catarina, foram gerados os primeiros resultados do SPDH, em resposta ao cultivo convencional de hortaliças, juntamente com a busca pelos agricultores por mudanças e melhorias para o sistema de cultivo de hortaliças do município (MASSON; ARL; WUERGES, 2019). Este sistema perfaz uma agricultura mais sustentável economicamente, ambientalmente e socialmente. O SPDH é baseado no preparo restrito à linha de plantio e no uso contínuo de cobertura do solo, viva ou morta (resíduos vegetais). Estas práticas aplicadas ao solo anteriormente manejado no SPC, conseguem recuperar e melhorar gradativamente os atributos químicos (COSTA et al., 2011; FAVARATO et al., 2015), físicos (ROSCOE; MERCANTE; SALTON, 2006; TIVET et al., 2013) e biológicos (SILVA et al., 2014; VARGAS; SCHOLLES, 2000) do solo.

No SPDH tem-se a diminuição e/ou eliminação dos processos erosivos; a manutenção do equilíbrio dos microrganismos do solo; a diminuição da população de plantas espontâneas e o aumento da agregação do solo. Analisando o conteúdo de C e substâncias húmicas em agregados de solos cultivados com SPC e SPDH, Santos et al. (2018) encontraram os maiores teores de C em SPDH, os maiores índices de agregação do solo e após cinco anos deste manejo, aumento em profundidade nos teores de COT. Segundo os autores, o SPDH favorece a conservação do solo acumulando resíduos de culturas na superfície do solo, elevando os níveis de matéria orgânica, propiciando a atividade biológica, favorecendo a humificação e a produção de agentes cimentantes pelas plantas de cobertura, que formam agregados estáveis e que protegem a matéria orgânica em seu interior.

O SPC vem sendo relatado como um fator de declínio da estabilidade dos agregados do solo e dos estoques de COT e NT, enquanto o SPDH se torna responsável por aumentar os resíduos vegetais na superfície do solo, conseqüentemente, aumenta os teores de matéria orgânica, melhorando a estrutura do solo, aumentando os estoques de COT e NT, e propiciando maiores rendimentos dos cultivos. O SPD reduz a flutuação de temperatura e umidade na superfície do solo, favorecendo a agregação do solo, o acúmulo de C, N e outros nutrientes, além de aumentar a quantidade e diversidade de microrganismos benéficos ao solo (KONG et al., 2005; LOSS; PEREIRA; TORRES, 2016).

Em regiões produtoras de cebola no Canadá, como a província de Ontário, a cebola é cultivada em solos orgânicos propensos à subsidência e erosão eólica. Em geral, o cultivo ocorre

em sistema convencional de preparo do solo, intensificando a degradação dos solos. A utilização do sistema de plantio direto com o preparo do solo restrito à linha de plantio reduz a subsidência do solo, assim como a erosão. Sobretudo a produção total comercializável é maior em áreas que se utiliza o plantio direto quando comparado com o sistema convencional, evidenciando o manejo como um meio de preservar o solo e manter os rendimentos produtivos (SWANTON et al., 2004).

O manejo do solo está diretamente relacionado com a produtividade de cebola, conforme relatado por Souza et al. (2012), que avaliaram a interferência do cultivo e da quantidade de MS produzida pelas plantas de cobertura sobre a produção de cebola e os atributos químicos do solo, na mesma área experimental do presente trabalho. Neste trabalho, os tratamentos utilizados foram vegetação espontâneas; aveia-preta; centeio; nabo-forageiro; nabo-forageiro + centeio; nabo-forageiro + aveia preta. Ao fim da coleta de material vegetal, a área de vegetação espontânea apresentou a menor produção de MS, e o centeio e o nabo-forageiro atingiram a maior produtividade. O resultado do centeio foi atribuído à sua rusticidade, tolerância a condições adversas como estresse hídrico, à sua capacidade de perfilhamento e ao seu sistema radicular profundo, que aumenta a área explorada no solo, refletindo em maiores produtividades de fitomassa. Já o nabo-forageiro se destacou devido ao seu rápido crescimento inicial e abundante ramificação aérea. A menor produção de MS da área de vegetação espontânea se deve à baixa expansão da área foliar dessas plantas, ainda que seu crescimento seja acelerado, passam da fase vegetativa para a reprodutiva muito rapidamente, e conseqüente geram uma menor cobertura do solo. Ainda segundo os autores, a maior produção de cebola no ano de 2010 esteve associada às áreas com resíduo de plantas de cobertura de inverno, devido à maior produção de MS, à maior proteção do solo contra erosão e pela ciclagem de nutrientes gerado pelas plantas de cobertura. A produção de cebola em 2011 foi maior que do ano anterior, sendo o resultado atribuído aos efeitos das plantas de cobertura em SPDH e sua contribuição na manutenção dos teores de nutrientes no solo. De acordo com os autores, o cultivo e a deposição de resíduos das plantas de cobertura em SPD contribui para o aumento e a manutenção de produção total de cebola e ao longo dos anos.

## 2.2 PLANTAS DE COBERTURA E SUA RELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS EDÁFICOS

As plantas de cobertura e de adubação verde são utilizadas com frequência em sistemas de sucessão, consórcio e rotação de culturas. A adubação verde é uma prática utilizada há mais de 2000 anos, com os primeiros registros na China, Grécia e Itália. No Brasil, a sua utilização

é conhecida há quase um século, sendo o seu uso crescentemente adotado em diversos sistemas de produção (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

Existem diversas espécies de plantas adaptadas às condições climáticas brasileiras que podem ser utilizadas no SPDH. De forma geral, as leguminosas e as gramíneas são as mais utilizadas. As leguminosas são plantas mais tenras, apresentam relação C/N em torno de 20 na fitomassa, seu processo de decomposição é mais rápido quando comparado às gramíneas, com favorecimento da mineralização e liberação de nutrientes reciclados e do N fixado pelas bactérias simbióticas. As gramíneas apresentam relação C/N superior a 30, dispõem de maior teor de lignina, oferecem alto rendimento de fitomassa, são coberturas mais estáveis e se decompõem mais lentamente (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

A vegetação é a principal responsável pela deposição de materiais orgânicos no solo, através de restos culturais, queda de material morto, serapilheira e rizodeposição. Os materiais vegetais são constituídos por celulose, hemicelulose, lignina, proteínas e substâncias solúveis, além de outros constituintes como ceras, graxas, pigmentos e outros compostos em menores quantidades (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Esses componentes sofrem alterações diferenciadas no solo. A celulose é degradada rapidamente, diminuindo suas porcentagens em relação ao material original, enquanto a lignina aumenta pela sua recalcitrância. A lignina é o biopolímero mais abundante na biosfera, sendo responsável por 25% da fitomassa seca produzida anualmente. Os fatores edáficos como pH, aeração, umidade, temperatura e relação C/N do resíduo vegetal são importantes na decomposição da lignina e interferem na atividade e competição dos microrganismos decompositores. No solo, a lignina e seus derivados são importantes componentes precursores das substâncias húmicas, através de radicais fenólicos que se condensam quando a lignina sofre decomposição (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A decomposição dos resíduos vegetais é um complexo processo estabelecido pela atividade da biota, regulada por fatores ambientais e edáficos. A decomposição é favorecida quando os resíduos apresentam baixo teor de lignina e alto em materiais solúveis; quando as partículas são compostas de tamanho reduzido com baixa relação C/N; em condições físicas e químicas do solo que maximizem a atividade biológica, com umidade próxima à capacidade de campo do solo e aeração adequada; e pela ausência de compostos tóxicos no solo que possam inibir a atividade microbiana. Materiais vegetais com baixa relação C/N (15-25) apresentam rápida mineralização e fornecem grandes quantidades de nutrientes para as culturas subsequentes, enquanto materiais com elevada relação C/N (40-50) sofrem decomposição mais lenta, sendo capazes de formar uma cobertura morta estável que protege o solo contra a erosão (ESPINDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 2005; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O manejo da cobertura do solo pode ser realizado com plantas solteiras ou em consórcio. Quando utilizado plantas solteiras com alta relação C/N a taxa de mineralização e liberação de nutrientes é lenta, ocorrendo imobilização de elementos, podendo gerar déficit para as plantas cultivadas. Porém, ao utilizar plantas com baixa relação C/N a mineralização ocorre em uma taxa mais elevada, o que pode levar à perda de nutrientes por lixiviação. A utilização de plantas consorciadas com diferentes relações C/N proporciona um equilíbrio na taxa de mineralização do material vegetal ao longo do ciclo das plantas de cultivo (MARTINS et al., 2014; SOUZA, 2017).

As plantas de cobertura proporcionam efeitos múltiplos aos solos. A proteção física criada pela camada de cobertura superficial impede que os agregados do solo sejam destruídos pelos impactos das gotas de chuva, preservando a sua estrutura, impedindo os processos de escoamento superficial e erosão. As raízes dessas plantas atuam na estruturação dos agregados do solo, favorecendo a infiltração e a retenção de água, diminuindo a lixiviação de nutrientes (HOORMAN, 2009; MONEGAT, 1991).

O uso de plantas de cobertura aumenta a eficiência da ciclagem dos nutrientes no solo. A fixação biológica de N, por exemplo, é uma forma de conversão de N atmosférico em proteínas, processo realizado por microrganismos fixadores de N simbióticos. A fixação biológica de N acarreta em menor custo de produção aos agricultores, diminuindo problemas ambientais e atua na manutenção da fertilidade do solo (MERCANTE et al., 2014).

As plantas espontâneas ocorrem de forma natural como um mecanismo de proteção e recuperação do solo, porém a presença dessas plantas pode interferir nas plantas cultivadas através da competição de água, luz e nutrientes. As plantas de cobertura do SPD atuam no controle das espontâneas, gerando uma barreira física que impede a germinação de suas sementes, produzem substâncias com propriedades alelopáticas que interferem no desenvolvimento dessas plantas, além de serem boas competidoras por água e nutrientes (MONQUERO; HIRATA, 2014). A utilização de plantas de cobertura, com alta produção de biomassa, atua na supressão das plantas espontâneas e na produtividade dos cultivos subsequentes, além de gerar efeitos benéficos na qualidade do solo. Rendimentos elevados de biomassa das plantas de cobertura são obtidos em consórcios de centeio, ervilhaca e nabo-forrageiro (ALTIERI et al., 2011).

### 2.3 SISTEMAS DE MANEJO E ESTOQUES DE C E N

As ações antrópicas são responsáveis por crescentes emissões de GEEs, resultando em mudanças climáticas e uma série de impactos ecológicos. No ano de 2012 a agricultura foi responsável por 10% da emissão de gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e o N<sub>2</sub>O, e o aumento da sua concentração na atmosfera causa desequilíbrio energético, que por sua vez altera a temperatura do planeta. A redução da emissão destes gases é possível através de práticas agrícolas mais eficientes, manejos de solo conservacionistas e com a redução da aplicação de fertilizantes sintéticos à base de N (EUROSTAT, 2018; CARVALHO; CERRI; CERRI, 2009).

Em uma profundidade de até 1 m, o solo é capaz de reter cerca de três vezes mais C em relação à vegetação, comporta duas vezes mais que a atmosfera e por isso é considerado um reservatório do CO<sub>2</sub> atmosférico. O SPC proporciona a perda de C e outros elementos por utilizar práticas de aração e gradagem, manejos que aceleram o processo de decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos no solo, resultando na redução do C estocado e no aumento da emissão de gases para a atmosfera. Em contrapartida, o SPD fornece um aporte de material orgânico, protegendo a MOS e favorecendo a formação de agregados do solo, decompondo lentamente e gradualmente os resíduos orgânicos e, desta forma, aumenta o estoque de C no solo e reduz a emissão de GEE para a atmosfera (CARVALHO; CERRI; CERRI, 2009; CARDOSO et al., 2010).

O N é um dos elementos mais requerido pelas plantas, e sua principal fonte no solo é a matéria orgânica. As atividades antrópicas e os processos de degradação dos ecossistemas geram perdas de N e, em se tratando de áreas com SPC sem a utilização de cobertura superficial vegetal, o N é facilmente perdido por erosão, uma vez que este elemento se encontra na MOS. Por outro lado, a redução de operações de preparo do solo, como por meio do SPD, aumenta os teores de COT e NT (BORTOLON et al., 2009). Outras perdas podem ocorrer por lixiviação de N e através da emissão de óxidos (N<sub>2</sub>O e NO) para atmosfera mediante a aplicação de fertilizantes nitrogenados e de dejetos manejados inadequadamente. Logo, o SPD mantém a superfície do solo coberta com resíduos vegetais, evitando a perda de N por processos erosivos, e quando inclui leguminosas nas culturas de cobertura também favorecendo a fixação e ciclagem de N atmosférico (RODRIGUES et al., 2017).

Um estudo realizado na estação experimental da Embrapa Cerrados, Distrito Federal, desenvolvido por Sant-anna et al. (2016), investigou o impacto de diferentes sistemas de uso da terra em relação aos teores de estoques de C e N, o acúmulo de carbono orgânico no solo e as alterações que ocorreram no solo com a conversão do Cerrado Nativo. Foram avaliados o cultivo contínuo de pastagens, cultivo contínuo e sistemas integrados de criação de animais (ILP) sob SPD e SPC. Os autores relataram a compactação superficial do solo em áreas em que

foram utilizados maquinários para aração e gradagem, aumento considerável da densidade do solo em uma profundidade de até 30 cm. Em todos os tratamentos, as concentrações de C e N diminuíram no perfil do solo, além de declínio da massa das raízes em profundidade. As principais diferenças nos estoques de N foram encontradas na comparação do manejo SPD e SPC, em que os estoques de N foram maiores em SPD, havendo uma tendência para os mesmos resultados nos estoques de C. Para os autores, o SPD pode aumentar o C em solos onde havia SPC, mas raramente ultrapassam os estoques de áreas nativas. A presença de uma leguminosa nas pastagens tem efeito positivo no acúmulo e conservação de C, e o principal benefício da intensificação dos sistemas integrados de pastagem no Cerrado, com uso de fertilizantes e forrageiras melhoradas, não ocorre pela remoção de CO<sub>2</sub> atmosférico, mas sim pela redução de emissão de GEEs.

A interferência da utilização de diferentes plantas de cobertura no SPD em comparação ao SPC sobre os atributos químicos do solo foi avaliada por Santos et al. (2017). Segundo os autores, o SPC apresentou teores de COT inferiores ao SPD devido ao sistema de manejo intensivo que favorece a mineralização da MOS. As condições edáficas no cultivo de cebola foram melhoradas quando utilizado plantas de cobertura consorciadas de diferentes espécies, como o consórcio de centeio com nabo-forrageiro e aveia com nabo-forrageiro. De acordo com Loss et al. (2017), a utilização de plantas de cobertura no SPDH melhora os atributos físicos do solo em comparação ao SPC, e com relação aos diferentes sistemas de cultivo, a utilização de nabo-forrageiro solteiro e o consórcio de plantas de diferentes famílias botânicas, como o nabo-forrageiro com centeio ou aveia, proporciona melhorias nos atributos da estrutura do solo. Segundo Ribeiro et al. (2011), o SPD que utiliza plantas de cobertura com diversidade de espécies, como nos consórcios, é um manejo eficiente em explorar o potencial do solo e favorecer o estoque de C e N nas camadas superficiais, que com o tempo atinge camadas mais profundas.

### **2.3.1 Influência dos sistemas de manejo no C e N nas frações da MOS**

A MOS, como principal fonte de nutrientes do solo, é um atributo fundamental na determinação da qualidade do solo, indicador de diversos processos como a atividade biológica, estrutura do solo e armazenamento de nutrientes. A MOS é composta por elementos orgânicos decompostos e microrganismos ainda vivos. Este material interage com o manejo do solo pela adição de fertilizantes e adubos orgânicos, e pelas perdas decorrentes da decomposição microbiana, mineralização e por processos erosivos (GREGORICH et al., 1994).

A matéria orgânica leve em água (MOL) é composta de resíduos orgânico parcialmente decompostos e apresenta elevadas concentrações de C e N orgânico. Utilizado como um importante indicador do conteúdo de MOS, atua na dinâmica dos nutrientes do solo e é sensivelmente influenciada pelos manejos de cultivos, pela quantidade de entrada de resíduos, pela umidade e temperatura do solo. A MOL está associada à respiração do solo e como fonte de energia para os microrganismos do solo (JANZEN et al., 1992). Os microrganismos que consomem a MOL são imprescindíveis na ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo e manutenção das plantas (KANAZAWA; FILIPT, 1986).

A MOS pode ser fracionada com a utilização de agentes químicos e por meios físicos. Com essa estratificação é possível analisar os teores de carbono orgânico/matéria orgânica associada a fração areia ( $MOP \geq 53\mu\text{m}$ ) e os teores de carbono orgânico/matéria orgânica associado aos minerais de argila e silte ( $MOM < 53\mu\text{m}$ ). A estimativa dessas frações é importante para o entendimento da dinâmica da MOS e sua relação com os sistemas de manejo do solo (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992).

A fração MOP é constituída de matéria orgânica viva da biomassa, pequenos fragmentos de detritos, entre outras substancias não húmicas. É responsável por efeitos benéficos na estabilidade de agregados, fornecer alimentos de fácil acesso aos microrganismos e grande parte do N prontamente mineralizável. Este compartimento é alterado facilmente pelo manejo, aumentando com o aporte de resíduos vegetais ou reduzindo com preparos de solo intensificados (BRADY; WEIL, 2013). E a fração MOM é constituída de substâncias humificadas, formando estruturas complexas, de alta reatividade e com elevado peso molecular. Apresenta elevada resistência ao ataque microbiano, devido sua associação a superfícies de mineiras, por estar localizada no interior de agregados e por estar protegida quimicamente pelas interações entre os minerais e coloides orgânicos. Sua ciclagem é mais lenta, permanecendo muito tempo no solo, atua na estabilização de agregados e como reservatório de nutrientes (BRADY; WEIL, 2013; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; SOLLINS; HOMANN; CALDWELL, 1996). O enriquecimento da fração MOM está associada com a decomposição da fração MOP (CAMBARDELLA; ELLIOTT, 1992).

O uso frequente de grade e arado de disco causam mudanças no C orgânico, principalmente na fração particulada ( $MOP \geq 53\mu\text{m}$ ) de acordo com Figueiredo, Resck e Carneiro (2010). Além das alterações causadas pelo manejo, os teores de MOP são influenciados pelas propriedades edáficas, pela época do ano e suas condições de precipitação e temperatura. Sendo a MOP uma fração lábil da MOS, presente principalmente nas camadas superficiais do solo, a matéria orgânica pode ser facilmente decomposta por microrganismos,

diminuindo as reservas de C no solo e aumentando a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. No entanto, solos com maior aporte de biomassa apresentam maiores taxas de sequestro de C. A fração MOM é a porção recalcitrante da MOS, participa do acúmulo de C em camadas subsuperficiais do solo, apresenta ciclo de formação e decomposição mais lenta, sendo menos afetada pelo manejo de solo (BATISTA et al., 2013; BAYER et al., 2004; FIGUEIREDO; RESCK; CARNEIRO, 2010).

A fração da MOS lábil, MOP, é a mais sensível para aferir mudanças e as dinâmicas na composição de matéria orgânica e C nos solos, pois a sua proporção pode diminuir facilmente, assim como se reestabelecer de forma rápida. Já a MOM é uma fração mais estável e importante armazenador de C (BLAIR; LEFROY; LISLE, 1995). Segundo Loss et al. (2014b), áreas em que não ocorrem interferências antrópicas, as frações MOM e MOP apresentam uma interação de equilíbrio. Por outro lado, áreas de mata que são convertidas em áreas agrícolas expressam um declínio dos teores de MOS por conta de manejos como aração e gradagem e cultivos de plantas anuais que propiciam a decomposição e mineralização do material orgânico, causando um desequilíbrio entre as frações granulométricas, a perda de carbono orgânico e desfavorecendo a formação de substâncias húmicas. Contudo, o SPD promove um equilíbrio entre as frações granulométricas por conta do revolvimento restrito do solo, aporte contínuo de palhada, intensa ciclagem das raízes, proteção do solo contra intempéries e favorecimento da micro e mesofauna, culminando com aumento e manutenção dos teores de MOS, formação de substâncias húmicas, elevados aportes de C e ciclagem de nutrientes (GUARESCHI et al., 2018; LOSS et al., 2014a; SILVA et al., 2017).

As frações da MOS são alteradas pelos diferentes sistemas de cultivo e se tratando de SPD, a quantidade de material vegetal depositado sobre a superfície do solo influencia os incrementos dessas frações. De acordo com Carmo et al. (2012) e Faccin et al. (2016), a utilização de consórcio no SPD aumenta os teores de COP na camada superficial do solo devido ao maior aporte de resíduo sobre o solo e ao aumento nos teores de MOS. Por outro lado, o COam, por ser uma fração mais estável da MOS, não é alterada facilmente pelos diferentes sistemas de cultivo adotado.

### **3 HIPÓTESES**

O sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH), por depositar plantas de cobertura para a produção de matéria seca antecedendo o cultivo da cebola, aumenta os estoques de C e N do solo em comparação ao sistema de preparo convencional em que as plantas de cobertura são incorporadas ao solo.

O consórcio de plantas de cobertura é mais eficiente em aumentar os estoques de C e N se comparado com o uso de plantas de cobertura solteiras no SPDH, pois o cultivo simultâneo de diferentes espécies de plantas de cobertura produz uma palhada com relação C/N intermediária, as raízes exploram diferentes extratos do solo e a ciclagem de nutrientes é mais eficiente.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 GERAL**

Avaliar a influência do SPDH e SPC sobre os estoques de carbono e nitrogênio e as frações da matéria orgânica do solo em experimento de longa duração com cultivo de cebola.

### **4.2 ESPECÍFICOS**

I- Avaliar o efeito do SPDH, com plantas de cobertura solteiras e consorciadas, e do SPC com milho, nos estoques de carbono e nitrogênio do solo;

II- Determinar o efeito do SPDH com plantas de cobertura solteiras e consorciadas e SPC com milho nos teores de C e N da matéria orgânica leve e das frações granulométricas da matéria orgânica.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 LOCALIZAÇÃO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi implantado no ano de 2009 na Estação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), localizado no município de Ituporanga, região do Alto Vale do Itajaí, SC (Latitude 27° 24' 52" S, Longitude 49° 36' 9" W e altitude de 475 m). Segundo a classificação de Köeppen, o clima da região é subtropical mesotérmico úmido (Cfa), com temperatura média anual de 18°C, precipitação anual média de 1.400 mm, com verões quentes e pouca frequência de geadas. O solo foi classificado como Cambissolo Húmico Distrófico (EMBRAPA, 2013). A área utilizada para o experimento apresentava um histórico de vinte anos de cultivo de cebola em SPC (aração e gradagem) até o ano de 1996. A partir desse ano foi implantado o sistema de cultivo mínimo de cebola com rotações de culturas de plantas de cobertura aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb), mucuna preta (*Mucuna aterrima* Piper e Tracy), milheto (*Pennisetum glaucum* L.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.), um manejo que permaneceu de 1996 até 2009. A partir de então, instalou-se o experimento com SPDH de cebola. A vegetação espontânea foi dessecada em abril de 2009, no momento da instalação do experimento, usando herbicida e, a partir de então, não foram mais utilizados agrotóxicos e fertilizantes minerais. Na instalação do experimento, na camada de 0-10 cm, o solo apresentava: 380 g kg<sup>-1</sup> de argila, 40 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica, pH em água 6,2; 26,6 mg dm<sup>-3</sup> de P disponível e 145,2 mg dm<sup>-3</sup> de K trocável (extraídos por Mehlich-1); Al trocável 0,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, Ca trocável 7,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e Mg trocável 3,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); Capacidade de Troca de Cátions (CTC) 14,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e saturação da CTC<sub>pH7,0</sub> por bases (V) 76%.

Os tratamentos implantados foram: testemunha com vegetação espontânea (VE); aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) com 120 kg ha<sup>-1</sup> de semente (AV); centeio (*Secale cereale* L.) com 120 kg ha<sup>-1</sup> de semente (CE); nabo-forageiro (*Raphanus sativus* L.) com 20 kg ha<sup>-1</sup> de semente (NB); nabo-forageiro com 10 kg ha<sup>-1</sup> de semente + centeio com 60 kg ha<sup>-1</sup> de semente (CE+NB) e nabo-forageiro com 10 kg ha<sup>-1</sup> de semente + aveia-preta com 60 kg ha<sup>-1</sup> de semente (AV+NB). No mês de abril de cada ano, as espécies de inverno foram semeadas. No entanto, em abril de 2010, a aveia-preta dos tratamentos AV e AV+NB foi substituída pela cevada (*Hordeum vulgare* L.) e, em abril de 2011, a cevada foi substituída pela aveia-preta novamente, por conta da dificuldade em adquirir sementes de cevada. As espécies de inverno foram semeadas a lanço sobre a superfície do solo e, em seguida, uma máquina semeadora de cereais foi passada duas vezes na área para promover uma leve incorporação das sementes no solo. Não

foram realizadas adubações, irrigações ou tratamentos culturais durante o ciclo das plantas de cobertura. As quantidades de sementes por hectare foram calculadas com base nos valores mais elevados da recomendação de Monegat (1991) + 50% para garantir a germinação das sementes e a formação de maior massa seca durante o ciclo da cebola.

Também foram avaliados outros dois tratamentos, ambos adjacentes ao experimento, sendo a área original de cultivo de cebola mantida sob SPC por 20 anos até 1996. Somando-se os anos subsequentes, de 1996 a 2019, época de coleta das amostras de solo, foram totalizados 43 anos em SPC. O outro tratamento adicional, uma floresta secundária com  $\pm 36$  anos, representa uma condição de solo sem interferência antrópica (área de referência). No SPC, a partir do ano de 2007, a cebola foi cultivada em sucessão com milho. O milho foi acamado na floração com rolo-faca e, após 30-60 dias, realizada aração seguida de gradagem para implantar a cultura da cebola. A adubação foi realizada conforme a CQFS-SC/RS (2016).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Cada unidade experimental possuía 5 x 5 m, totalizando 25 m<sup>2</sup>. Em julho de todos os anos, desde a implantação do experimento, todas as espécies de inverno foram acamadas usando um rolo-faca. Em seguida, foram aplicados na área 96 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, na forma de fosfato natural de Gafsa, 175 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, 125 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e 100 kg de N ha<sup>-1</sup> na forma de dejetos de aves, metade no momento do plantio das mudas e o restante 45 dias após. A partir da safra de 2011 não foi aplicado fosfato natural, pois os teores foram interpretados como muito altos (CQFS-RS/SC, 2016). A produção das mudas de cebola foi realizada sob o preparo convencional, em canteiros, com sementes da cultivar Empasc 352 - Bola Precoce, e o transplante das mudas foi realizado de forma manual após a abertura de sulcos utilizando uma máquina adaptada de plantio direto de cebola. O espaçamento usado foi de 0,40 m nas entre linhas e 0,10 m entre plantas, com 10 linhas de cebola por parcela. Foram realizadas capinas em todos os tratamentos sob SPDH aos 40 e 90 dias após o plantio das mudas (DAP) de cebola para diminuir o estande de plantas espontâneas, em SPC o controle foi realizado com herbicidas. Após a colheita da cebola no mês de dezembro foi realizada a semeadura de mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Piper e Tracy) nos tratamentos sob SPDH com 120 kg ha<sup>-1</sup>, exceto no primeiro ano de experimento. No mês de abril a mucuna foi acamada e em sequência realizou-se a semeadura das plantas de cobertura de inverno. Esses procedimentos foram repetidos todos os anos.

A produção de MS da área experimental é apresentada na Tabela 1. Os tratamentos com plantas de cobertura apresentaram a maior produção de MS. O tratamento SPDH com VE ocorreu a predominância das plantas: língua-de-vaca (*Rumex obtusifolius*), caruru (*Amaranthus lividus*), tiririca (*Cyperus* spp.), azedinha (*Oxalis corniculada*), picão-preto (*Bidens pilosa*) e

picão-branco (*Galinsoga parviflora*) (COMIN et al., 2018; SOUZA et al., 2018). Essas plantas apresentam crescimento inicial lento e ao final de seu ciclo apresentam baixa produção de fitomassa quando comparadas com as plantas de cobertura implantadas, além de baixa capacidade de ciclagem de nutrientes (MARTINS et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016).

**Tabela 1.** Médias de produção de matéria seca ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) das plantas de cobertura de inverno nas safras 2017/2018 e 2018/2019 em sistema de plantio direto e preparo convencional de cebola.

Matéria seca	Tratamentos						
	VE	CE	AV	NB	AV+NB	CE+NB	SPC
				<i>2017/2018</i>			
<b>Mg ha<sup>-1</sup></b>	---	4,5	4,6	4,0	4,2	4,7	---*
				<i>2018/2019</i>			
<b>Mg ha<sup>-1</sup></b>	1,5	4,2	4,5	4,1	4,5	4,6	---*

VE - vegetação espontâneas, CE - centeio, AV - aveia, NB nabo-forageiro, AV+NB - aveia + nabo-forageiro, CE+NB - centeio + nabo-forageiro, SPC - sistema de preparo convencional. \*De acordo com Loss et al. (2015) a produção de matéria seca do milho em SPC, cultivada durante o verão, atingiu  $12 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

A produção média de MS da mucuna de 7 anos cultivada durante o verão apresentou média de  $4,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  (dados não publicados).

O SPDH preconiza a adição superior a 10 toneladas de MS  $\text{ha}^{-1}$  por ano (MASSON; ARL; WUERGES, 2019), e neste experimento os menores rendimentos de MS obtidos se devem ao acamamento precoce das espécies de cobertura que antecede a plena floração, sendo recomendado para o plantio das mudas da cultivar Empasc 352 – Bola Precoce, que ocorre na segunda quinzena de julho de forma predominante na região onde ocorre o estudo (KURTZ et al., 2016).

### 5.3 COLETA DE AMOSTRAS E ANÁLISES

#### 5.3.1 Coleta e preparo das amostras

As coletas das amostras de solo ocorreram no mês de abril de 2019 com a abertura de trincheiras de 40 x 40 x 40 cm nas entrelinhas de cada parcela utilizando-se uma pá de corte. Em seguida, foram coletadas amostras deformadas nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-30 cm. O material coletado foi armazenado em sacolas plásticas devidamente identificados e encaminhado para o Laboratório de Manejo e Classificação de Solos da Universidade Federal de Santa Catarina. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA).

Também foram coletadas amostras indeformadas de solo, nas mesmas profundidades, para determinação da densidade do solo (Ds), utilizando-se o método do anel volumétrico

(EMBRAPA, 2011). O anel possui volume de 50 cm<sup>3</sup>, sendo o solo dos anéis pesado após a secagem a 110 °C por 72 horas. Em seguida, a Ds foi obtida dividindo-se a massa seca pelo volume do anel, conforme a metodologia de Embrapa (2011). Os valores de densidade obtidos neste experimento são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Densidade do solo (Mg m<sup>3</sup>) sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola.

Camadas	Tratamentos							
	MATA	VE	CE	AV	NB	AV+NB	CE+NB	SPC
0-5 cm	0,72	1,14	1,13	1,18	1,13	1,20	1,12	1,25
5-10 cm	0,72	1,35	1,34	1,32	1,34	1,25	1,29	1,28
10-30 cm	0,77	1,41	1,39	1,35	1,39	1,38	1,38	1,32

MATA - floresta secundária, VE - vegetação espontâneas, CE - centeio, AV - aveia, NB - nabo-forrageiro, AV+NB - aveia + nabo-forrageiro, CE+NB - centeio + nabo-forrageiro, SPC - sistema de preparo convencional.

### 5.3.2 Determinação dos teores e cálculo dos estoques de C e N

Para determinação do COT e NT, foi utilizado a TFSA e analisada em auto-analisador a 900°C (CHN – 600 Carlo Erba EA – 1110, Itália), no Centro de Energia Nuclear e Agricultura (CENA), na Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba, SP.

Os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total foram calculados utilizando o método de massa equivalente (SISTI et al., 2004), conforme equação abaixo:

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

onde:

$C_S$  é o estoque total em Mg C ha<sup>-1</sup>,

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$  é a soma do carbono da primeira (superfície) a última camada no perfil do solo no tratamento avaliado (Mg ha<sup>-1</sup>),

$\sum_{i=1}^n M_{Ti}$  é a soma da massa do solo da primeira a última camada no perfil do solo no tratamento avaliado (Mg ha<sup>-1</sup>),

$$\sum_{i=1}^n M_{Si}$$

é a soma da massa do solo da primeira a última camada no perfil do solo no tratamento referência ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ),

$$M_{Tn}$$

é a massa do solo na última camada do perfil do solo no tratamento avaliado ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ),

$$C_{Tn}$$

é a concentração de carbono na última camada do perfil do tratamento avaliado ( $\text{Mg C Mg}^{-1}$  de solo).

O tratamento referência foi a mata (floresta secundária), que apresentou os menores valores de Ds (Tabela 2), conseqüentemente, as menores massas equivalentes por camada.

### 5.3.3 Análise de MOL

Foram pesados 50 g de TFSA e acondicionados em becker de 250 mL, adicionando-se 100 mL de solução NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , deixando-se em repouso por 12 horas. Decorrido o tempo, a suspensão foi agitada com bastão de vidro e todo o material passado por peneira de 0,25 mm, eliminando-se toda a fração argila e silte. Posteriormente, o material retido na peneira (MOL e areia) foi transferido, quantitativamente, novamente para o becker, completando-se o volume com água. Todo o material flotado foi passado por peneira de 0,25 mm, tomando-se cuidado para separar a MOL da fração areia. Em seguida, foi adicionado novamente água ao becker, agitando-se manualmente para ressuspender a MOL restante e verter o material vagarosamente em peneira de 0,25 mm. Essa operação foi repetida até que todo o material que flutuou com a agitação em água foi removido. O material que ficou retido na peneira (MOL) foi transferido para recipientes de alumínio (previamente pesados), levado a estufa à  $65^\circ\text{C}$  até atingir peso constante (72 horas), sendo pesado todo o conjunto (ANDERSON; INGRAM, 1989). O cálculo dos estoques de MOL foi realizado pelo método de massa equivalente (SISTI et al., 2004), conforme descrito anteriormente.

### 5.3.4 Fracionamento granulométrico da MOS

O fracionamento granulométrico foi realizado segundo Cambardella e Elliott (1992). Inicialmente se dispersou as amostras, sendo 20 g de TFSA adicionados a 60 mL de solução com  $5 \text{ g L}^{-1}$  de hexametáfosfato de sódio e agitado por 15 horas em agitador horizontal. Em

seguida, o material passou por peneira de 53  $\mu\text{m}$  para separar a fração areia da fração de silte e argila. O material retido na peneira representa a matéria orgânica particulada (MOP > 53 $\mu\text{m}$ ) associado à fração areia, que foi seco a 50 °C. Posteriormente, foi quantificado a sua massa e moído em gral de porcelana para obtenção do teor de carbono orgânico particulado (COp) e nitrogênio orgânico particulado (Np), determinado 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). O material que passou pela peneira de 53  $\mu\text{m}$  contém minerais de silte e argila, sendo denominado matéria orgânica mineral (MOM < 53  $\mu\text{m}$ ). Para a obtenção dos teores de C-MOM e N-MOM, mensurou-se a diferença entre os teores totais de COT/NT com COp/Np. Para o cálculo dos estoques de C e N das frações granulométricas também foi utilizado o método de massa equivalente (SISTI et al., 2004), conforme descrito anteriormente.

#### 5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram analisados com relação à normalidade e à homogeneidade por meio de testes de Lilliefors e Cochran, analisando seguindo o delineamento experimental dos oito tratamentos (aveia, centeio, nabo, nabo + centeio, nabo + aveia, vegetação espontânea, SPC e mata) e quatro repetições. Os resultados dos tratamentos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) com aplicação do Teste F e os valores médios, quando significativos, comparados entre si pelo Teste Scott-Knott a 5% de probabilidade por meio do Software Assistat 7.7.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 TEORES E ESTOQUES DE COT E NT DO SOLO

Os maiores teores de COT e NT foram encontrados na área de MATA, em todas as profundidades. Nas áreas de cultivo, na camada de 0-5 cm, AV+NB e CE+NB apresentaram os maiores teores de COT e NT. Em sequência, na camada de 5-10 cm, NB e CE+NB resultaram nos teores mais elevados de COT e NT. Na camada de 10-30 cm não houve diferença significativa para o COT, enquanto para o NT os tratamentos CE, AV, CE+NB e SPC apresentaram os teores mais elevados. Exceto para o teor de COT e NT do tratamento AV, todos os demais apresentaram diminuição dos teores com o aumento da profundidade (Tabela 3).

**Tabela 3.** Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes plantas de cobertura e preparo convencional de cebola.

Trat.	COT (g kg <sup>-1</sup> )			NT (g kg <sup>-1</sup> )		
	0-5 cm	5-10 cm	10-30 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-30 cm
<b>MATA</b>	80,78 a	65,60 a	47,63 a	7,48 a	6,10 a	4,61 a
<b>VE</b>	55,51 c	24,90 c	21,06 b	5,10 c	2,58 c	1,72 d
<b>CE</b>	39,69 d	27,95 c	23,50 b	3,56 d	2,43 c	2,36 b
<b>AV</b>	33,36 d	29,88 c	30,43 b	3,05 e	2,53 c	2,62 b
<b>NB</b>	53,91 c	48,17 b	24,46 b	5,03 c	3,62 b	2,20 c
<b>AV+NB</b>	60,85 b	27,50 c	26,83 b	6,32 b	2,59 c	2,12 c
<b>CE+NB</b>	64,96 b	43,87 b	27,80 b	6,82 b	3,95 b	2,63 b
<b>SPC</b>	37,48 d	34,46 c	27,50 b	3,04 e	3,02 c	2,50 b
<b>CV%</b>	7,32	13,56	13,91	6,83	11,29	10,39

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. MATA - floresta secundária, VE - vegetação espontânea, CE - centeio, AV - aveia, NB - nabo-forrageiro, AV+NB - aveia + nabo-forrageiro, CE+NB - centeio + nabo-forrageiro, SPC - sistema de preparo convencional.

Os maiores teores de COT e NT para a MATA ocorrem pela constante deposição de serapilheira, rizodeposição e ciclagem de nutrientes, em um ambiente com condições físicas, químicas e biológicas do solo estável. As áreas com essas condições apresentam importantes reservatórios de C e N quando comparadas com solos cultivados (LOSS et al., 2012). Os teores de COT e NT se sobressaíram em áreas com SPDH com a utilização de consórcios de gramíneas com o nabo-forrageiro por conta da maior exploração do solo pelas raízes e pela quantidade de fitomassa que é mantida sobre o solo, o que favorece o acúmulo de MOS e C no solo. O consórcio das plantas de cobertura proporciona aumento da produção de MS, podendo se ter um aumento de 11% em relação ao cultivo das culturas solteiras, além de ser superior à

produção de MS das plantas espontâneas em áreas de pousio, e também um mecanismo de proteção do solo contra erosão (DONEDA et al., 2012).

Nos agroecossistemas estáveis, a oxidação da matéria orgânica e liberação de C ocorrem principalmente pela respiração da biota do solo, sendo equilibrada pela entrada de C através dos resíduos das plantas (BRADY; WEIL, 2013). Os teores de COT e NT sofrem reduções quando áreas de mata nativa são transformadas em áreas de cultivo (ASSIS et al., 2006). No presente estudo, os tratamentos sob SPDH apresentaram os maiores valores de teores em comparação ao tratamento SPC, pois a redução do preparo do solo controla as perdas de MOS, e o aporte contínuo de resíduos sobre o solo protege a MOS contra oxidação e biodegradação, contribuindo para aumentar os teores de COT e NT no solo. Além de melhorar a qualidade do solo, através da proteção e incremento de MOS no solo, o manejo sob SPD retira grandes quantidades de CO<sub>2</sub> da atmosfera e armazena no solo (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN-NETO, 2000).

Ao avaliarem o teor de COT comparando SDP com 12 anos de condução, SPD de 8 anos antecedido por SPC, SPD com 12 anos com revolvimento a cada 4 anos para a incorporação de calcário e preparo convencional de 12 anos, Marcolan e Anghinoni (2006) verificaram que o SPD, ao acumular resíduo vegetal na superfície do solo, aumenta o teor de COT, comparado ao SPC, que apresenta uniformidade dos teores no perfil devido ao revolvimento do solo. O preparo do solo para incorporação de calcário a cada 4 anos no SPD não gerou mudanças significativas nos teores de COT quando comparado aos SPDs contínuos, assinalando que o revolvimento eventual, seguido com a retomado do SPD não acarreta maiores prejuízos à MOS. Sistemas de cultivo com mínima perturbação do solo pelo preparo, como o SPD, acumulam resíduos na superfície do solo, que são decompostos e promovem o aumento no teor de COT na camada superficial do solo. Também se deve considerar a decomposição das raízes, abundantes na camada superficial. Porém, sistemas sob SPC com a utilização de grades e arados de disco incorporam resíduos ao solo, distribuindo em profundidade e desestabilizam os processos que mantêm os teores de COT e MOS (CORAZZA et al., 1999).

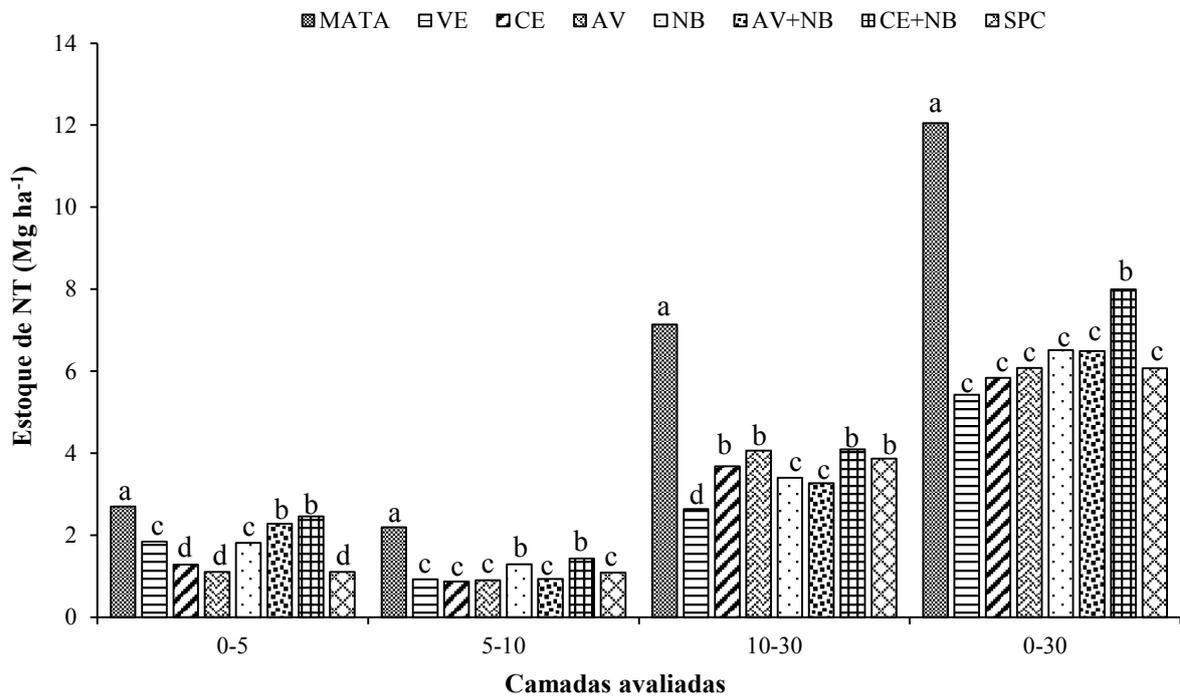
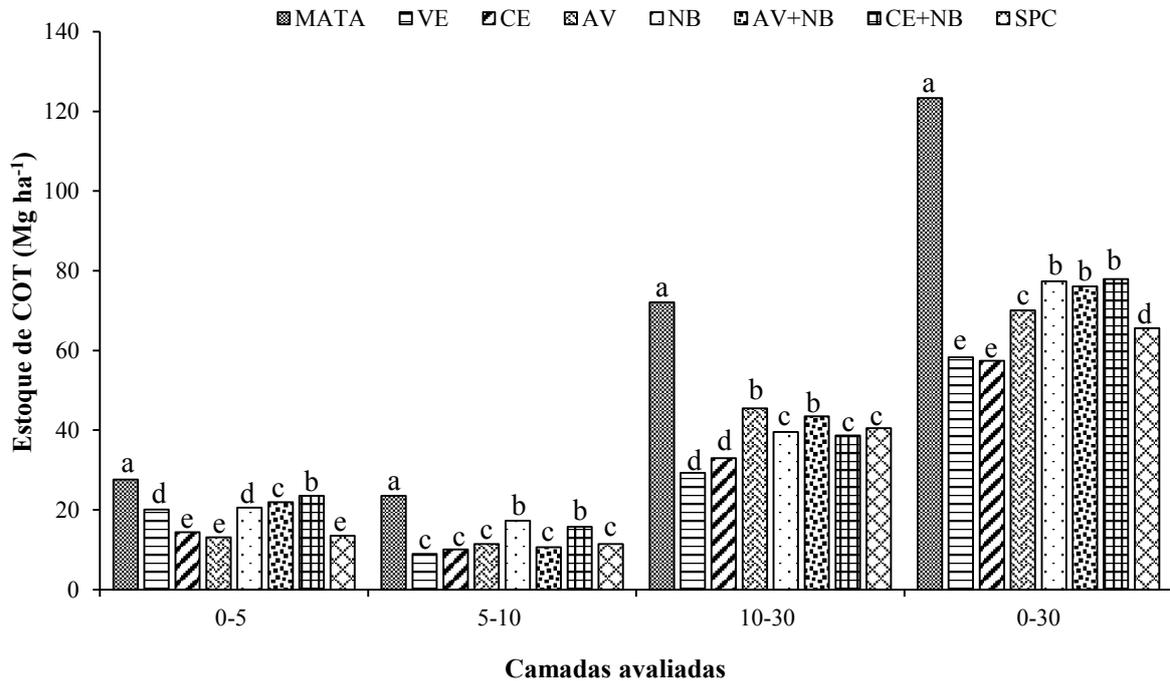
A MOS é considerada um indicador de qualidade do solo por sua relação benéfica com a estabilidade de agregados, infiltração e retenção de água, promoção de atividade biológica, proteção contra erosão, trocas gasosas e disponibilidade de nutrientes para as plantas, além de ser sensível às práticas de manejo e tipos de vegetações (URQUIAGA et al., 2006). O C desempenha um papel fundamental nas substâncias orgânicas, compondo cerca de 50% do peso da MOS, e a sua principal fonte são os resíduos vegetais. Por isso, práticas que aumentem as

adições de C ou diminuam suas perdas são importantes para o balanço global do C, tais como o plantio direto e a eliminação do preparo do solo (BRADY; WEIL, 2013).

A dinâmica do N está associada intrinsecamente com a dinâmica de C; para cada tonelada de C que entra no solo é necessário de 70 a 100 kg ha<sup>-1</sup> de N para que a relação C/N da MOS permaneça estabilizada (SILVA, 2014). Ao avaliar aportes de N em solos sob SPC e em áreas de uso contínuo com SPD com diferentes anos de condução comparados a solos com mata nativa (Cerrado), verificou-se maior aporte de NT nas áreas sob SPD com 6 anos de duração, seguindo por áreas com SPD de 4, 2 e 1 ano. O SPC apresentou o menor aporte de NT (LEITE et al., 2010). Segundo os autores, 28% do fornecimento de N vem das raízes, e o aumento desses aportes no SPD está diretamente associado ao aumento da fitomassa aérea e das raízes das plantas de cobertura e comerciais.

Na Figura 1 estão apresentados os estoques de COT e NT, que se mostraram superiores na MATA (área de referência) em todas as camadas. Nas áreas cultivadas, o COT se destacou no SPDH com o tratamento CE+NB, atingindo o maior estoque na camada superficial de 0-5 cm. Já na camada de 5-10 cm, os tratamentos NB e CE+NB atingiram os maiores estoques, e na camada de 10-30 cm, os tratamentos AV e AV+NB mostram os estoques mais elevados de COT. Na camada de 0-30 cm, os tratamentos NB, AV+NB e CE+NB apresentaram os maiores estoques de COT. Para NT as áreas sob SPDH, na camada de 0-5 cm, os tratamentos AV+NB e CE+NB apresentaram os maiores estoques; na camada de 5-10 cm foram os tratamentos NB e CE+NB com os maiores estoques, enquanto na camada 10-30 cm foram CE, AV, CE+NB e SPC. O estoque de NT na camada de 0-30 cm foi superior para CE+NB.

**Figura 1.** Estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. MATA - floresta secundária, VE - vegetação espontânea, CE - centeio, AV - aveia, NB - nabo-forrageiro, AV+NB - aveia + nabo-forrageiro, CE+NB - centeio + nabo-forrageiro, SPC - sistema de preparo convencional.

Elevados estoques de COT em áreas de MATA são esperados por serem sistemas sem interferência antrópica, e onde ocorre a manutenção desses estoques no solo através da atividade

das plantas, que com a deposição constante de serapilheira tornam o ambiente propício para a atividade da biota (COSTA, 2015; SILVA et al., 2012; SOUZA, 2016). Já nas áreas sob SPDH, os estoques de COT superiores na camada superficial (0-5 cm) no tratamento CE+NB e na camada de 5-10 cm nos tratamentos NB e CE+NB são devido ao rápido crescimento do NB solteiro e em consórcio, produzindo grande quantidade de biomassa, adicionando matéria orgânica ao solo e, conseqüentemente, C. Esse mecanismo foi constatado por Doneda et al. (2012), que em sua pesquisa encontraram maiores produções de MS em consórcios de gramíneas com nabo-forageiro, atribuindo o resultado ao rápido crescimento inicial desta planta de cobertura. Esse efeito do NB também pode ser verificado na camada de 10-30 cm e de 0-30 cm.

A substituição da mata nativa (Cerrado) por cultivos que utilizam revolvimento de solo, ou seja, SPC, causa a redução de estoque de C do perfil do solo analisado (0-100 cm). No entanto, manejos de solo com movimentação reduzida ou sem revolvimento, como reflorestamento de eucalipto, pastagem e o SPD, podem recuperar o estoque de C, inclusive atingir estoques superiores àqueles da mata nativa. Os autores concluíram que o sistema SPC atua como fonte de carbono atmosférico, e o SPD como depósito de carbono no solo (CORAZZA et al., 1999). Esses resultados corroboram com os dados do presente estudo, em que o SPDH com plantas de cobertura em consórcio superou os estoques de C no perfil do solo analisado, em comparação ao SPC e ao SPDH com vegetação espontânea. Diversos trabalhos na literatura reafirmam os benefícios da utilização de SPD com relação aos estoques de C (AMADO et al., 2001; CIOTTA et al., 2003; LEITE et al., 2010; MAZURANA et al., 2013; PEREIRA et al., 2010).

O NB dispõe de um sistema radicular agressivo, capaz de atingir elevadas profundidades, ciclar nutrientes das camadas mais profundas do solo, adicionar material vegetal (AMADO et al., 2014) e, através destes atribuídos, o acúmulo de COT em profundidade de 0-30 cm é superior para os tratamentos com sua presença. Em estudo desenvolvido por Bayer et al. (2004), mostrou-se que áreas com SPD promoveram aumento de 9% no estoque de COT quando comparado com ao SPC, sendo este efeito restrito à camada de 0-20 cm e dependentes do sistema de cultura utilizado. Ao avaliarem SPD com a utilização de aveia e nabo-forageiro solteiros, comparado com áreas de pousio (vegetação espontânea) e SPC, Amadori et al. (2015) verificaram que o SPD (por 27 anos) promoveu aumento dos estoques de COT em comparação às demais áreas, e os tratamentos com nabo-forageiro foram superiores nos estoques de C na fração leve livre da MOS na camada 0-5 cm.

Os elevados estoques de NT na MATA indicam a constante ciclagem de material orgânico e consequente manutenção de N no solo. Na camada de 0-5 cm os tratamentos AV+NB e CE+NB apresentaram os maiores estoques de NT, enquanto na camada de 5-10 cm os maiores estoques foram observados com NB e CE+NB, provavelmente devido à presença do nabo-forrageiro, que tem desenvolvimento acelerado e é de fácil decomposição. Diferentemente das gramíneas nos tratamentos solteiros, que apresentam elevada relação C/N, elevados teores de lignina remanescente, elevada relação lignina/N e baixa relação celulose/lignina, sendo estruturas que são decompostas e mineralizadas de forma lenta e gradual, pois são resistentes a decomposição microbiana (OLIVEIRA, 2015). Os consórcios entre centeio e nabo-forrageiro, aveia e nabo-forrageiro acumulam quantidades de N superiores que os seus cultivos solteiros, comprovando a atuação do nabo como uma planta capaz de ciclar N, ainda que não seja uma leguminosa (DONEDA et al., 2012).

As plantas de cobertura do SPD são responsáveis pela entrada, ciclagem e estocagem de NT no solo. Somado a isto, o revolvimento do solo restrito culmina para a preservação da MOS e o acúmulo de N (NUNES et al., 2011). A quantidade de NT acumulado é influenciada pelas plantas de cobertura utilizadas e pelos sistemas de preparo do solo. Após 9 anos de experimento, os autores encontraram que a quantidade de NT acumulado na camada superficial ocorreu principalmente em sistemas com a mínima mobilização do solo. Os sistemas com a redução na mobilização no preparo do solo, como o SPD, têm efeitos positivos no acúmulo de N nas camadas superficiais do solo, sendo um aliado para as atividades biológicas e para a redução de riscos ambientais (AMADO et al., 1999).

## 6.2 TEORES E ESTOQUES DE MATÉRIA ORGÂNICA LEVE

O maior teor de MOL foi encontrado na MATA em todas as camadas. Nas áreas sob cultivo, na camada de 0-5 cm, o tratamento CE obteve a maior teor de MOL, enquanto na camada de 5-10 cm foram os tratamentos de CE, AV, AV+NB e SPC, e na camada de 10-30 cm, o tratamento AV apresentou o maior teor de MOL (Tabela 4).

**Tabela 4.** Teor de matéria orgânica leve (MOL) do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola.

Trat.	MOL (g kg <sup>-1</sup> )		
	0-5 cm	5-10 cm	10-30 cm
MATA	1,251 a	0,588 a	0,449 a
VE	0,240 d	0,066 c	0,037 c
CE	0,540 b	0,100 b	0,024 c

<b>AV</b>	0,204 d	0,073 b	0,193 b
<b>NB</b>	0,353 c	0,042 c	0,055 c
<b>AV+NB</b>	0,220 d	0,080 b	0,046 c
<b>CE+NB</b>	0,214 d	0,057 c	0,042 c
<b>SPC</b>	0,288 c	0,080 b	0,082 c
<b>CV%</b>	14,44	13,85	22,55

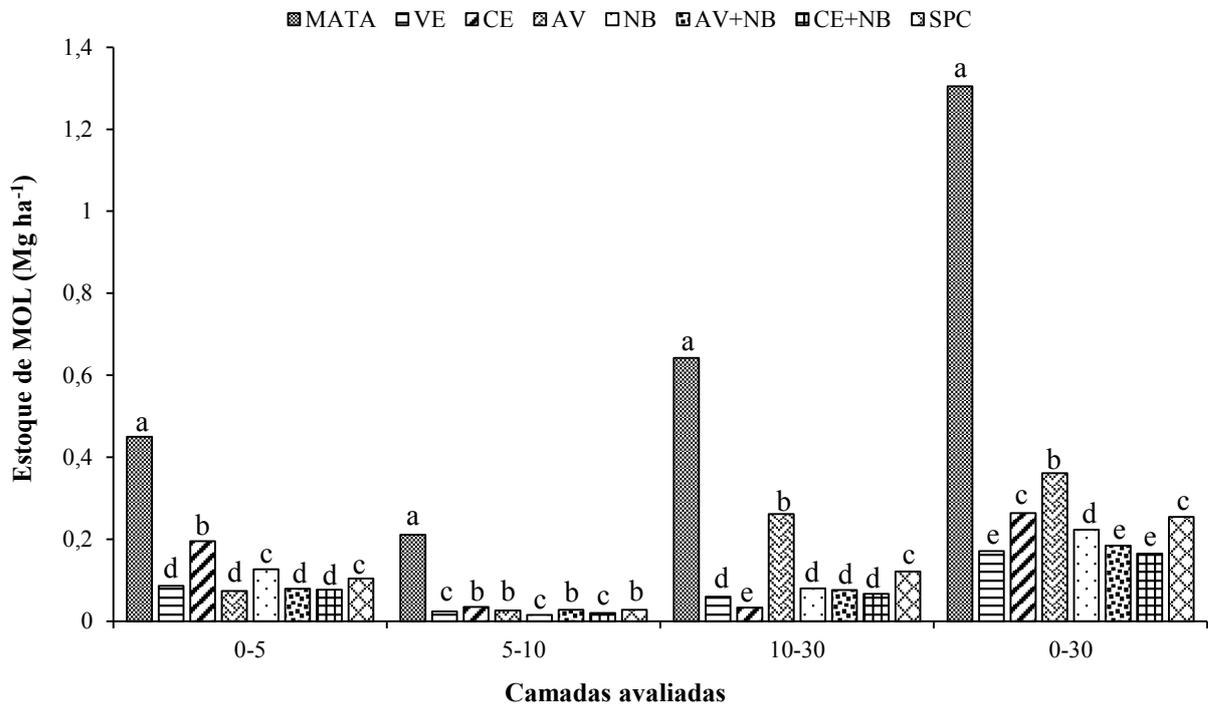
Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. MATA - floresta secundária, VE - vegetação espontânea, CE - centeio, AV - aveia, NB - nabo-forrageiro, AV+NB - aveia + nabo-forrageiro, CE+NB - centeio + nabo-forrageiro, SPC - sistema de preparo convencional.

Maiores teores de MOL ocorreram na MATA devido ao maior aporte de resíduos vegetais depositados sobre o solo (MELO et al., 2016), que promovem a formação e manutenção de MOS. Os teores superiores de MOL verificados sob SPDH justifica-se pela quantidade de fitomassa produzida pelas plantas de cobertura que são depositados sobre a superfície do solo, indicando que o mecanismo de revolvimento do solo em SPC desfavorece o conteúdo de MOL. Ao comparar os diferentes sistemas de produção orgânica, Loss et al. (2010) verificaram que a MOL se mostrou responsiva aos sistemas de manejo, sendo os maiores teores encontrados nas áreas sob SPD com rotação berinjela/milho, em detrimento dos tratamentos com SPC em rotação de milho/feijão. Segundo os autores, a palhada em superfície mantida no SPD aumenta os teores de MOL, confirmando que o SPC, com a utilização de revolvimento do solo, prejudica a manutenção da MOL.

Os maiores valores de MOL são encontrados em área de mata (Cerrado) e SPDH, quando comparado SPC e área de pastagem (MELO et al., 2016). O estudo consistiu em comparar os diferentes manejos de solo no cultivo de repolho e foi verificado que os valores de MOL para SPDH são decorrentes do não revolvimento do solo e do acúmulo de palhada na superfície. Os autores concluíram que o SPDH é capaz de interferir na dinâmica e manutenção da matéria orgânica do solo, resultando no aumento dos valores de MOL e na melhoria da qualidade do solo. O aumento da MOS pela utilização de plantas de cobertura em SPD é evidenciado em diversos trabalhos na literatura (BAYER; SCHENEIDER, 1999; COSTA; SILVA; RIBEIRO, 2013; MACHADO, 2001; SANTOS; TOMM, 1999).

Os maiores estoques de MOL também ocorreram na área de MATA em todas as camadas analisadas. Nas áreas cultivadas, o CE apresentou o maior estoque de MOL na camada de 0-5 cm, na camada 5-10 cm foram os tratamentos CE, AV, AV+NB e SPC, e na camada 10-30 cm a AV apresentou o maior estoque de MOL. O estoque total, na camada de 0-30 cm foi superior na MATA, seguido por AV (Figura 2).

**Figura 2.** Estoque de matéria orgânica leve (MOL) do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. MATA - floresta secundária, VE - vegetação espontânea, CE - centeio, AV - aveia, NB - nabo-forrageiro, AV+NB - aveia + nabo-forrageiro, CE+NB - centeio + nabo-forrageiro, SPC - sistema de preparo convencional.

Similar ao teor de MOL, os estoques de MOL foram superiores na MATA por ser um ambiente sem interferência antrópica, com constante entrada e ciclagem de material vegetal que mantém o conteúdo de MOS constante. Os estoques de MOL foram superiores em áreas nativas (Caatinga) devido ao solo estar continuamente vegetado, com contínua deposição de serapilheira e pela qualidade do material vegetal, visto que a diversidade de vegetais gera resíduos orgânicos com características distintas (FERREIRA FILHO 2017).

O cultivo sob SPDH propiciou os maiores estoques de MOL em comparação ao SPC. A influência das gramíneas foi determinante para os resultados. O acúmulo de matéria orgânica no solo é um dos benefícios da utilização de gramíneas, devido ao seu sistema radicular fasciculado em constante renovação, estimulando a decomposição de raízes mortas e a ciclagem de nutrientes através dos microrganismos (SALTON; TOMAZI, 2014). Além da elevada produção de biomassa, as gramíneas são eficientes na proliferação de raízes na camada arável do solo, e apresentam relação C/N superior quando comparadas com crucíferas e leguminosas, o que dessa forma justifica a maior permanência de material vegetal e o estoque elevado de MOL (KONDO et al., 2012).

Na camada de 5-10 cm, o SPDH e SPC não apresentaram diferença nos estoques de MOL, o que pode ser explicado por haver o revolvimento do solo no tratamento CONV. A incorporação de resíduos culturais ocorre nas operações de aração e gradagem durante o preparo convencional (BEUTLER et al., 2003), e assim o material vegetal, neste caso o milho, parcialmente decomposto que representa a MOL, foi incorporado ao solo e resultou no estoque similar ao SPDH. As raízes das plantas de cobertura no SPDH morrem e fornecem material orgânico, produzem resíduos pela exsudação e rizodeposição, atingindo partes subsuperficiais do solo.

### 6.3 TEORES E ESTOQUES DE C E N DA FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA

O teor de COp foi superior na área de MATA para todas as camadas. Nas áreas de cultivo, os tratamentos CE e NB apresentaram os maiores teores de COp nas camadas de 0-5, e 10-30 cm, enquanto na camada de 5-10 cm, CE e CE+NB tiveram os maiores teores. Para os teores Np na camada 0-5 cm, a MATA também foi superior, seguida pelo tratamento NB sob SPDH; na camada de 5-10 cm houve similaridade estatística entre a área de MATA, o tratamento CE e CE+NB. Na camada 10-30 cm, a MATA apresentou os maiores teores de Np, seguido por VE, CE, AV e NB. A área de cultivo SPC apresentou o menor teor de COp na camada de 0-5, e os menores teores de Np nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (Tabela 5).

**Tabela 5.** Teores de carbono orgânico particulado (COp) e nitrogênio orgânico particulado (Np) da fração granulométrica da matéria orgânica do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola.

Trat.	COp (g kg <sup>-1</sup> )			Np (g kg <sup>-1</sup> )		
	0-5 cm	5-10 cm	10-30 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-30 cm
MATA	35,41 a	5,08 a	5,98 a	2,43 a	0,35 a	0,34 a
VE	8,74 c	2,65 d	1,60 c	0,59 d	0,24 b	0,17 b
CE	14,23 b	3,88 b	2,56 b	0,96 c	0,28 a	0,14 b
AV	10,24 c	3,02 d	1,60 c	0,80 d	0,26 b	0,12 b
NB	14,62 b	2,87 d	2,35 b	1,25 b	0,21 b	0,14 b
AV+NB	9,33 c	3,49 c	1,38 c	0,69 d	0,25 b	0,07 c
CE+NB	9,90 c	4,36 b	1,52 c	0,76 d	0,33 a	0,06 c
SPC	3,77 d	2,53 d	1,18 c	0,24 e	0,14 c	0,06 c
CV%	15,21	10,99	15,57	18,61	14,94	20,46

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. MATA - floresta secundária, VE - vegetação espontânea, CE - centeio, AV - aveia, NB - nabo-forrageiro, AV+NB - aveia + nabo-forrageiro, CE+NB - centeio + nabo-forrageiro, SPC - sistema de preparo convencional.

O COp e Np são frações lábeis da MOS, fornecem alimento de fácil acesso aos microrganismos e grande parte do N prontamente mineralizável, atuam nos efeitos benéficos sobre a estabilidade de agregados, e são facilmente alterados pelo sistema de manejo do solo (BRADY; WEIL, 2013). Os maiores teores na MATA, em todas as camadas, correspondem ao ambiente em que não ocorrem alteração resultantes da atuação humana, havendo uma estabilização e preservação dessas frações no solo por meio da constante deposição de material orgânico sobre o solo. O SPDH atingiu os maiores teores em comparação ao SPC em todas as camadas avaliadas. Na camada de 0-5 cm os tratamentos sob SPDH com os cultivos solteiros CE e NB apresentaram teores de COp superiores 277 e 288%, respectivamente, ao SPC, assim como teores de Np no tratamento NB 421% superiores. Isso se explica por o SPC se tratar de manejo que utiliza o revolvimento do solo com equipamentos como grade, arado e rotativa, responsáveis pelo rompimento dos agregados do solo e pela exposição da MOS. Consequentemente, o tratamento desfavorece o acúmulo de C e N no solo (LOSS et al., 2014b).

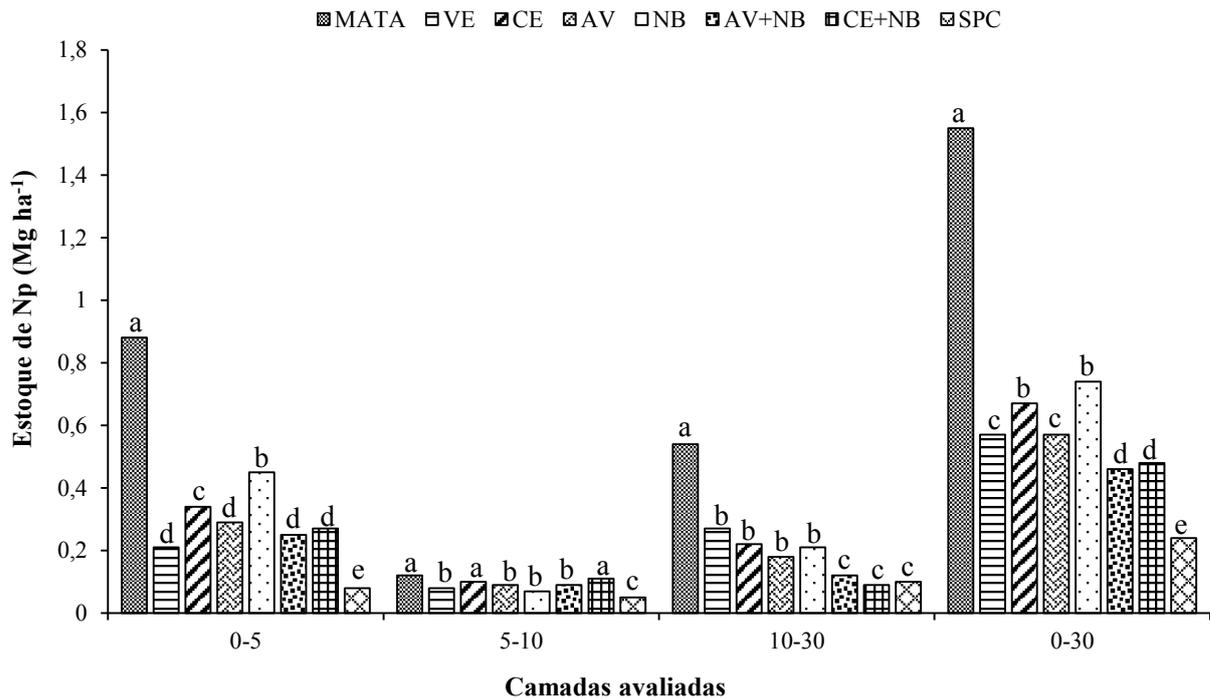
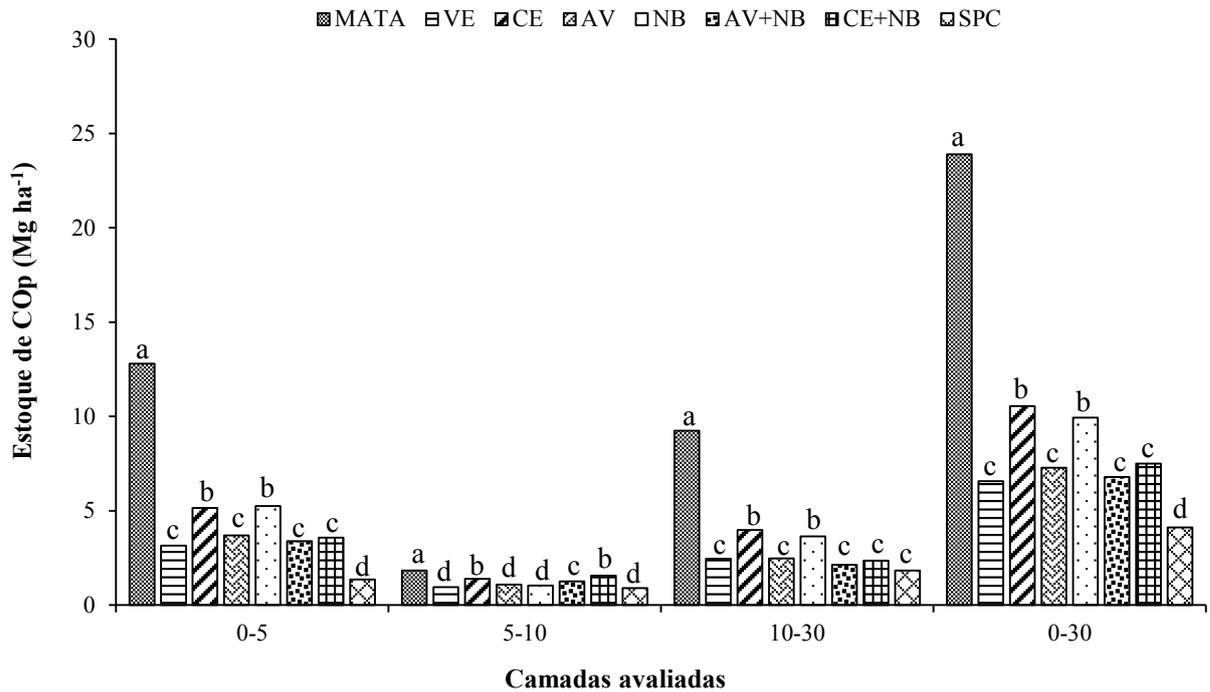
Ao avaliar as frações da MOS em solos submetidos a manejo sob SPD com diferentes gramíneas em consócio e solteiras, verificou-se os maiores valores de COp na camada superficial e decrescendo em profundidade, sendo que os tratamentos com milho consorciado com *Panicum maximum* ou com *Brachiaria humidicola* apresentaram os maiores teores de COp, indicando que esta fração da MOS é introduzida diretamente pela deposição de resíduos vegetais na superfície do solo e a manutenção de seus valores depende desta adição (CARMO et al., 2012). Esses resultados diferem dos dados encontrados nesta pesquisa, em que teores elevados de COp ocorreram na camada de 0-5 cm nos tratamentos sob SPDH com cultivos solteiros CE e NB e elevado teor de Np no tratamento NB, evidenciando que a utilização de plantas de coberturas solteiras são eficientes na produção de fitomassa do solo e atua na manutenção dos teores de C e N particulado no solo.

Em um estudo desenvolvido foram analisados os efeitos do consócio de milho safrinha com *Urochloa brizantha* (Marandu) e diferentes fontes de N nas frações granulométricas da MOS sob SPD, Faccin et al. (2016) observaram maiores teores de COp na camada superficial do solo de 0-5 cm, não sendo interferido pelas diferentes fontes de N. O cultivo de milho consorciado gerou um incremento de 28,2% de COp em relação ao milho solteiro. As variações nos teores de COp foram dependentes da quantidade de resíduos vegetais depositados sobre o solo, sendo que os sistemas de cultivo que geraram maiores adições de resíduos influenciaram no aumento dos valores de COp. Neste caso, o consócio entre gramíneas foi responsável pela elevação dos teores de COp.

A fração particulada da MOS é sensível em indicar impactos pelo manejo de cultivo (CONCEIÇÃO et al., 2005). Assim como foi verificado para os teores de COp, os tratamentos que incrementam teores de Np, em relação a área de referência, atuam na melhora da qualidade do solo, enquanto os tratamentos que promovem o decréscimo destes componentes reduzem a qualidade do solo. E ainda, o Np favorece a disponibilidade de nutrientes para as plantas por ser uma fração mais lábil e por estar concentrada na superfície, o que favorece a absorção pelas raízes das plantas. Portanto, sistemas conservacionistas e o SPDH com revolvimento do solo restrito a linha de plantio, com manutenção de resíduo vegetal sobre a superfície do solo, que promovem a decomposição lenta do material vegetal, favorecem o acúmulo de Np (SILVA et al., 2011).

Os estoques de COp foram superiores na MATA em todas as camadas. Nas áreas de cultivo, na camada de 0-5 cm, o CE e NB apresentaram os maiores estoques. Em profundidade, na camada de 5-10 cm, o CE e CE+NB tiveram os valores mais elevados. Na camada de 10-30 cm, o CE e NB apresentaram os maiores estoques. Assim como para os teores de COp, os menores estoques foram encontrados no tratamento SPC na camada de 0-5 cm. De forma geral, os estoques elevados se encontram na camada de superfície. Para os estoques de Np na camada de 0-5 cm, a área de MATA apresentou o maior valor, seguido pelo tratamento NB. Na camada de 5-10 cm não houve diferença estatística entre MATA, CE e CE+NB. Na camada de 10-30 cm, a MATA obteve o maior estoque de Np, seguido pelos tratamentos VE, CE, AV e NB. Similar ao teor de Np, o valor de estoque mais baixo foi encontrado no tratamento SPC nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (Figura 3).

**Figura 3.** Estoques de carbono orgânico particulado (COp) e nitrogênio particulado (Np) da fração granulométrica do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. MATA - floresta secundária, VE - vegetação espontânea, CE - centeio, AV - aveia, NB - nabo-forrageiro, AV+NB - aveia + nabo-forrageiro, CE+NB - centeio + nabo-forrageiro, SPC - sistema de preparo convencional.

Os menores estoques de COp no tratamento COVN, em relação ao SPDH, se justificam pelo manejo de revolvimento do solo que expõe a MOS à atividade microbiana, reduzindo o conteúdo de C. A perturbação do solo com ferramentas de cultivos rompe os

macroagregados e com eventos de secagem-umedecimento do solo ocorre a intensificação dessa degradação (BALESDENT; CHENU; BALABANE, 2000). Logo, os microagregados, protegidos fisicamente pelos macroagregados, são expostos à biodegradação ocorrendo assim, as perdas de MOS. Estoques de COp elevados na camada superficial nas áreas de SPDH estão relacionados à manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo, atuando na proteção física dos agregados e, dessa forma, protegendo a fração lábil da MOS. O solo sob SPD deve ser mantido com resíduos vegetais de forma contínua, de modo que não ocorra um efluxo de C da fração lábil da matéria orgânica do solo para a atmosfera (BAYER et al., 2004).

O efeito da utilização de SPD sobre os estoques de COp e COT em comparação ao SPC resultou acúmulo de COp na camada de 0-20 cm devido a maior adição anual de C através dos resíduos vegetais, que mantidos na superfície do solo diminuem a taxa de decomposição microbiana do material orgânico (COSTA et al., 2004). O COp foi mais sensível aos manejos de solo que o estoque de COT. Ademais, as maiores alterações nos estoques de C ocorreram em camada superficial do solo, de 0-5 cm, onde COp foi 58% superior no SPD em relação ao SPC, e o COT apenas 32%. O COp atua como fonte de energia para os microrganismos, refletindo na maior estabilidade de agregados, especialmente macroagregados, e o COT age na fração mais humificada da MOS, exercendo função de estabilidade de microagregados. Os autores concluíram que o SPD desencadeia processos que levam ao aumento da estabilidade de agregados e dos estoques de MOS.

Assim como para os estoques de COp, os estoques de Np são superiores em áreas em que a superfície do solo é mantida coberta por resíduos vegetais. A MATA é um ambiente com constante deposição de serapilheira, sendo o tratamento com os maiores estoques em todas as camadas. O SPDH se apresentou similar aos estoques da MATA, indicando que é um sistema de manejo eficiente em adicionar fitomassa ao solo e em acumular N. Já o SPC, com os menores estoques de Np se justifica pelo revolvimento do solo e a incorporação de resíduos culturais, acelerando a decomposição do material vegetal e diminuindo a quantidade MOS.

Esses resultados são corroborados por Nunes et al. (2011), que avaliaram os efeitos do SPC com milho, SPD com milho e SPD com mucuna-preta nos estoques de C e N nas frações da MOS. Os valores de estoque de Np foram superiores em SPD, para os dois sistemas de cobertura, em comparação ao SPC. Segundo os autores, devido à maior sensibilidade da fração particulada aos sistemas de manejo, é mais dependente da proteção estrutural mediante a agregação do solo, o que significa que o SPC, pela utilização de implementos como arado de disco e grade, promove a trituração do material vegetal superficial e a ruptura de agregados, resultando na exposição da MOS à decomposição pelos microrganismos. Os ganhos de Np

observados no SPD com milho e mucuna-preta foram 50,7 e 34,9%, respectivamente, em relação ao SPC.

O maior teor de COam na camada 0-5 cm ocorreu no tratamento CE+NB. Na camada de 5-10 cm a área de MATA apresentou os maiores teores seguido por NB. Na camada de 10-30 cm a MATA apresentou os maiores teores, seguido por AV, AV+NB, CE+NB e SPC. O teor de Nam na camada de 0-5 cm foi superior no tratamento CE+NB. Na camada de 5-10 cm a MATA apresentou o maior teor, em sequência o NB e CE+NB. Na camada de 10-30 cm novamente a MATA se destacou, seguido pelos tratamentos CE, AV, CE+NB e SPC (Tabela 6).

**Tabela 6.** Teores de carbono orgânico associado aos minerais (COam) e nitrogênio orgânico associado aos minerais (Nam) da fração granulométrica da matéria orgânica do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola.

Trat.	COam (g kg <sup>-1</sup> )			Nam (g kg <sup>-1</sup> )		
	0-5 cm	5-10 cm	10-30 cm	0-5 cm	5-10 cm	10-30 cm
MATA	48,75 b	62,23 a	43,20 a	5,36 b	5,63 a	4,31 a
VE	46,76 b	22,24 e	16,91 d	4,51 c	2,49 d	1,55 d
CE	25,45 e	23,14 e	22,69 c	2,59 e	2,24 d	2,38 b
AV	25,18 e	24,35 e	28,83 b	2,42 e	2,27 d	2,50 b
NB	42,42 c	40,72 b	20,74 c	4,08 d	3,61 b	1,90 c
AV+NB	49,91 b	25,07 e	27,63 b	5,47 b	2,33 d	2,04 c
CE+NB	56,93 a	37,46 c	28,37 b	6,26 a	3,46 b	2,57 b
SPC	33,71 d	34,54 d	28,40 b	2,80 e	3,14 c	2,43 b
CV%	4,58	5,34	9,50	4,64	7,22	10,25

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. MATA - floresta secundária, VE - plantas espontâneas, CE - centeio, AV - aveia, NB - nabo-forrageiro, AV+NB - aveia + nabo-forrageiro, CE+NB - centeio + nabo-forrageiro, SPC - sistema de preparo convencional.

Os teores de COam e Nam representam a fração mais estável da MOS, que inclui materiais fisicamente protegidos por complexos do tipo argila-húmus, podendo conter cerca de 60 a 90% da matéria orgânica do solo, e sua quantidade diminui ou aumenta lentamente (BRADY; WEIL, 2013). O tratamento CE+NB na camada superficial, para os teores COam e Nam, superou os teores da área de MATA, indicando que o manejo de SPDH agregou C e N na fração estável de MOS após 11 anos de cultivo com plantas de cobertura. Esse resultado se justifica pelo aporte de material vegetal depositado sobre o solo, com uma relação C/N intermediária, devido ao consórcio entre gramíneas e crucíferas. A manutenção da palhada em superfície é fundamental para manter os benefícios do SPDH, e a decomposição deste material depende da natureza e do volume do resíduo, de fatores climáticos e pedológicos. A relação C/N das plantas de cobertura também é responsável pela taxa de decomposição e liberação de

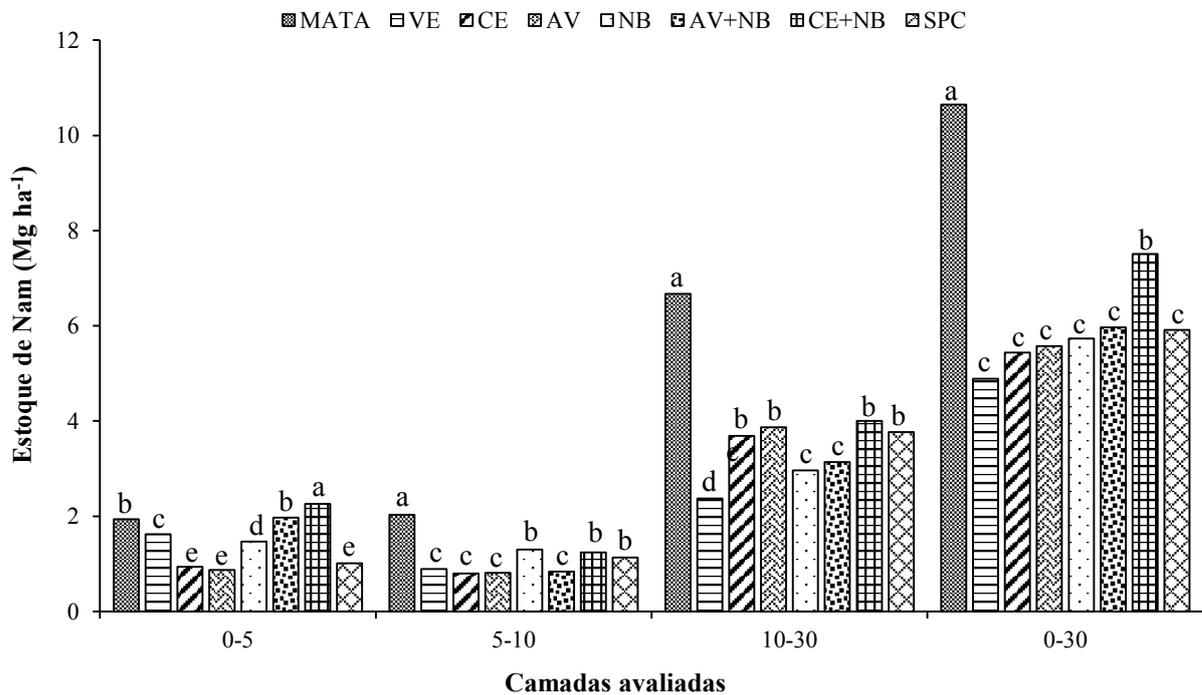
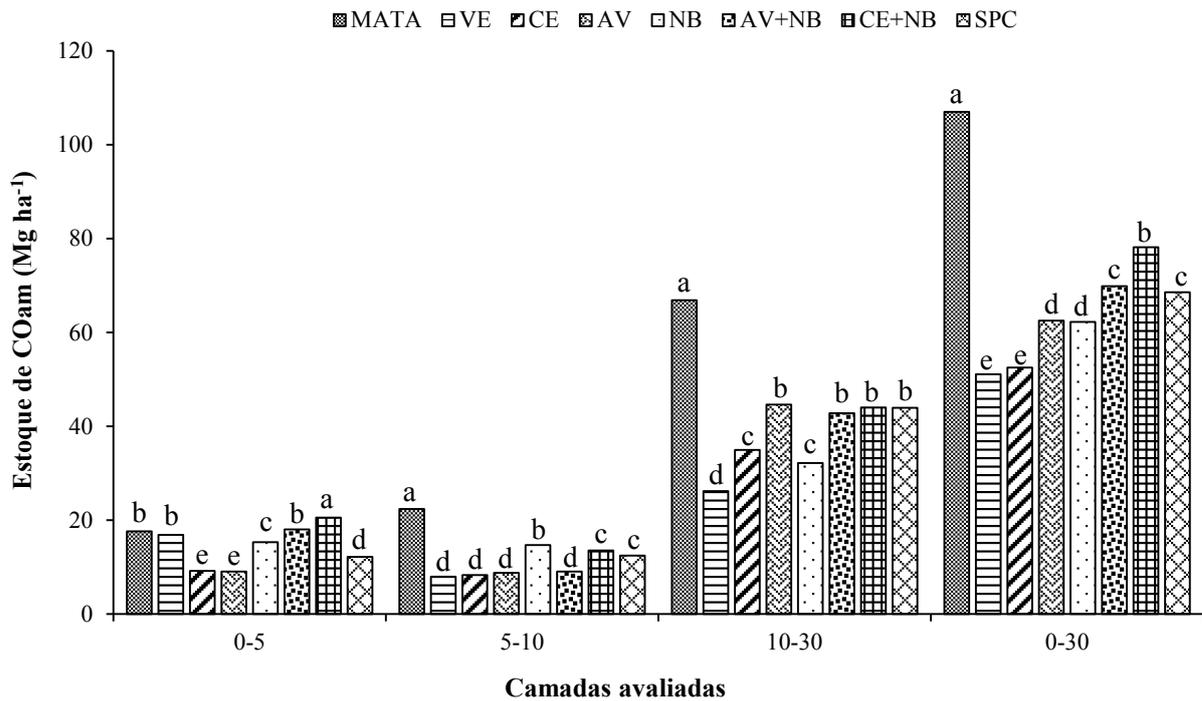
nutrientes ao solo (ALVARENGA et al., 2001). O consórcio entre plantas de cobertura, gramíneas e crucíferas, controla a velocidade de decomposição por meio da relação C/N intermediária da fitomassa, em relação aos cultivos solteiros, combinando o fornecimento de N com a proteção do solo (GIACOMINI, 2001 apud GIACOMINI et al., 2004). O consórcio entre gramíneas e crucíferas resulta em maior produção de fitomassa, maior cobertura do solo e menor velocidade de decomposição dos resíduos vegetais, em comparativo ao cultivo de plantas solteiras (DONEDA et al., 2012).

Um estudo em que se avaliou os teores da fração granulométrica da MOS no cultivo de hortaliças em áreas de preparo reduzido (SPR) com incorporação superficial da palhada, SPC com incorporação profunda da palhada e SPD com manutenção da cobertura do solo, e diferentes cultivos de cobertura, de milho e de milho consorciado com mucuna-cinza, Lima et al. (2016) demonstraram que o SPD foi o manejo de cultivo com os maiores teores de COam na camada de 0-30, seguido por SPR e SPC. Os autores concluíram que a estabilização da MOS por meio do COam é importante para a manutenção dos teores de COT no solo. O SPC desfavorece a manutenção de COam em relação a mata nativa e o SPD, devido à redução de 20,13% nos teores de COam no SPC em relação à mata nativa, visto que o manejo aumenta a mineralização de COT devido ao revolvimento do solo, gerando a fragmentação dos resíduos vegetais e resultando na decomposição pelo microrganismos (CANTON et al., 2015). É necessário que o solo disponha de quantidade adequada de matéria orgânica particulada para garantir que o ciclo/fluxo do carbono e a manutenção da atividade biológica ocorra, porém se não houver teores de COam em quantidades suficientes para manter as necessidades da biota, o processo de oxidação da MOS resultará na diminuição dos estoque de C e, por conseguinte, a degradação do solo (CARMO et al., 2012).

O SPDH possibilita a permanência de C no solo e proporciona efeitos benéficos na manutenção de COam (FACCIN et al., 2016). A avaliação do potencial da MOS e seus atributos para detectar alterações na qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo, demonstrou que o incremento de N nas frações da MOS foi maior na fração particulada ( $> 53 \mu\text{m}$ ) em relação a fração associada aos minerais ( $> 53 \mu\text{m}$ ), indicando que o Nam e o COam apresentam menor sensibilidade para detectar o impacto das práticas de manejo (CONCEIÇÃO et al., 2005). De maneira oposta, no presente estudo o Nam se mostrou responsivo às diferentes práticas de manejo. O SPC apresentou os menores teores de Nam na camada 0-5 cm, indicando que o sistema promove a oxidação e a perda da MOS. Por outro lado, o SPDH com o consórcio CE+NB apresentou teores superiores à MATA para esta camada, revelando o sistema de cultivo como um promotor da MOS.

Os maiores estoques de COam na camada de 0-5 cm ocorreram no tratamento CE+NB, seguido por MATA, VE e AV+NB. Na camada de 5-10 cm, a área de MATA apresentou os maiores estoques, seguido por NB. Na camada de 10-30 cm, a MATA apresentou elevados estoques de COam, e nas áreas de cultivo os tratamentos AV, AV+NB, CE+NB e SPC. O estoque total de COam na camada de 0-30 cm foi superior na MATA, enquanto para áreas de cultivo o CE+NB apresentou o maior valor. Os estoques de Nam na camada de 0-5 cm foram elevados no tratamento CE+NB, seguido pela MATA e AV+NB. Na camada de 5-10 cm, a área de MATA apresentou os maiores estoques, seguido por NB, CE+NB e SPC. Na camada de 10-30 cm, a MATA apresentou os maiores estoques, e nas áreas de cultivo o CE, AV, CE+NB e CONV. Os estoques totais de Nam foram elevados na MATA, seguida pelo tratamento CE+NB (Figura 4).

**Figura 4.** Estoques de carbono orgânico associado aos minerais (COam) e de nitrogênio associado aos minerais (Nam) da fração granulométrica do solo sob mata, sistema de plantio direto com diferentes cultivos e preparo convencional de cebola.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. MATA - floresta secundária, VE vegetação - espontânea, CE - centeio, AV - aveia, NB - nabo-forageiro, AV+NB - aveia + nabo-forageiro, CE+NB - centeio + nabo-forageiro, SPC - sistema de preparo convencional.

O valor de estoque de COam no tratamento CE+NB superior ao da MATA e CONV, na camada 0-5 cm, identifica um manejo com potencial de recuperar a fração humificada e mais estável da MOS, visto que a substituição do SPC pelo SPDH com o consórcio de gramíneas e

crucíferas recuperaram e elevaram os estoques de CO<sub>am</sub> após 11 anos de experimento. O SPD é superior ao SPC nas taxas de sequestro de carbono devido ao maior aporte de C e melhoria da qualidade do solo pelo manejo conservacionista de longo prazo. A fração particulada é um indicador da eficiência dos manejos de solo, e o CO<sub>am</sub> é um importante dreno e reservatório de C atmosférico, e a inclusão de plantas de cobertura é uma estratégia fundamental para o armazenamento de C no solo (CAMPOS et al., 2011).

A avaliação do efeito do SPD durante 6 anos em quatro sistemas de cultura de outono em sucessão com plantas comerciais soja-milho, em comparação ao SPC com cultivo de culturas estivais, no impacto sobre o armazenamento de carbono nas frações particuladas indicou que os estoques de CO<sub>am</sub> na camada 0-20 cm foram estatisticamente iguais para os sistemas de manejo sob SPD, que se justifica pelo curto período de condução. A falta de impacto sobre a MOS associada aos minerais se deve ao avançado estágio de humificação e estabilidade desta fração, localizada no interior de microagregados estáveis e pela sua maior recalcitrância química. É necessário um período maior para que impactos de manejo gerem efeitos sobre os estoques de CO<sub>am</sub>. Já o SPC apresentou os menores estoques de CO<sub>am</sub> em relação ao SPD, indicando que o sistema causa a ruptura dos agregados e perdas de MOS (BAYER et al., 2004).

O valor de estoque de Nam se comportou de forma semelhante ao estoque de CO<sub>am</sub>, com os maiores acúmulos no tratamento CE+NB na camada de 0-5 cm. Na comparação dos estoques de Nam em diferentes cultivos sob SPD e SPC de longa duração (30 anos), verificou-se que o estoque de Nam foi influenciado pelo sistema de preparo de solo e pelas plantas cultivadas, sendo os maiores valores encontrados no SPD na camada de 0-5 cm, e nos sistemas de culturas com gramíneas. Na camada de 0-20 cm, os diferentes cultivos influenciaram o acúmulo de Nam, porém este não foi influenciado por sistema de preparo do solo, sendo que o acúmulo de Nam foi maior em sistemas com maior aporte de fitomassa (AMORIM, 2016).

## 7 CONCLUSÃO

A mata apresenta os maiores teores e estoques de COT e NT, áreas em que os atributos químicos, físicos e biológicos do solo são mantidos estáveis ao longo do tempo. O SPDH apresenta os maiores teores e estoques de COT e NT com a utilização de consórcio gramíneas e crucíferas em detrimento dos cultivos solteiro, além de ser superior em comparação ao SPDH com vegetação espontâneas e ao SPC. Os teores e estoques de COT e NT diminuem com o aumento da profundidade, indicando que a sua manutenção é diretamente influenciada pela presença de cobertura em superfície.

Os teores e estoques de MOL são superiores na área de MATA onde ocorre constante entrada de material vegetal e a manutenção dessa fração parcialmente decomposta. O SPDH com a utilização de gramíneas solteiras destaca-se em relação ao SPDH com consórcio, SPDH com vegetação espontânea e ao SPC, se justificando pela maior relação C/N dessas plantas, material vegetal com lenta taxa de decomposição e maior permanência no solo.

O COp e Np são superiores na MATA por ser um ambiente sem interferência antrópica. Não há diferença para o Np entre MATA, CE e CE+NB demonstrando que o SPDH é eficiente em elevar esses teores ao substituir uma área de SPC por SPDH. O CE e o NB, em consórcio e solteiros, apresentam bom desempenho nos teores de COp e Np, evidenciando que essas espécies são plantas capazes de aportar expressivas quantidades de C e N no solo. De forma semelhante aos teores, os estoques de COp e Np são favorecidos nas áreas com a presença de CE e NB solteiras ou em consórcio.

Os maiores teores de COam e Nam são obtidos com SPDH com o consórcio CE+NB, superando a área de referência MATA. Este consórcio é eficiente em recuperar e elevar os teores de COam e Nam na camada superficial do solo após a substituição de SPC por SPDH na área experimental. Assim como os teores, os estoques de COam e Nam são superiores a MATA no consórcio CE+NB.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O SPDH é uma técnica acessível que pode ser praticada em qualquer propriedade rural e seus benefícios são múltiplos. O aporte de C e N são apenas alguns benefícios provenientes da utilização de plantas de cobertura e dos princípios do SPDH, pois podemos ressaltar a preservação de recursos como o solo e a água, assim como obtenção de produções com elevada qualidade.

De forma geral, o consórcio de plantas de cobertura é uma alternativa ideal para obter o máximo potencial do SPDH, favorecendo diversos mecanismos entre solo, planta e atmosfera, que acarretaram na melhoria da qualidade do solo, aumento da matéria orgânica e maiores estoques de C e N.

Neste sentido, os resultados obtidos neste estudo indicam que o consórcio entre gramíneas e crucíferas é um manejo eficaz no aumento dos teores e estoques de C e N no solo, com destaque para a gramínea CE que apresentou elevados teores e estoques de C<sub>OP</sub> e N<sub>p</sub>. As gramíneas solteiras se sobressaíram nos teores e estoques de MOL, entretanto, a maior permanência deste material sobre o solo pode resultar na imobilização de nutrientes. Por isso, é importante o equilíbrio da relação C/N, através da utilização de consórcio de plantas de diferentes famílias botânicas, para que haja um equilíbrio na taxa de decomposição e mineralização dos nutrientes para o solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIERI, M. A.; LANA, M. A.; BITTENCOURT, H. V.; KIELING, A. S.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. 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, out. 2011. Informa UK Limited. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/10440046.2011.588998>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/233156576\\_Enhancing\\_Crop\\_Productivity\\_via\\_Weed\\_Suppression\\_in\\_Organic\\_No-Till\\_Cropping\\_Systems\\_in\\_Santa\\_Catarina\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/233156576_Enhancing_Crop_Productivity_via_Weed_Suppression_in_Organic_No-Till_Cropping_Systems_in_Santa_Catarina_Brazil). Acesso em: 18 maio 2021.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Dpuqt7omJfQJ:https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/485005/1/Plantascobertura.pdf+&cd=3&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 28 jan. 2021.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileiro de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 23, p. 679-686, 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n3/22.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2021.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 189-197, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n1/20.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2021.
- AMADO, T. J. C.; FIORIN, J. E.; ARNS, U.; NICOLOSO, R. S.; FERREIRA, A. O. Adubação verde na produção de grãos e no sistema de plantio direto. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014. Cap. 16. p. 81-125.
- AMADORI, C.; CONCEIÇÃO, P. C.; CASALI, C. A.; CALEGARI, A.; BATISTA, C. B.; DIECKOW, J. Estoque de carbono em frações físicas da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais [...]**. Natal: SBCS, 2015. p. 1-4. Disponível em: <https://orgprints.org/29939/1/CBCS%202015.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2021.
- AMORIM, F. F. **Agregação e estabilidade da matéria orgânica em sistemas conservacionistas de manejo do solo**. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=001021855&loc=2017&l=9d1da924aa8ff4b1>. Acesso em: 29 jan. 2021.
- ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Wallingford: CAB International, 1989. 171p.

ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 10, p. 1541-1550, out. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v41n10/a12v4110.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2021.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, v.53, p.215-230, 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198799001075>. Acesso em: 12 jan. 2021.

BATISTA, I.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROWS, J. R. C. Teores e estoque de carbono em frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3377-3388, 6 dez. 2013. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6supl1p3377>. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/111547/WOS000328276600022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 out. 2019.

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 CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [s. l], v. 24, p. 599-607, 2000. Disponível em: [https://www.rbcjournal.org/wp-content/uploads/articles\\_xml/0100-0683-rbcs-S0100-0683200000300013/0100-0683-rbcs-S0100-0683200000300013.pdf](https://www.rbcjournal.org/wp-content/uploads/articles_xml/0100-0683-rbcs-S0100-0683200000300013/0100-0683-rbcs-S0100-0683200000300013.pdf). Acesso em: 22 jan. 2021.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. 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, jul. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2004000700009>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2004000700009](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2004000700009). Acesso em: 29 jan. 2021.

BAYER, C.; SCHENEIDER, N. G. Plantio direto e o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de Teutônia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 165-166, 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v29n1/a30v29n1.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2021.

BEUTLER, J. F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L. P. Perdas de solo e água num latossolo vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [s. l], v. 27, p. 509-517, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n3/16668.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2021.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil Carbon Fractions Based on their Degree of Oxidation, and the Development of a Carbon Management Index for Agricultural Systems. **Australian Journal Of Agricultural Research**, Armidale, v. 46, n. 7, p.1459-1466, 1995. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/248897163\\_Soil\\_Carbon\\_Fractions\\_Based\\_on\\_Their\\_Degree\\_of\\_Oxidation\\_and\\_the\\_Development\\_of\\_a\\_Carbon\\_Management\\_Index\\_for\\_Agricultural\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/248897163_Soil_Carbon_Fractions_Based_on_Their_Degree_of_Oxidation_and_the_Development_of_a_Carbon_Management_Index_for_Agricultural_Systems). Acesso em: 24 out. 2019.

BORTOLON, E. S. O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C. G.; LOPES, F.; FERNANDES, F. F. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.1635-1646, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n6/a12v33n6.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2019.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. Cap. 11. p. 398-435. Tradução técnica: Igo Fernando Lespsch

CALVINO, Italo. **Palomar**. Lisboa: Planeta Deagostini, 1983. 138 p. Tradução de: João Reis.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society Of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p.777-783, 1992. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>. Acesso em: 24 out. 2019.

CAMPOS, B. C.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R. S.; FIORIN, J. E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 805-817, jun. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832011000300016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n3/v35n3a16.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2021.

CANTON, L.; LOSS, A.; SANTOS, L. H.; FERREIRA, G. W.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Fracionamento Granulométrico da Matéria Orgânica sob Sistema Plantio Direto Agroecológico e Convencional da Cebola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais [...]**. Natal: SBCS, 2015. p. 1-4. Disponível em: <https://www.eventossilos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/610.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2021.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. SPD aumenta sequestro de carbono pelo solo. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 9, p.132-135, jul. 2009. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Ambiente01.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p.1028-1035, set. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v45n9/a13v45n9.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2019.

CARMO, F. F.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 420-431, 2012. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/12351>. Acesso em: 28 jan. 2021.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNAVI, P. R., ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de

atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v33n6/a26v33n6.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2021.

COMIN, J. J.; FERREIRA, L. B.; SANTOS, L. H.; KOUCHER, L. P.; MACHADO, L. N.; SANTOS JUNIOR, E.; MAFRA, Á. L.; KURTZ, C.; SOUZA, M.; BRUNETTO, G.; LOSS, A. 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, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2018.08.002>. Disponível em: [http://www.agrisus.org.br/arquivos/Artigo\\_Soil\\_Tillage.pdf](http://www.agrisus.org.br/arquivos/Artigo_Soil_Tillage.pdf). Acesso em: 02 fev. 2021.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 29, n. 5, p. 777-788, out. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832005000500013>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832005000500013](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000500013). Acesso em: 27 jan. 2021.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 425-432, 1999. Disponível em: [https://www.rbcsjournal.org/wp-content/uploads/articles\\_xml/0100-0683-rbcs-S0100-06831999000200025/0100-0683-rbcs-S0100-06831999000200025.pdf](https://www.rbcsjournal.org/wp-content/uploads/articles_xml/0100-0683-rbcs-S0100-06831999000200025/0100-0683-rbcs-S0100-06831999000200025.pdf). Acesso em: 26 jan. 2021.

COSTA, P. M. O. **Dinâmica de serapilheira e diversidade de fungos em solo de sistema agroflorestal**. 2015. 94 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biologia de Fungos, Micologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/24290/1/TESE%20Phelipe%20Manoel%20Oller%20Costa.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

COSTA, M. S. S. M.; PIVETTA, L. A.; STEINER, F.; COSTA, L.A.M.; CASTOLDI, G.; GOBBI, F.C. Atributos químicos do solo sob plantio direto afetado por sistemas de culturas e fontes de adubação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal Of Agricultural Sciences**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 579-587, 31 dez. 2011. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i4a997>. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=71&path%5B%5D=133>. Acesso em: 02 fev. 2021.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. 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, fev. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000100030>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832008000100030](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100030). Acesso em: 01 fev. 2021.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006. Disponível em:

[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2006000700016&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2006000700016&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 02 fev. 2021.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 587-589, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v34n2/a41v34n2.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2021.

COSTA, E. M.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1842-1860, 2013. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/materia%20organica.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2021.

CQFS-SC/RS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016). Manual de calagem e adubação para os Estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 376p.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 36, n. 6, p. 1714-1723, dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832012000600005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n6/05.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: EMBRAPA Solos, 2013. 353p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. revisada. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Sistema de produção para a cebola**: Santa Catarina. 4. ed. Florianópolis: Epagri, 2013. 106 p. Disponível em:

[https://circam.epagri.sc.gov.br/circam\\_arquivos/cebola/acervo/sistema\\_producao\\_cebola\\_sc.pdf](https://circam.epagri.sc.gov.br/circam_arquivos/cebola/acervo/sistema_producao_cebola_sc.pdf). Acesso em: 03 jul. 2019.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. Uso de leguminosas herbáceas para adubação verde. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. **Agroecologia: Princípios e Técnicas para uma Agricultura Orgânica Sustentável**. Brasília: Embrapa, 2005. Cap. 18. p. 435-452. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/AgrobCap18ID-rODRLL1PIX.pdf>. Acesso em: 27 out. 2019.

EUROSTAT. **Archive: Agriculture - greenhouse gas emission statistics**. 2018. Disponível em: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Archive:Agriculture\\_-\\_greenhouse\\_gas\\_emission\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Archive:Agriculture_-_greenhouse_gas_emission_statistics). Acesso em: 10 jul. 2019.

FACCIN, F. C.; MARCHETTI, M. E.; SERRA, A. P.; ENSINAS, S. C. Frações granulométricas da matéria orgânica do solo em consórcio de milho safrinha com capim-

marandu sob fontes de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 51, n. 12, p. 2000-2009, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016001200011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v51n12/1678-3921-pab-51-12-02000.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2021.

FAOSTAT - Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **Produção mundial de cebola, ano de 2017**. FAO, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 27 jul. 2019.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L.; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, C. M.; GUARÇONI, R. C. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 19-28, dez. 2015. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/12953/3/312-645-1-PB.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2021.

FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças: método de transição para um novo modo de produção**. São Paulo: Expressão Popular, 2019. Ed. 1, 432 p.

FERREIRA FILHO, R. M. **Frações da matéria orgânica e atributos físicos de um vertissolo em sistemas de consórcio de longa duração**. 2017. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15452/1/DS197.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2021.

FERREIRA, L. B.; LOSS, A.; GIUMBELLI, L. D.; VENTURA, B. S.; SOUZA, M.; MAFRA, A. L.; KURTZ, C.; COMIN, J. J.; BRUNETTO, G. 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. CSIRO Publishing. <http://dx.doi.org/10.1071/sr18167>. Disponível em: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7IVp3F4tfmgJ:www.agrisus.org.br/arquivos/artigo\\_Loss\\_janeiro2019.pdf+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:7IVp3F4tfmgJ:www.agrisus.org.br/arquivos/artigo_Loss_janeiro2019.pdf+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br). Acesso em: 19 ago. 2019.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; CARNEIRO, M. A. C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 907-916, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000300032>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832010000300032](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000300032). Acesso em: 24 out. 2019.

FLORES, C. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A. Recuperação da qualidade estrutural, pelo sistema plantio direto, de um Argissolo Vermelho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2164-2172, nov. 2008. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:GMt0F1Tn-vMJ:https://core.ac.uk/download/pdf/207079621.pdf+&cd=17&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 18 maio 2021.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. II

- Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [s. l.], v. 28, p. 751-762, 2004. Disponível em: [https://www.rbcjournal.org/wp-content/uploads/articles\\_xml/0100-0683-rbcs-S0100-06832004000400015/0100-0683-rbcs-S0100-06832004000400015.pdf](https://www.rbcjournal.org/wp-content/uploads/articles_xml/0100-0683-rbcs-S0100-06832004000400015/0100-0683-rbcs-S0100-06832004000400015.pdf). Acesso em: 28 jan. 2021.

GONÇALVES, P. A. S.; MENEZES JUNIOR, F. O. G.; VIEIRA NETO, J. O valor nutracêutico da cebola. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 29, n. 1, p. 41-44, 2016. Disponível em: [https://www.google.com/search?q=O+valor+nutrac%C3%AAutico+da+cebola&rlz=1C1CHBD\\_pt-PTBR916BR916&oq=O+valor+nutrac%C3%AAutico+da+cebola&aqs=chrome.69i59j69i60.266j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8#](https://www.google.com/search?q=O+valor+nutrac%C3%AAutico+da+cebola&rlz=1C1CHBD_pt-PTBR916BR916&oq=O+valor+nutrac%C3%AAutico+da+cebola&aqs=chrome.69i59j69i60.266j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8#). Acesso em: 07 ago. 2019.

GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREALL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal Of Soil Science**, San Francisco, v. 74, n. 4, p.367-385, 1994. Disponível em: <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/cjss94-051>. Acesso em: 24 out. 2019.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; SOARES, P. F. C.; BARROS, F. C.; PERIN, A.; ROSSI, C. Q. Compartments of organic matter in an Oxisol under different types of no-tillage systems. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n. 2, p. 533-548, abr. 2018. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/30308>. Acesso em: 27 out. 2019.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 16, n. 10, p. 1055-1061, out. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662012001000004>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662012001000004](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012001000004). Acesso em: 01 fev. 2021.

HOORMAN, J. J. **Using Cover Crops to Improve Soil and Water Quality**. Agriculture and Natural Resources. The Ohio State University Extension, Lima, Ohio. 4p, 2009. Disponível em: <https://climatechange.lta.org/using-cover-crops/>. Acesso em: 27 ago. 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro: IBGE, 2017a. 81 p. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2017/lspa\\_201701.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2017/lspa_201701.pdf). Acesso em: 03 jul. 2019.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**: Resultados preliminares. 2017b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/ituporanga/pesquisa/24/76693>. Acesso em: 03 jul. 2019.

JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. S.; BRANDT, S. A.; LAFOND, G.P; TOWNLEY-SMITH, L. Light-Fraction Organic Matter in Soils from Long-Term Crop Rotations. **Soil Science Society Of America Journal**, Madison, v. 56, n. 6, p.1779-1086, nov. 1992. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2136/sssaj1992.03615995005600060025>. Acesso em: 22 out. 2019.

KANAZAWA, S.; FILIPT, Z. Distribution of microorganisms, total biomass, and enzyme activities in different particles of brown soil. **Microbial Ecology**, Nova York, v. 12, p.205-215, 1986. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02011205>. Acesso em: 24 out. 2019.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; SILVA, P. B.; CARDOSO, M. M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 33-40, mar. 2012. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/12558/8344>. Acesso em: 23 jan. 2021.

KONG, A. Y. Y.; SIX, J.; BRYANT, D. C.; DENISON, R. F.; KESSEL, C. V. The relationship between carbon input, aggregation, and soil organic carbon stabilization in sustainable cropping systems. **Soil Science Society Of America**, Madison, v. 69, n. 4, p.1078-1085, jun. 2005. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228623367\\_The\\_Relationship\\_between\\_Carbon\\_Input\\_Aggregation\\_and\\_Soil\\_Organic\\_Carbon\\_Stabilization\\_in\\_Sustainable\\_Cropping\\_System](https://www.researchgate.net/publication/228623367_The_Relationship_between_Carbon_Input_Aggregation_and_Soil_Organic_Carbon_Stabilization_in_Sustainable_Cropping_System). Acesso em: 10 jul. 2019.

KURTZ, C.; PAULETTI, V.; FAYAD, J. A.; VIEIRA NETO, J. Crescimento e absorção de nutrientes pela cultivar de cebola Bola Precoce. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 279-288, jun. 2016. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-05362016000200279&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-05362016000200279&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 10 mar. 2021.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1273-1280, 2010. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/192776513.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2021.

LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; MADEIRA, N. R.; SILVA, J.; GUEDES, Í. M. R.; SILVA, L. R. B.; SOARES, D. C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 51, n. 4, p. 378-387, abr. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000400011>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2016000400378&lng=pt&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2016000400378&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 28 jan. 2021.

LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E.; SCHMITZ, D.; VEIGA, M.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 105-113, 1 jan. 2017. Sociedad Colombiana de Ciencias Horticolas. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6144>. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v11n1/2011-2173-rcch-11-01-00105.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2021.

LOSS, A.; COSTA, E. M.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de La Facultad de Agronomía, La Plata**, v. 113, n. 1, p.1-8, 2014a. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/307964375\\_Agregacao\\_materia\\_organica\\_leve\\_e\\_carbono\\_mineralizavel\\_em\\_agregados\\_do\\_solo](https://www.researchgate.net/publication/307964375_Agregacao_materia_organica_leve_e_carbono_mineralizavel_em_agregados_do_solo). Acesso em: 24 out. 2019.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M.; BEUTLER, S. J. Frações granulométricas e oxidáveis de matéria orgânica sob diferentes sistemas de uso do solo, no Paraná, Brasil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p.43-54, 2014b. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15041/13681>. Acesso em: 24 out. 2019.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; TORRES, J. L. R. Carbono orgânico no solo sob sistemas conservacionistas no cerrado. In: AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; CHAGAS, C. I.; ZONTA, E. (Org.). **Impactos ambientais provenientes da produção agrícola: experiências argentinas e brasileiras**. São Paulo/Rio de Janeiro: Livre Expressão, 2016. Cap. 2. p. 259-282. Disponível em: <http://www.ia.ufrj.br/zonta/impactosambientais2016view.pdf>. Acesso em: 20 out. 2019.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Carbon and nitrogen content and stock in no-tillage and crop-livestock integration systems in the Cerrado of Goiás state, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 4, n. 8, p. 96-105, 2012. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.989.7901&rep=rep1&type=pdf>. Acesso: 14 dez. 2020.

LOSS, A.; MORAES, A. G. L.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; ANJOS, L. H. C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, [s. l.], v. 1, p. 57-64, 2010. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/327127571.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2021.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. 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, ago. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140718>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbc/v39n4/0100-0683-rbc-39-4-1212.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2021.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 175-187, fev. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832004000100017>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832004000100017&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832004000100017&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 01 fev. 2021.

MACHADO, P. L. O. A. Manejo da matéria orgânica de solos tropicais. **Embrapa Solos**, Rio de Janeiro, v. 24, 20 p. 2001. (Documentos; n. 24). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS/11851/1/doc242001solostropicais.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2021.

MAFRA, A. L.; COMIN, J. J.; LANA, M. A.; BITTENCOURT, H. V. H.; LOVATO, P. E.; WILDNER, L. P. Iniciando o sistema de plantio direto de hortaliças: adequações do solo e práticas de cultivo. In: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI,

D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças**: método de transição para um novo modo de produção. São Paulo: Expressão Popular, 2019. Cap. 11. p. 215-226.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [s. l.], v. 30, p. 163-170, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v30n1/a16v30n1.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2021.

MARTINS, R. P.; COMIN, J. J.; GATIBONI, L. C.; SOARES, C. R. F.; COUTO, R. R.; BRUNETTO, G. Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola. **Revista Ceres**, [s.l.], v. 61, n. 4, p.587-596, ago. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201461040020>. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-737X2014000400020&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2014000400020&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 18 set. 2019.

MASSON, I.; ARL, V.; WUERGES, E. W. Trajetória, concepção metodológica e desafios estratégicos junto ao sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH). In: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças**: método de transição para um novo modo de produção. São Paulo: Expressão Popular, 2019. Cap. 1. p. 25-38.

MAZURANA, M.; FINK, J. R.; CAMARGO, E.; SCHMITT, C.; ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O. Estoque de carbono e atividade microbiana em sistema de plantio direto consolidado no Sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 36, n. 3, p. 288-296, 2013. Disponível em: [http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0871-018X2013000300002](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2013000300002). Acesso em: 27 jan. 2021.

MEHTA, I. Origin and History of Onions. **Journal Of Humanities And Social Science**. Índia, V. 22, N. 9, p. 07-10, set. 2017. Disponível em: <http://www.iosrjournals.org/iosr-jhss/papers/Vol.%2022%20Issue9/Version-13/B2209130710.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2019.

MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, F.; SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1511-1519, set. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v51n9/0100-204X-pab-51-09-1511.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2021.

MERCANTE, F. M.; HUNGRIA, M.; MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B.; ANDRADE, D. S. Fixação biológica de nitrogênio em adubos verdes. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**: fundamentos e práticas. Brasília, DF : Embrapa, 2014. Cap. 8. p. 307-334.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura del suelo**: características y manejo en pequeñas propiedades. Chapecó: de Autor, 1991. 337 p.

MONQUERO, P. A.; HIRATA, A. C. S. Manejo de plantas daninhas com adubação verde. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.) **Adubação verde e plantas de cobertura no brasil**: fundamentos e práticas. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 13. p. 481-507.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Ed. Lavras: UFLA, 2002. 626 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p. Disponível em: [http://www.esalq.usp.br/departamentos/lso/arquivos\\_aula/LSO\\_400%20Livro%20-%20Microbiologia%20e%20bioquimica%20do%20solo.pdf](http://www.esalq.usp.br/departamentos/lso/arquivos_aula/LSO_400%20Livro%20-%20Microbiologia%20e%20bioquimica%20do%20solo.pdf). Acesso em: 27 out. 2019.

NUNES, R. S.; LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; MENDES, I. C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de Cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, [s. l.], v. 35, p. 1407-1419, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n4/a35v35n4.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2021.

OLIVEIRA, R. A. **Decomposição de plantas de cobertura e efeito no rendimento da cebola e na biodisponibilidade de fósforo em sistema de plantio direto**. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/158902/337796.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 fev. 2021.

OLIVEIRA, R. A.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; GATIBONI, L. C.; KÜRTZ, C.; MÜLLER JÚNIOR, V.; LOVATO, P. E.; OLIVEIRA, B. S.; SOUZA, M.; COMIN, J. J. Cover Crops Effects on Soil Chemical Properties and Onion Yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v40/0100-0683-rbcs-18069657rbcs20150099.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

PAVEI, M. A. **Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa (PR)**. 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia de Agroecossistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/91/91131/tde-21092007-110006/publico/MarianaPavei.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2021.

PEIXOTO, R. T. G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. (Ed.). **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa: IAPAR/PRP-PG, 1997. 275 p.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v45n5/10.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2021.

RIBEIRO, P. H.; SANTOS, J. V. V. M.; COSER, S. M.; NOGUEIRA, N. O.; MARTINS, C. A. S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **A Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 6, n. 1, p. 43-50, mar. 2011. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/476>. Acesso em: 09 fev. 2021.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; FERNANDES, K. L.; HERMÓGENES, V. T. L. Alterações na estabilidade de agregados de latossolo e argissolo em

função do manejo, na entrelinha da seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Revista Árvore**, [S.L.], v. 38, n. 6, p. 1065-1071, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622014000600011>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622014000600011](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622014000600011). Acesso em: 18 maio 2021.

RODRIGUES, R. A. R.; MELLO, W. Z.; CONCEIÇÃO, M. C. G.; SOUZA, P. A.; SILVA, J. N. Dinâmica do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas e Florestais Tropicais e seu Impacto na Mudança do Clima. **Revista Virtual de Química**. Rio de Janeiro, v. 9, n. 5, p. 1868-1886, 2017. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170110>. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167298/1/2017-038.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2019.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica de solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 304p, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/192419/1/livro-Dinamica....pdf>. Acesso em: 19 ago. 2019.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema Radicular de Plantas e Qualidade do Solo**. Dourados: Embrapa, 2014. 6 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado, 198). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1005326/1/COT198.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2021.

SANT-ANNA, S. A. C.; JANTALIA, C. P.; SÁ, J. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. **Nutrient Cycling In Agroecosystems**, Ithaca, v. 108, n. 1, p. 101-120, 9 dez. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-016-9812-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-016-9812-z#citeas>. Acesso em: 29 out. 2019.

SANTOS, L. H.; CANTON, L.; VENTURA, B. S.; FERREIRA, G. W.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E.; LOSS, A. Chemical properties in macroaggregates of a humic dystropept cultivated with onion under no-till and conventional tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 41, p. 1-13, 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20160419>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbc/v41/0100-0683-rbc-18069657rbc20160419.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2021.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Rotação de culturas para trigo, após quatro anos: efeitos na fertilidade do solo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 259-265, 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v29n2/a12v29n2.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2021

SANTOS, L. H.; LOSS, A.; CANTON, L.; SANTOS JUNIOR, E.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbon of humic substances in soil aggregates cultivated with onion under no-till and conventional tillage systems. **Idesia**, Chile, v. 36, n. 1, p.15-25, jan. 2018. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v36n1/0718-3429-idesia-36-01-00015.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2019.

SECRETI, M. L. **Aporte de carbono ao solo por sistemas de monocultura, sucessão e rotação de culturas**. 2017. 74 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/471/1/MateusLuizSecretti.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2021.

SILVA, E. F.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l], v. 46, n. 10, p. 1321-1331, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v46n10/46v10a27.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2021.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; FERNANDES, J. C. F.; FONSECA JÚNIOR, A. M.; GAIA-GOMES, J. H.; MENEZES, C. E. G. Soil organic matter fractions, chemical attributes and aggregation under forestry and agricultural systems. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 8, n. 3, p.459-468, 2017. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/1788/494>. Acesso em: 27 out. 2019.

SILVA, A. M. **Dinámica del carbono y del nitrógeno en los suelos**. Ed. 1. São Paulo: Baraúna, 2014. 77 p.

SILVA, A. L.; MAFRA, A. L.; KLAUBERG FILHO, O.; KURTZ, C.; FAYAD, J. A. Carbono e nitrogênio microbiano em sistemas de cultivo de cebola em Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 13, n. 2, p.142-150, jul. 2014. Disponível em: <http://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5627/3823>. Acesso em: 19 ago. 2019.

SILVA, M. S.; SILVA, E. M. R.; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. F. Estoque de serapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 431-441, 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.058>. Disponível em: <http://www.floram.periodikos.com.br/article/10.4322/floram.2012.058/pdf/floram-19-4-431.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719870300196X>. Acesso em: 06 ago. 2019.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, [S.L.], v. 74, n. 1-2, p. 65-105, nov. 1996. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061\(96\)00036-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0016-7061(96)00036-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706196000365>. Acesso em: 03 fev. 2021.

SOUZA, D. A. **Atributos microbiológicos do solo sob sistemas integrados de produção.** 2016. 74 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Mestrado em Agronomia, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2016. Disponível em: <https://uenp.edu.br/dissertacao-agronomia/7671-dayane-aparecida-de-souza/file>. Acesso em: 18 maio 2021.

SOUZA, M.; COMIN, J. J.; LEGUIZAMÓN, E. S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; MÜLLER JÚNIOR, V.; VENTURA, B.; CAMARGO, A. P. 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, 4 dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782012005000150>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v43n1/a2313cr2012-0165.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2021.

SOUZA, M. **Desempenho Agrônômico e Estudo Fitoquímico de Plantas de Cobertura em Sistema de Plantio Direto Agroecológico de Cebola.** 2017. 210 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/185633/PAGR0398-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 maio 2019.

SOUZA, M.; MÜLLER JUNIOR, V.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; COUTO, R. R.; COMIN, J. J. Weed Emergence in a Soil with Cover Crops in an Agroecological No-Tillage System. **Planta Daninha**, [S.L.], v. 36, p. 1-9, 3 set. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-8358201836010065>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582018000100265](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582018000100265). Acesso em: 10 mar. 2021.

SWANTON, C. J.; JANSE, S.; CHANDLER, K.; BOOTH, B. D. Zone tillage systems for onion and carrot production on muck soils. **Canadian Journal Of Plant Science**, Canadá, v. 84, n. 4, p.1167-1169, 2004. Disponível em: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdfplus/10.4141/P03-166>. Acesso em: 16 out. 2019.

TIVET, F.; SÁ, J. C. M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P. R.; SANTOS, J. B.; FARIAS, A.; EURICH, G.; HARTMAN, D. C.; NADOLNY JUNIOR, M.; BOUZINAC, S.; SEGUY, L. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil And Tillage Research**, [s.l.], v. 126, p.203-218, jan. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.09.004>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/277435666\\_Aggregate\\_C\\_depletion\\_by\\_plowing\\_and\\_its\\_restoration\\_by\\_diverse\\_biomass-C\\_inputs\\_under\\_no-till\\_in\\_sub-tropical\\_and\\_tropical\\_regions\\_of\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/277435666_Aggregate_C_depletion_by_plowing_and_its_restoration_by_diverse_biomass-C_inputs_under_no-till_in_sub-tropical_and_tropical_regions_of_Brazil). Acesso em: 19 ago. 2019.

URQUIAGA, S; JANTALAIA, C. P; ZOTARELLI, L; ALVES, B. J. R; BODDEY, R. M. **Manejo de sistemas agrícolas para sequestro de carbono no solo.** Cap. 12, 2006. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/biotacap12ID-KOMNoUu66b.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2021.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 35-42, mar. 2000. FapUNIFESP (SciELO).

<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832000000100005>. Disponível em:  
[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832000000100005](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832000000100005). Acesso em: 02 fev. 2021.

WILDNER, L. P. Adubação verde: conceitos e modalidades de cultivo. In: LIMA FILHO, Oscar Fontão de; AMBROSANO, Edmilson José; ROSSI, Fabrício; CARLOS, José Aparecido Donizeti (ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**: fundamentos e prática. Brasília: Embrapa, 2014. Cap. 14. p. 19-44.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**: fundamentos e práticas. Brasília, DF : Embrapa, 2014. v.1, 507 p. Cap. 3. p. 59-168.