



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS
CURSO DE AGRONOMIA

DIEGO JOSÉ DA COSTA BANDEIRA

MACROFAUNA E CARBONO ORGÂNICO TOTAL EM SISTEMAS AGRÍCOLAS

MOSSORÓ

2021

DIEGO JOSÉ DA COSTA BANDEIRA

MACROFAUNA E CARBONO ORGÂNICO TOTAL EM SISTEMAS AGRÍCOLAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia, da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito parcial à obtenção do título
de Agrônomo.

Orientadora: Profa. Dra. Jeane Cruz Portela

MOSSORÓ
2021

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B214m Bandeira, Diego José da Costa.
 MACROFAUNA E CARBONO ORGÂNICO TOTAL EM
 SISTEMAS AGRÍCOLAS / Diego José da Costa
 Bandeira. - 2021.
 38 f. : il.

 Orientadora: Jeane Cruz Portela.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2021.

 1. Práticas conservacionistas. 2. Inter-
 relações dos atributos. 3. Multivariada. 4.
 Sazonalidade. 5. Biodiversidade. I. Portela,
 Jeane Cruz, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

DIEGO JOSÉ DA COSTA BANDEIRA

MACROFAUNA E CARBONO ORGÂNICO TOTAL EM SISTEMAS AGRÍCOLAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia, da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Agrônomo.

Defendida em: 18 / 11 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra Jeane Cruz Portela (UFERSA)

Presidente



Mrs. Joaquim Emanuel Fernandes Gondim. (UFPB)

Membro Examinador



Prof. Dr Rauny Oliveira de Souza (UFPEL)

Membro Examinador



Profa. Dra. Maria Laiane do Nascimento Silva (UFMA)

Membro Examinador

RESUMO

Com a degradação expressiva, estudos que concerne a macrofauna e o carbono orgânico total são relevantes, pois permitem estabelecer suas inter-relações, caracterizando os ambientes e identificando as potencialidades e limitações. Objetivou-se a realização de uma criteriosa revisão de literatura referente a macrofauna e o carbono orgânico total em sistemas de uso do solo e cultivos agrícolas, estabelecendo contrastes entre os resultados encontrados em artigos científicos com JCR Journal Citation Reports, de modo a discutir e interpretar metodologias e ferramentas estatísticas apropriadas a cada particularidade, inserindo uma discussão crítica. A escolha dos artigos científicos sobre os temas supracitados foi realizada em diferentes plataformas, com publicações atuais, e com fator de impacto. Os estudos apresentaram diversificação de regiões, precipitação pluvial, classificação e atributos do solo, vegetação, ferramentas estatísticas, e sazonalidade. Houve variações entre os métodos estatísticos, sendo a multivariada a mais utilizadas, por se tratar de sistemas abertos. Identificou-se que em áreas com preparo mínimo do solo, e de referência (mata nativa, ou preservada), apresentam maior riqueza, densidade e diversidade de espécies, e que a riqueza de determinados grupos taxonômico não pode ser usado como único parâmetro para a qualidade do solo, e sim a diversidade de espécies com maior número de grupos taxonômicos. Foi identificado que plantio direto não possui o efeito de mitigar ações do solo, e quando não é utilizado práticas intercaladas impacta negativamente a macrofauna e do carbono orgânico total, com redução da biodiversidade, superfície do solo consolidada ao longo do tempo, e ausência de cobertura vegetal, sendo determinante adoção de um conjunto de práticas conservacionistas. O estudo permitiu realizar um treinamento essencial no processo de aprendizado, aguçando um olhar crítico sobre novas plataformas científicas, como também, situações ignoradas nos estudos, quanto ausência da sazonalidade, conjuntos de atributos do solo e suas inter-relações, históricos das áreas (usos de agroquímicos), classificação dos solos, precipitação pluvial, e diversidade de métodos estatísticos.

Palavras-chave: Práticas conservacionistas. Inter-relações dos atributos. Multivariada. Sazonalidade. Biodiversidade. Ações antrópicas.

ABSTRACT

With the expressive degradation, studies concerning the macrofauna and the total organic carbon are relevant, as they allow establishing their interrelationships, characterizing the environments and identifying the potentials and limitations. The objective was to carry out a thorough literature review regarding macrofauna and total organic carbon in land use systems and agricultural crops, establishing contrasts between the results found in scientific articles with JCR Journal Citation Reports, in order to discuss and interpret methodologies and statistical tools appropriate to each particularity, inserting a critical discussion. The choice of scientific articles on the aforementioned topics was carried out on different platforms, with current publications, and with an impact factor. The studies showed region diversification, rainfall, soil classification and attributes, vegetation, statistical tools, and seasonality. There were variations between the statistical methods, with the multivariate being the most used, as they are open systems. It was identified that in areas with minimal soil preparation, and reference (native or preserved forest), they present greater richness, density and diversity of species, and that the richness of certain taxonomic groups cannot be used as the only parameter for the soil quality, but the diversity of species with the largest number of taxonomic groups. It was identified that no-tillage does not have the effect of mitigating soil actions, and when intercalated practices are not used, it negatively impacts the macrofauna and total organic carbon, with reduced biodiversity, consolidated soil surface over time, and lack of cover the adoption of a set of conservation practices is crucial. The study allowed for essential training in the learning process, sharpening a critical eye on new scientific platforms, as well as situations ignored in studies, such as the absence of seasonality, sets of soil attributes and their interrelationships, historical areas (uses of agrochemicals), soil classification, rainfall, and diversity of statistical methods.

Keywords: Conservation practices. Interrelationships of attributes. Multivariate. Seasonality. Biodiversity. Anthropogenic actions.

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização dos artigos científicos quanto ao autor, ano de publicação, fator de impacto, periódico e revista.....	26
Tabela 2 - Caracterização quanto ao local onde foi realizado o estudo, precipitação pluvial, sistemas agrícolas avaliados, vegetação e classificação do solo.	27
Tabela 3 - Caracterização dos atributos do solo, métodos estatísticos utilizados, e sazonalidade.	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO E AS PRINCIPAIS POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DOS ESTUDOS	10
2.1 Macrofauna edáfica do solo	10
2.1.1 Importância da macrofauna edáfica no solo	11
2.1.2 Tamanho e classificação dos organismos que constituem a macrofauna edáfica do solo	12
2.2 Importância da matéria orgânica viva e não viva, em relação as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo	13
2.3 Ciclo do carbono orgânico do solo	15
2.4 Macrofauna edáfica do solo em sistemas agrícolas	16
2.5 Carbono orgânico total em sistemas agrícolas	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

O atual momento ambiental do Brasil está diretamente relacionado à intensa exploração dos recursos naturais e modificações dos agroecossistemas, causada pelo processo erosivo, avanço da urbanização, supressão da vegetação e desagregação dos habitats, tem provocado uma crescente redução da biodiversidade e consequente comprometimento da funcionalidade dos ambientes. Além dos danos ambientais, o uso desordenado dos recursos naturais impacta negativamente a economia e o âmbito social do país. Tais mudanças traz modificações em relação aos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, bem como, alterações na dinâmica das populações da macrofauna e reflexos negativos sobre a concentração de carbono orgânico total (SMITH et al., 2016).

A fração argila e a matéria orgânica (MO) são atributos indispensáveis para a manutenção da vida no solo, e sua importância em relação as características químicas, físicas e biológicas do solo é amplamente reconhecida, por conta dessas características de apresentarem transformações desencadeadas pelos sistemas de manejo do solo e dos cultivos agrícolas. A biodiversidade da macrofauna está diretamente ligada a fração argila e a matéria orgânica, além de atuarem diretamente e indiretamente nos processos de intemperismo químico e biológico, e decomposição da matéria orgânica. A macrofauna representa a parte viva que contribui para fertilidade do solo e, consequentemente, um indicador de sua qualidade juntamente com as inter-relações de outros atributos do solo.

Assim como a macrofauna, o carbono orgânico total está diretamente associado a matéria orgânica e as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, onde são intimamente ligadas a fração orgânica. Desse modo, a adoção de práticas conservacionistas favorece o incremento da matéria orgânica do solo, pois a diminuição do revolvimento e a manutenção dos resíduos na superfície do solo são princípios fundamentais para conservação do solo e da água.

De forma geral, a macrofauna e o carbono orgânico total desempenham um papel fundamental na manutenção da biodiversidade, bem como no funcionamento dos agroecossistemas. Além de possuir importância na agricultura sustentável, a

macrofauna e o carbono orgânico total são imprescindíveis na determinação da qualidade do solo.

São limitadas as revisões de literatura que contrastam diferentes metodologias relacionadas a macrofauna e o carbono orgânico total em diferentes sistemas de uso do solo. O estudo sobre essa problemática proporcionará um melhor entendimento sobre a macrofauna e o COT em diferentes sistemas de manejo, e compreender o atual cenário Brasileiro.

A macrofauna e o carbono orgânico total estão intimamente associados aos processos de decomposição e de ciclagem de nutrientes, os quais são de fundamental importância para a manutenção da produtividade agrícola e preservação dos ecossistemas e agroecossistemas. Assim, atuam como agente transformador com reflexos nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Por serem sensíveis a ações antrópicas, a macrofauna e o COT são usadas como bioindicadores do uso e qualidade do solo, indicando o estado atual e de mudanças induzidas por forças bióticas ou abióticas, ao longo do tempo.

Diante do exposto este trabalho teve como objetivo a realização de uma criteriosa revisão de literatura referente a macrofauna e o carbono orgânico total em sistemas de uso do solo e cultivos agrícolas. Estabelecendo contrastes com os resultados encontrados em artigos científicos com JCR desenvolvidos no Brasil, de modo a discutir e interpretar metodologias e ferramentas estatísticas apropriadas a cada particularidade, inserindo uma discussão crítica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E AS PRINCIPAIS POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DOS ESTUDOS

A pesquisa sobre a macrofauna e o carbono orgânico total vai além de uma opção para determinar a qualidade do solo. Pois, possibilita buscar respostas sobre a distribuição da macrofauna no solo, as funções desempenhadas por cada indivíduo, de que maneira as ações antrópicas interferem na biodiversidade, e por que determinadas ordens taxonômicas se sobressaem em diferentes sistemas de manejo dos solos e cultivos agrícolas, entre outros aspectos. Já o estudo sobre o COT permite buscar explicações sobre sua importância nos processos realizados por plantas e microrganismos, para funcionamento do solo como um todo, e inferir quais sistemas agrícolas permitem a manutenção e/ou degradação do COT.

2.1 Macrofauna edáfica do solo

Na literatura ocorre divergências entre os autores a respeito de uma definição para macrofauna edáfica. De acordo com a definição clássica, a fauna edáfica é a representação dos organismos presentes no solo e que são visíveis ao olho nu (Swift et al., 1979). De acordo com a literatura, esses organismos apresentam diâmetro corporal $>2\text{mm}$ e de 20-30mm de tamanho, e são responsáveis por desempenhar importante papel nos processos relacionados a manutenção dos atributos do solo (BOTINELLI et al., 2015; ERKTAN et al., 2020).

O estudo sobre a macrofauna do solo é de relevância, neste contexto, fica claro que a manutenção da macrofauna melhora o desempenho dos ecossistemas e permite que as funções do solo sejam executadas (LAVELLE et al., 2016). O mais preocupante, contudo, é constatar que ocorre descaso no que se refere a conservação da macrofauna (ORGIAZZI et al., 2016).

Conforme PRESTES; VINCENCI, (2019), a distribuição da macrofauna no solo vem sendo modificada com os diferentes usos do solo e sistemas agrícola. Isso reflete diretamente sobre biodiversidade da macrofauna, mas há um fator que se sobrepõe, que são as medidas que vem sendo adotadas visando a manutenção da

biodiversidade nos ecossistemas, e uma agricultura mais sustentável (ORGIAZZI et al., 2016).

De acordo com Brady & Weil, (2013, p.358-359):

A diversidade de organismos em um solo é um fator importante, devido a razões que vão além daquelas relacionadas à preservação das funções ecológicas, afinal, os solos também dão uma significativa contribuição à biodiversidade do solo. Na maior parte dos ecossistemas saudáveis do solo, existem diversas e, em alguns casos, inúmeras espécies capazes de realizar cada um dos milhares e diferentes processos enzimáticos ou físicos que acontecem todos os dias. Essa redundância funcional dos diversos organismos realizando cada tarefa leva tanto à estabilidade como à resiliência.

Por todas essas razões, a manutenção da macrofauna edáfica do solo é fundamental para a realização dos processos relacionados ao solo, bem como a manutenção da vida nos agroecossistemas. Mas fica evidente, diante de recordes de queimadas e desmatamentos, destruição de mananciais, mostra que o Brasil está retrocedendo no que se refere conservação do meio ambiente (VOGT et al., 2021).

2.1.1 Importância da macrofauna edáfica no solo

A qualidade do solo está relacionada ao seu funcionamento, observado pelos indicadores químicos, físicos e biológicos. A abundância e a diversidade da macrofauna do solo, dos ecossistemas naturais e dos agroecossistemas podem ser utilizados como bioindicadores do uso do solo e da sua fertilidade (VEZZANI et al., 2009; ARAUJO et al., 2019; SILVA et al., 2021).

O monitoramento contínuo torna a macrofauna do solo um instrumento que permite avaliar não só a qualidade do solo, como também o próprio funcionamento de um sistema de produção, já que está se encontra intimamente associada aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes. Na interface solo-planta, o monitoramento dá uma noção do seu estado atual e de mudanças provocadas por forças internas e externas (bióticas e abióticas), ao longo do tempo. Tais distúrbios alteram a distribuição da fauna do solo à medida que alteram a disponibilidade de recurso alimentar, modificando as interações ecológicas entre indivíduos da mesma espécie e de espécies diferentes (BARRETA et al., 2011).

Conforme exemplificado acima, a macrofauna edáfica não se limita a uma opção para determinação da qualidade do solo, a biodiversidade encontrada no solo desempenha funções essenciais para o funcionamento do solo. Espécies da macrofauna, como as minhocas (ordem Haplotaxida), formigas (ordem Hymenoptera), cupins (ordem Isoptera) e besouros (ordem Coleoptera) se destacam, pois atuam não somente como detritívoros, quebrando o material vegetal em frações menores e facilitando a ação decompositora dos microrganismos, mas também agem na formação e estruturação do solo, constituindo um grupo funcional chamados de “engenheiros dos ecossistemas” (LAVELLE et al., 1997).

A formigas são altamente diversificadas, são encontradas mais de 2000 espécies no Brasil, e têm várias funções ecológicas, atuando como importantes predadores de outros organismos, além de cultivadores de fungos (saúvas), detritívoros e fitófagos. Os cupins alimentam-se de material a base de celulose, acelerando a decomposição e a reciclagem dos nutrientes minerais retidos na matéria vegetal morta. Eles são responsáveis pela construção de uma extensa rede de ninhos e túneis no solo, em função de suas necessidades de busca de alimento, proteção e controle ambiental. Com isso, eles movimentam partículas do solo, formam agregados e aumentam a porosidade, aeração, infiltração e drenagem do solo. As minhocas são amplamente conhecidas pela humanidade não somente por sua utilidade como isca para pesca, mas também por seus efeitos benéficos sobre a fertilidade do solo, devido principalmente à mistura de solo e matéria orgânica e à formação de túneis. (MELO et al., 2009, p.38-43).

2.1.2 Tamanho e classificação dos organismos que constituem a macrofauna edáfica do solo

A classificação dos organismos encontrados no solo, modifica sua categoria de acordo com o seu diâmetro corporal ou grupo taxonômico ao qual a espécie pertence. A nomenclatura inicia com a microfauna que corresponde os organismos com diâmetro corporal ($<0,1\text{mm}$), seguido da mesofauna que representa as espécies com diâmetro corporal de $(0,1-2\text{mm})$, e a macrofauna que é constituída por organismos com diâmetro corporal $(> 2\text{mm})$ (SWIFT et al., 1979).

A biodiversidade da macrofauna está distribuída em mais de 20 grupos taxonômicos, e agrupados em cinco grupos. Os artrópodes subdividir-se em aracnídeos, insetos, crustáceos, quilópodes, diplópodes, e as espécies pertencentes aos grupos são os cupins, formigas, minhocas, besouros, tatuzinhos, aranhas, centopeias, piolhos-de-cobra, baratas, tesourinhas. grilos, escorpiões, percevejos,

cigarras, larvas de mosca e de mariposas. E os Mollusca, que é representado pelos caracóis, caramujos e lesmas (DECAËNS et al., 2006; DECAËNS et al., 2008; DECAËNS et al., 2010).

Segundo Brady & Weil (2013), os organismos podem ser agrupados de acordo com seu hábito alimentar. Os organismos que se alimentam de plantas vivas são chamados de herbívoros, os que se alimentam de matéria orgânica em decomposição são chamados de detritívoros, há os que consomem outros animais são chamados de predador, os que devoram fungos são chamados de fungívoro.

Ainda para (Brady & Weil, 2013, p.358):

Os organismos que dependem de compostos orgânicos dos quais retiram o carbono, e a energia de que necessitam são chamados de heterótrofos, já os obtêm seu carbono, principalmente, a partir de dióxido de carbono, e a sua energia advém da fotossíntese ou da oxidação de vários elementos são chamados de autótrofos.

É preciso ressaltar que, a falta de quantificação precisa da macrofauna do solo devido ao conhecimento taxonômico insuficiente, a ausência de análise de distribuição de tamanho e a pouca atenção dada às mudanças sazonais nas comunidades da macrofauna do solo, estão entre os principais problemas destacados na literatura recente. Esses desafios às vezes resultam em avaliações incorretas da abundância da macrofauna, biomassa e diversidade do solo (Gongalsky, 2021).

2.2 Importância da matéria orgânica viva e não viva, em relação as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo

A matéria orgânica pode ser definida como toda fração orgânica presente nos solos, serrapilheira, biomassa microbiana, compostos solúveis em água, e em matéria orgânica estabilizada nos diferentes estádios de decomposição (STEVENSON, 1994). A matéria orgânica do solo consiste em uma complexa e variada mistura de substâncias orgânicas, as quais contêm o elemento carbono, que, em média, compreende cerca de metade da massa das substâncias orgânicas do solo (ZANDONADI et al., 2014).

A matéria orgânica viva compreende a biomassa microbiana do solo, atuando como agente decompositor, fonte de reserva lábil de carbono e nutrientes, no fluxo de energia do solo, e na mineralização (SOUZA et al.,2018). A biomassa microbiana normalmente é maior em camadas mais superficiais pela maior disponibilidade de matéria orgânica, água e outros nutrientes. Os microrganismos, para obtenção de nutrientes e energia, têm ação predominante nos processos de oxidação, redução e complexação de compostos orgânicos e minerais do solo. Esses processos influenciam o ciclo dos nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e enxofre, e que altera a disponibilidade desses nutrientes para as plantas e a sua mobilidade no solo (SILVA et al.,2011).

A matéria orgânica não vivente, corresponde pela decomposição de resíduos de origem animal, vegetal, organismos do solo, e é responsável pela maior contribuição de carbono orgânico do solo (STELLUTI et al., 2020).

As influências mais evidentes da matéria orgânica em relação às propriedades físicas do solo é a estabilização da temperatura do solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas; aumento da capacidade de retenção de água no solo, favorecendo o desenvolvimento das raízes, principalmente em regiões que sofrem com estiagem acompanhado por calor intenso; influência na formação e estabilização dos agregados e promove a redução do escoamento superficial da água, diminuindo os riscos de erosão (CONCEIÇÃO et al., 2005).

Com relação as propriedades químicas do solo, a matéria orgânica interfere na capacidade de troca de cátions (CTC), pH, condutividade elétrica (CE), ciclagem de nutrientes e complexação de elementos tóxicos do solo. Além disso, a decomposição do material orgânico é fonte de nutrientes no solo, por conta da mineralização que transforma os nutrientes presentes na matéria orgânica e os torna assimiláveis pelas plantas (CAMPOS et al., 2016; SOUZA et al.,2018).

Em relação os atributos biológicos do solo, a matéria orgânica exerce também papel fundamental, entre os efeitos da matéria orgânica, destaca-se a estimulação da biota do solo, por meio do fornecimento de nutrientes e energia para que a atividade desses organismos seja desenvolvida (COSTA et al.,2013).

Em muitos solos, a percentagem de matéria orgânica é pequena, mas sua ação nas funções do solo é enorme. Esse componente do solo, que está em constante mudança, exerce significativa influência em muitas de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, especialmente nos seus horizontes mais superficiais. (Brady e Weil, 2013, p. 398).

Sendo assim, a matéria orgânica é um importante indicativo da qualidade do solo, por influenciar os atributos do solo. Além disso, os resíduos orgânicos presentes na superfície do solo exercem efeito direto sobre a dinâmica da biota do solo (FREITAS et al., 2017; SOUZA et al., 2018).

2.3 Ciclo do carbono orgânico do solo

Um dos principais indicadores das alterações do solo, provocadas pelo uso do solo e os sistemas agrícolas, é o teor de carbono orgânico total do solo (NANZER et al., 2019). O ciclo do carbono é a passagem das moléculas de carbono por estruturas presente na terra, como na superfície terrestres, pelos organismos vivos, plantas, atmosfera, dentre outros (SOUZA et al., 2012).

O dióxido de carbono presente na atmosfera é absorvido pelos seres autotróficos através de seus estômatos, nos cloroplastos presente no parênquima clorofilados o carbono presente nas moléculas de gás carbônico é usado, juntamente com energia luminosa obtida do sol. Então, por meio do processo de fotossíntese, a energia da luz solar é captada para formar as ligações entre os átomos de carbono, formando moléculas orgânicas, que servirão como energia (através da respiração) para o crescimento das plantas. Após a fixação do carbono em seu organismo, os seres autótrofos realizam a respiração celular, onde as moléculas de glicose são quebradas e o gás carbônico é liberado novamente na natureza (MARTINS et al., 2003).

Os demais materiais orgânicos são armazenados temporariamente como constituintes da vegetação viva, a maior parte dos quais é adicionada ao solo como resíduo vegetal ou restos de raízes. Algumas partes das plantas podem ser ingeridas pelos animais, nesse caso, cerca de metade do carbono ingerido é exalada para a atmosfera como dióxido de carbono, e a outra metade é, por fim, devolvida ao solo na forma de dejetos ou tecidos orgânicos. Uma vez depositados sobre o solo, esses

tecidos vegetais ou animais são metabolizados pelos organismos do solo, que gradualmente devolvem esse carbono para a atmosfera, na forma de dióxido de carbono (Brady & Weil, 2013).

O ciclo do carbono é de extrema importância para a sobrevivência de todas as formas de vida na terra, já que o carbono está presente na estrutura de todas as moléculas orgânicas. Por conta dos elevados níveis de poluição, e uma liberação cada vez maior do carbono, o ciclo do carbono é fundamental para a liberação de oxigênio (SIMON et al., 2019).

O elemento carbono é a base de toda a vida. Da celulose à clorofila, os compostos que fazem parte dos tecidos vivos são feitos de átomos de carbono dispostos em cadeias ou anéis, que estão associados a muitos outros elementos. O ciclo do carbono na Terra corresponde à história da vida neste planeta. Por isso, a interrupção desse ciclo seria desastrosa para todos os organismos vivos. (Brady & Weil, 2013, p.399).

Fica evidente, que o ciclo do carbono é imprescindível para realização dos processos relacionados as plantas e organismos presentes no solo (ORJUELA, 2018).

2.4 Macrofauna edáfica do solo em sistemas agrícolas

O papel funcional da macrofauna nos agroecossistemas e ecossistemas naturais está diretamente associado ao uso e manejo no solo, aos cultivos agrícolas e padrão climático (variação sazonais na precipitação pluvial e temperatura) (SILVEIRA, 2016).

A avaliação em termos quantitativos da riqueza, diversidade, abundância e uniformidade da macrofauna sob diferentes usos do solo, desenvolvido na área experimental da Fazenda Crioula, do Centro Nacional de Pesquisa de Caprinos e Ovinos (CNPCO) da EMBRAPA, localizado em Sobral, Ceará, Brasil. Trouxe resultados contrastantes entre as áreas avaliadas, a área de manejo convencional onde houve período de descanso do solo apresentou resultados semelhantes a área de caatinga. Mas em comparação com as áreas agroflorestais, o sistema convencional apresentou uma menor diversidade e uniformidade de espécies da macrofauna (FIALHO et al., 2021).

Embora o estudo realizado por FIALHO et al. (2021), tenha sido publicado em 2021, as informações coletadas realizadas para desenvolvimento do estudo já passam de 11 anos. Por conta do longo período de estiagem ao qual o Nordeste vem passando, uma nova avaliação das áreas seria o ideal até para compararmos os danos provocados pelas queimadas. Os atuais resultados obtidos estão aquém das expectativas dos dias atuais, principalmente a área sem período de descanso que utiliza de queimadas para eliminar a vegetação, esta área traz uma falsa ideia que a adoção desse manejo pode proporcionar o aumento da riqueza da macrofauna. A riqueza da macrofauna não pode ser utilizada como parâmetro para determinar a qualidade do solo, e sim a diversidade de espécies. Apesar do estudo ter enfoque sobre a macrofauna do solo, seria importante o artigo trazer uma nova análise referente as propriedades físicas e químicas das áreas em estudo, para compararmos os efeitos causados pelo sistema de uso e manejo do solo e dos cultivos agrícolas sobre a biodiversidade do solo.

O estudo realizado em Uberaba (MG), teve como propósito avaliar a diversidade da macrofauna edáfica na serapilheira em áreas com sistema de plantio direto implantado há 6 anos (SPD6), SPD há 17 anos (SPD17), Sistema de plantio convencional há 20 anos (SPC20) e Mata Nativa há 20 anos (MN20) no bioma cerrado. Em termos quantitativos, a mata nativa apresentou o maior número de indivíduos e o sistema convencional o menor número de indivíduos, já o sistema de plantio direto apresentou maior diversidade, densidade e riqueza da macrofauna em comparação com o sistema convencional (COELHO et al., 2021).

Apesar do estudo de COELHO et al, (2021), ter sido realizado em Uberaba, que historicamente possui variação sazonal extrema. O artigo não faz menção a variação sazonal, seria interessante para o estudo ter sido realizado uma coleta e posterior análise referente a macrofauna no período sem chuva, para compara os resultados. Como as áreas com sistemas de plantio direto se encontrava em transição para estabilização do sistema, teria sido interessante o estudo aborda avaliação de uma área recém implantada com sistema de plantio direto. Dessa forma, saberíamos se uma área recém instalada com manejo de plantio direto, apresenta resultados divergente com relação as outras áreas. Outro ponto importante que poderia ter sido

abordado no artigo, seria os impactos provocados sobre a biota do solo, e os resíduos deixados no solo e na água pelo uso de agroquímicos.

A Análise feita no interior do município de São Gabriel- RS, sobre a fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa, teve como finalidade caracterizar a distribuição dos grupos da macrofauna, em áreas de mata nativa, campo nativo pastejado, lavoura em sistema de plantio direto. Após análise estatística os índices avaliados, a mata nativa apresentou a maior diversidade e equitabilidade de espécies, já a área de plantio direto teve a menor diversidade de espécies, esses resultados podem ser explicados pela redução de ações antrópicas provocada na mata nativa. Com relação a similaridade, os resultados do campo nativo pastejado mostrou maior similaridade com a mata nativa. Devido a área de lavoura utilizar a técnica de monocultura, a mesma apresentou baixa uniformidade e diversidade da biota do solo, além disso o estudo apresentou informações que o campo pastejado permitiu a manutenção dos indivíduos da macrofauna edáfica (GÓES et al., 2021).

Além de analisar a fauna edáfica em diferentes usos, o estudo de GÓES et al, (2021), traz informações que mostram que o sistema de plantio direto reduz a diversidade da macrofauna. Contrariando a ideia que plantio direto provoca menos impactos no solo, e possui efeito de mitigar as ações provocadas no solo. Os resultados apresentados expõem que o manejo inadequado do solo e dos sistemas agrícolas impacta negativamente a biota do solo.

O estudo de ROSA et al, (2015), realizado no Planalto Sul catarinense, teve como objetivo avaliar aspectos da macrofauna e atributos do solo, sob diferentes níveis de intervenção antrópica em áreas de Floresta nativa, reflorestamento de eucalipto, pastagem perene, integração lavoura-pecuária (ILP) e sistema plantio direto (PD). Os resultados com relação a riqueza de espécies mostraram variações entre as áreas avaliadas e a época da coleta, mas de maneira geral as áreas com menor perturbação no solo apresentaram maior riqueza e diversidade de espécies, em contrapartida as áreas de ILP e PD apresentaram redução na riqueza de espécies e predomínio de grupo taxonômico. Resultados ainda apontaram que devido da interação entre macrofauna edáfica e os atributos físicos e químicos do solo, ocorreu limitação na dispersão e estabelecimento desses organismos.

O estudo realizado por ROSA et al, (2015), também apresentou resultados que mostraram o sistema de plantio provocando impacto sobre a macrofauna. Por outro lado, o estudo não conseguiu trazer resposta do por que ocorre um predomínio de determinados grupos taxonômicos nas áreas, o estudo também poderia trazer uma análise a respeito do carbono orgânico presente nos locais avaliados e fazer uma eventual associação com os grupos taxonômicos, bem como avaliar os efeitos causados pelos herbicidas dessecantes na biodiversidade do solo.

O estudo desenvolvido por FRANCO et al, (2020) em áreas de vegetação nativa, pastagem, área com cana-de-açúcar ao longo do bioma cerrado e a mata atlântica, teve como objetivo avaliar os efeitos do uso do solo em relação aos engenheiros do solo, bem como analisar alocação e o sequestro do C. Os resultados obtidos mostraram que o uso do solo e a profundidade afetam consideravelmente a abundância total dos organismos, em comparação com a vegetação nativa a área de pasto apresentou os maiores valores, e a área de cana-de-açúcar resultou nos menores valores. De maneira geral, a mudança da pastagem para o uso do solo com cana-de-açúcar está ligada a reduções na abundância de engenheiros do solo, desestabilização da estrutura do solo e redução da alocação de C.

O estudo FRANCO et al, (2020), traz importantes respostas com relação as ações provocadas com a mudança no uso do solo. Contudo, o estudo poderia trazer uma análise realizada no período seco do ano referente ao objetivo do trabalho, e avaliar o quanto os produtos químicos aplicado na área de cana de açúcar tem influência nesses resultados.

FRANCO et al., (2016), avaliou as consequências provocadas sobre a macrofauna pelas mudanças no uso do solo, com avanço do plantio de cana-de-açúcar. Em cronosequência foi analisado a vegetação nativa, pastagem, e um área cultivada com cana-de-açúcar. Após análises estatísticas, os resultados mostraram que a mudança no uso do solo afetou a abundância total da macrofauna, com a área de cana-de-açúcar apresentando o menor valor, além disso, a conversão da pastagem para cana-de-açúcar trouxe efeito negativo sobre a riqueza taxonômica.

O estudo realizado por FRANCO et al., (2016), traz resultados que preocupa, tendo em vista a crescente expansão de áreas com cana-de-açúcar. Contudo, o

estudo poderia trazer uma análise no período seco do ano referente ao objetivo do trabalho, e realiza uma análise a respeito dos produtos químicos aplicado na área de cana-de-açúcar e sua influência sobre a macrofauna edáfica.

PASQUALIN et al, (2012) realizou um experimento em uma lavoura de usina de álcool, onde foi testado diferentes tratamentos na colheita mecanizada e manual, e como referência foi utilizado uma área de mata. Com relação a densidade, riqueza e diversidade de indivíduos, a área de mata apresentou os maiores de indivíduos, e os canaviais manejados de forma convencional apresentaram redução da densidade e riqueza principalmente de minhocas. Apesar disso, o estudo mostrou que em áreas onde a colheita é feita de forma mecanizada com a manutenção da palhada proporciona benefícios à macrofauna edáfica em áreas de cana de açúcar.

O estudo realizado por PASQUALIN et al, (2012), apresenta contrastes com relação a outros estudos que avaliam os efeitos causados com o aumento no plantio de cana de açúcar. O estudo também poderia trazer uma abordagem com relação aos herbicidas utilizados na área de cana-de-açúcar.

A pesquisa realizada por ARAÚJO et al, (2020) teve como objetivo realizar um levantamento com relação a diversidade populacional da macrofauna edáfica em áreas de pastagens com diferentes cultivos de capins. Os resultados apontaram a área com *B. brizantha* com a maior quantidade de grupos taxonômicos, já nas outras áreas houve diminuição nos grupos taxonômicos. Como na mudança no uso do solo, as áreas com diferentes espécies forrageiras também provocaram variações na macrofauna.

Apesar do estudo realizado por ARAÚJO et al, (2020) ter enfoque em áreas de pastagens, a pesquisa poderia abranger a mudança no uso do solo e trazer uma área de vegetação nativa para efeito comparativo. Devido a localidade do estudo, o efeito da sazonalidade deveria ter sido considerado e realizado avaliações no período seco e chuvoso.

O estudo realizado por SANTOS et al, (2016), objetivou-se em caracterizar a macrofauna em sistemas de produção de grãos com manejo de plantio direto e convencional. Em termos de densidade de indivíduos, o PD apresentou maior

densidade por m^{-2} em comparação com o manejo convencional, já em comparação com a vegetação nativa ambos os sistemas agrícolas apresentaram resultados significativamente menor. Após avaliar a distribuição vertical, os resultados mostraram que no PD a distribuição é mais uniforme, e a área de manejo convencional e a de vegetação nativa apresentaram maior número de indivíduos nas camadas superficiais do solo.

Apesar de SANTOS et al, (2016), concluir por conta resultados obtidos, que o plantio direto pode ser usado como sistema conservacionista, o autor não se refere aos danos ambientais provocados principalmente pelo uso de herbicidas e inseticidas sobre a macrofauna do solo.

O trabalho desenvolvido por LIMA et al, (2020), teve como objetivo analisar a composição funcional da macrofauna edáfica e sua sazonalidade em áreas de cerrado, mata dos cocais, corte e queima, eucalipto e pastagem. No período seco os resultados mostraram maior abundância de engenheiro do solo nas áreas de eucalipto e pastagem em comparação com a mata, já a mata apresentou maior abundância e o corte e queima menor. Por meio dos resultados foi possível verificar que a período sazonal alterou significativamente na composição dos grupos funcionais, e de maneira geral os engenheiros do solo se mostraram mais adaptáveis as condições de cerrado. Por fim, o estudo reforça que biodiversidade da macrofauna desempenham importante papel nos processos que ocorrem no solo.

As análises estatísticas feitas no estudo de LIMA et al, (2020), separando a biodiversidade do solo quanto ao seu hábito alimentar dos organismos que compõem os engenheiros do solo, permitiu analisar a macrofauna de maneira diferente.

2.5 Carbono orgânico total em sistemas agrícolas

Devido a ações provocadas pelo mau uso do solo e o aumento em consumo de energia, tem resultado no aumento da emissão de CO_2 . Um dos motivos relacionado ao aumento da emissão do dióxido de carbono são as ações antrópicas provocadas no solo, que tem diminuído a concentração de matéria orgânica no solo, o que consequentemente tem dificultado o sequestro do carbono. Dentre as estratégias adotadas para aumentar os estoques de carbono no solo, as práticas

agrícolas que seguem premissas conservacionistas apresentam potencial redução na emissão de CO₂ (BESEN et al.,2018).

O estudo realizado por TROIAN et al, (2020), teve como objetivo avaliar teores de COT e estoques de carbono em diferentes sistemas de manejo conduzido no município de Iguatemi (MS). As áreas analisadas em estudo foram lavoura sem o sistema de preparo convencional, pastagem permanente, área com eucalipto e uma área de mata nativa sem ação antrópica. Os valores COT e do EstC, foi constatado que em todas as camadas do solo avaliadas apresentam valores semelhantes entre as três áreas manejadas, sendo inferiores aos teores encontrados na mata nativa. Os menores teores nos estoques de carbono e de COT encontrados nos sistemas agrícolas, demonstraram que nenhum dos sistemas foi eficiente em acumular C no solo ao longo do tempo, evidenciando falhas na forma do manejo do uso do solo e dos sistemas agrícolas. Além das áreas agrícolas apresentarem redução nos teores de COT e estoque de carbono no solo, o estudo apontou um maior valor de densidade do solo, sugerindo perda no estoque de carbono, e a presença de camadas compactadas em superfície, que sugere manejo do solo e dos cultivos agrícolas inadequados das áreas.

Os resultados obtidos por TROIAN et al, (2020), permitiu a compreensão dos efeitos provocados pelo mau uso do solo. Contudo, as áreas escolhidas para o desenvolvimento do estudo davam sinais do mau do solo, a área de pastagem apresentava sinais de degradação (baixa cobertura do solo, presença de plantas daninhas em área total e erosão do tipo laminar), a área de lavoura apesar da alternância de culturas, era utilizado aração e gradagem anuais para o preparo do solo, além disso, a área de eucalipto continha alta taxa de lotação. O estudo poderia ter sido realizado em áreas de melhor qualidade, assim teríamos resultados mais expressivos em comparação com a mata nativa.

O estudo desenvolvido por COSTA et al, (2008), teve como objetivo avaliar os sistemas de preparo do solo e de culturas na conservação do carbono, como também avaliar o balanço de carbono no solo nos diferentes sistemas de uso agrícolas. Realizado na estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no município de Eldorado do Sul (RS), instalado em 1985 em uma

área com degradação física avançada, o estudo durou cerca de 18 anos em áreas de plantio direto e uma área de plantio convencional.

Os resultados mostraram que por conta da adição de resíduos vegetais ao longo de 18 anos afetou os estoques de carbono orgânico do solo. Os resultados com relação ao balanço de carbono no solo no sistema de plantio convencional resultaram em valores negativos, o que demonstra que esse manejo atuou como emissor de CO_2 para atmosfera, já o plantio direto apresentou baixo aporte de C no sistema agrícola com cultivo de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb)/milho A/M e no sistema com plantio de ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.)/milho (*Zea mays* L.) E/M apresentou uma maior adição de resíduos ao solo, as culturas de verão e inverno utilizadas não são suficientes para produção de biomassa aérea e subterrânea.

O estudo COSTA et al, (2008), buscou trazer informações com relação ao C, mas sem dúvida nenhuma a degradação física avançada interferiu nos resultados, principalmente no sistema de plantio direto. Fica claro com os resultados finais a importância do aporte de resíduos vegetais no acúmulo de carbono orgânico no solo. Antes de iniciar o estudo, as áreas deveriam ter passado por um período de descanso, com plantio de um coquetel de espécies leguminosas com intuito de recuperar o solo e promover o aumento da retenção do C e N. Apesar de não ser o propósito do estudo, uma avaliação sobre a macrofauna no solo seria fundamental para fazer uma relação com degradação física do solo.

BATISTA et al, (2014), realizou o estudo com objetivo de avaliar os efeitos a longo prazo do sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) e da sazonalidade sob a comunidade da macrofauna edáfica e das frações oxidáveis do carbono orgânico total em áreas do cerrado. Em relação às proporções do COT nas frações lábeis F1 e F2, a concentração foi maior no período chuvoso, já na época seca, a maior proporção do COT na área de Cerradão foi observada nas frações mais recalcitrantes F3 e F4. Nos resultados obtidos, a macrofauna apresentou redução na densidade de cupins no sistema lavoura-pecuária em comparação com a área de cerradão. No estudo a sazonalidade também se mostrou como fator limitante para densidade e diversidade da macrofauna edáfica.

Os resultados mostraram que a compartimentalização da MOS pode ser utilizada para avaliação da qualidade do manejo, sendo os compartimentos mais sensíveis as

frações lábeis F1 e F2 na avaliação de frações oxidáveis. No momento das avaliações, foi constatado que cultura instalada no momento das avaliações e os resíduos vegetais da cultura do plantio anterior, influenciaram na estrutura da biodiversidade da macrofauna edáfica, assim como a sazonalidade.

O estudo de BATISTA et al, (2014), dispõe de muitas informações a respeito do carbono orgânico do solo e a relação do C com a macrofauna edáfica. Mas historicamente as áreas do bioma cerrado vem passando por intensa degradação do solo. Os produtores em sua grande maioria, têm-se optado pelo plantio direto com o uso de herbicidas dessecantes para controle de plantas daninhas. O principal problema encontrado na literatura a respeito do uso dos herbicidas, é que a aplicação dos herbicidas está sendo feito de maneira desordenada, não há alternância na aplicação dos produtos, em muitos casos não se respeita a dose recomendada na bula, não se tem respeitado o período de carência do produto, o uso recorrente tem provocado a contaminação do solo e do lençol freático. Poderia ter sido feito uma abordagem no estudo com relação aos efeitos provocados com uso de agroquímicos sobre macrofauna, e a interferência que esses produtos têm sobre o acúmulo e estoques de carbono orgânico.

SILVA et al, 2012), desenvolveu o estudo com objetivo de avaliar o COT, a biomassa microbiana e a atividade enzimática de um Cambissolo, em áreas com plantio convencional, pasto, e florestas em diferentes estádios. Os resultados mostraram que os teores de carbono orgânico total diferiram entre as áreas avaliadas, os maiores teores foram encontrados nas áreas de floresta e de pasto, e os menores, nas áreas agrícolas, em ambas as épocas avaliadas (úmida e seca). Os resultados obtidos no período chuvoso, não foram observadas mudanças significativas no COT entre as áreas florestais e o pasto.

Apesar das áreas florestais estarem em diferentes estádios de recuperação, os valores médios de COT e o carbono da biomassa microbiana encontrados nas áreas florestais e de pasto, em comparação com as áreas agrícolas fica claro que a escolha do manejo impacta diretamente nos teores de COT e do carbono presente na biomassa microbiana. Esses valores podem ser atribuídos pela maior deposição de resíduos vegetais que é características dessas áreas, e a redução no preparo do solo.

O estudo de SILVA et al, 2012), também apresentou o manejo do solo e dos cultivos agrícolas adotado influenciam diretamente os atributos físicos, químicos e microbiológico do solo. Em contrapartida, as áreas que utilizam o manejo convencional apresentaram resultados que mostra uma diminuição dos atributos do solo. Uma análise sobre a macrofauna edáfica seria um complemento ao estudo realizado, por meio dessa avaliação seria possível verifica se áreas analisadas apresentam diversidade de indivíduos ou se há predominância de algum grupo taxonômico.

Estudo de MEDEIROS et al, (2020) realizado em áreas plantio convencional da região semiárida do Nordeste, teve como proposito analisar a mudança de estoque de carbono orgânico no solo em áreas com sistema agrícola convencional, e avaliar os impactos causados por esse sistema. Os resultados apontaram redução nos estoques carbono orgânico no solo em todas as camadas do solo avaliadas, com as maiores perdas em camadas superficiais do solo em comparação com a mata nativa, o período de 20 anos de uso da terra estabelecido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças para o equilíbrio não foi alcançado. O estudo ainda apresentou comparações entre as regiões do Brasil, onde o autor destacou que os solos do semiárido apresentam maiores reduções nos estoques do carbono orgânico no solo.

O estudo MEDEIROS et al, (2020) mostrou que a perdas no estoque do carbono não é devido apenas da mudança no uso do solo, aspectos como a classe de solo, clima da região e principalmente o manejo do solo e dos cultivos, com intenso revolvimento do solo, monocultivo, sem rotação de cultura, sem o período adequado de pousio, entre outros fatores influenciam na redução do estoque do carbono orgânico no solo. Mas o estudo deu enfoque apenas ao sistema convencional, o efeito da sazonalidade não foi levado em consideração no momento da avaliação, além da mata nativa, outros sistemas agrícolas poderiam ter sido avaliados para ser usado de comparativo juntamente com a mata nativa.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado por meio de uma revisão de literatura, com base em artigos científicos indexado com JCR, com uso de plataformas como Science Direct, SciELO e o portal de periódicos CAPES. Na busca dos artigos, foi usado expressões

relacionadas ao tema na língua portuguesa e inglesa, a escolha dos estudos ainda levou em consideração artigos científicos realizados no Brasil, e que a pesquisa abordasse a macrofauna ou carbono orgânico total em sistemas agrícolas.

Com objetivo de melhorar a compreensão sobre os artigos científicos analisados, neste tópico foi estruturado três tabelas com algumas informações relevantes que permite estabelecer contrastes com os outros estudos, e exemplificam particularidades de cada artigo.

As informações quanto as particularidades dos artigos científicos consultados estão apresentadas na tabela 1, quanto ao fator de impacto, autores, ano de publicação, periódico e revista.

Tabela 1 - Caracterização dos artigos científicos quanto ao autor, ano de publicação, fator de impacto, periódico e revista.

Autor	Ano/publicação	Fator de impacto	Periódico	Revista
FIALHO, J. S. et al	2021	2,211	ScienceDirect	Journal of Arid Environments
MEDEIROS, A. S. et al	2020	5,67	ScienceDirect	Agriculture, Ecosystems & Environment
FRANCO, A. L. C. et al	2020	7,609	ScienceDirect	Soil Biology and Biochemistry
FRANCO, A. L. C. et al	2016	7,963	ScienceDirect	Science of The Total Environment
Coelho, V. O. et al	2021	1,78	Rsdjournal	Research, Society and Development
GÓES, Q. R. et al	2021	0,500	SciELO	Ciência Florestal
TROIAN, D. et al	2020	0,15	UniCesumar	Revista em Agronegócio e Meio Ambiente
SILVA, C. F. et al	2012	1,683	SciELO	Revista Brasileira de Ciência do Solo

COSTA, F. S. et al	2008	1,68	SciELO	Revista Brasileira de Ciência do Solo
BATISTA, I. et al	2014	1,68	SciELO	Revista Brasileira de Ciência do Solo
ROSA, M. G. et al	2015	1,68	SciELO	Revista Brasileira de Ciência do Solo
PASQUALIN, L. A. et al	2012	0,56	ResearchGate	Semina: Ciências Agrárias
LIMA, C. S. et al	2020	1,52	Sustenere Rica	Ibero-Americana de Ciências Ambientais
ARAÚJO, A. C. et al	2020	1,78	Rsdjournal	Research, Society and Development
SANTOS, D. P. et al	2016	0,64	SciELO	Pesquisa Agropecuária Brasileira

As informações que compõe a tabela 1 mostra que a seleção dos artigos científicos foi realizada em diferentes plataformas, boa parte dos estudos avaliados são de publicações atuais, e as revistas possuem JCR.

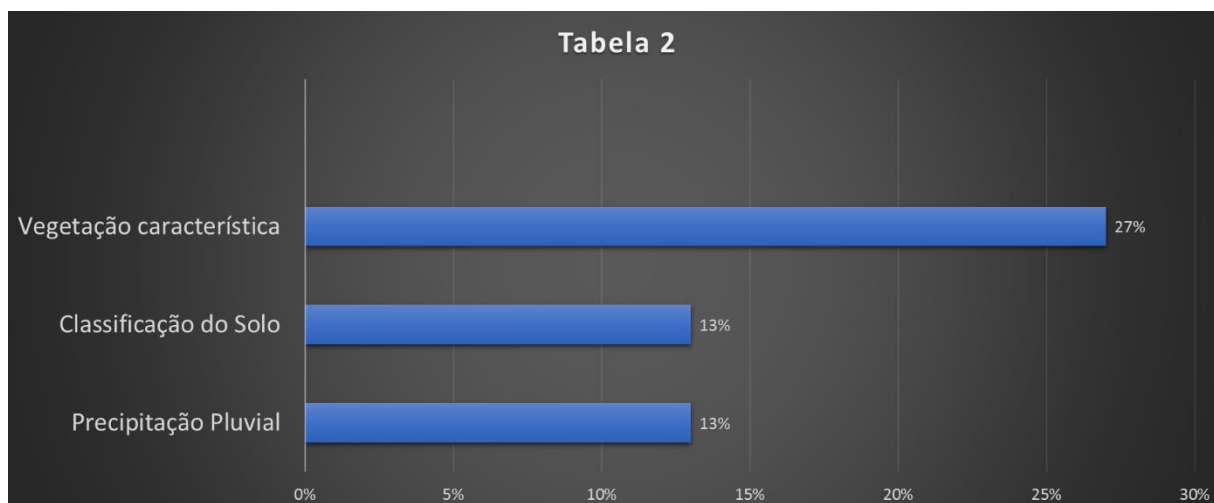
As informações quanto a localização da área onde foi realizado o estudo, precipitação pluvial, sistemas agrícolas avaliados, vegetação, classificação do solo, referente aos artigos científicos consultados estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização quanto ao local onde foi realizado o estudo, precipitação pluvial, sistemas agrícolas avaliados, vegetação e classificação do solo.

Localização do estudo	Precipitação pluvial	Vegetação	Sistemas Agrícolas	Classificação do solo
Ceará	989 mm	Savana estépica	Agro, Silvo, Queimaduras, Trad6, Trad9, Bush.	Luvissolo
Alagoas, Bahia, Paraíba	800 mm	Caatinga	PC, MN	Argilossolo, Cambissolo, Neossolo,

Goiás, São Paulo	1600 mm	Savana, Floresta estacional semidecidual	VN, PA, SC	Latossolo, Argissolo
Goiás e São Paulo	1600 mm	Savana, Floresta estacional semidecidual	VN, PA, SC	Latossolo, Argissolo
Minas Gerais	1600 mm	Não consta	SPD6, SPD17, SPC20, MN20	Latossolo
Rio Grande do Sul	Não constar	Bioma Pampa	MN, PD, CNP	Não constar
Mato Grosso do Sul	1400 a 1700 mm	Floresta semidecidual	PE, PA, PC	Latossolo
Rio de Janeiro	57,5 mm	Não constar	FSEI, FSEM, FSEA, PA, AP, AAN	Cambissolo
Rio Grande do Sul	1446 mm	Não constar	PC, PR, PD	Argissolo
Mato Grosso do Sul	1300 a 1500 mm	Não constar	PSA, PMB	Latossolo
Santa Catarina	Não constar	Floresta ombrófila mista	PD, FN, ILP, PA, RE	Nitossolo, Cambissolo
Paraná	1400 a 1600 mm	Floresta estacional perinifolia	CPCV, SPCV, CPSV, SPSV, MT	Latossolo
Maranhão	1835 mm	Mata dos cocais	CER, MDC, CEQ, PE, PA	Não consta
Alagoas	296,3 mm	Floresta ombrófila densa	PA	Argissolo
Piauí	1200 mm	Floresta estacionaria semidecidual	PD, PC, VN	Latossolo

De maneira geral os sistemas agrícolas avaliados foram: plantio direto; plantio convencional, agroflorestais; pastagem; integração lavoura-pecuária; plantio com cana-de-açúcar e áreas de vegetação nativa utilizadas como referência.



A tabela 2 mostra a diversificação das regiões onde foi realizado os estudos, 13,33% dos artigos não trazem informações com relação a precipitação pluvial e a classificação do solo, e 27% dos estudos não faz menção a vegetação característica da região. A falta de detalhamento das áreas avaliadas, impede que se estabeleça inter-relação com a macrofauna e o COT.

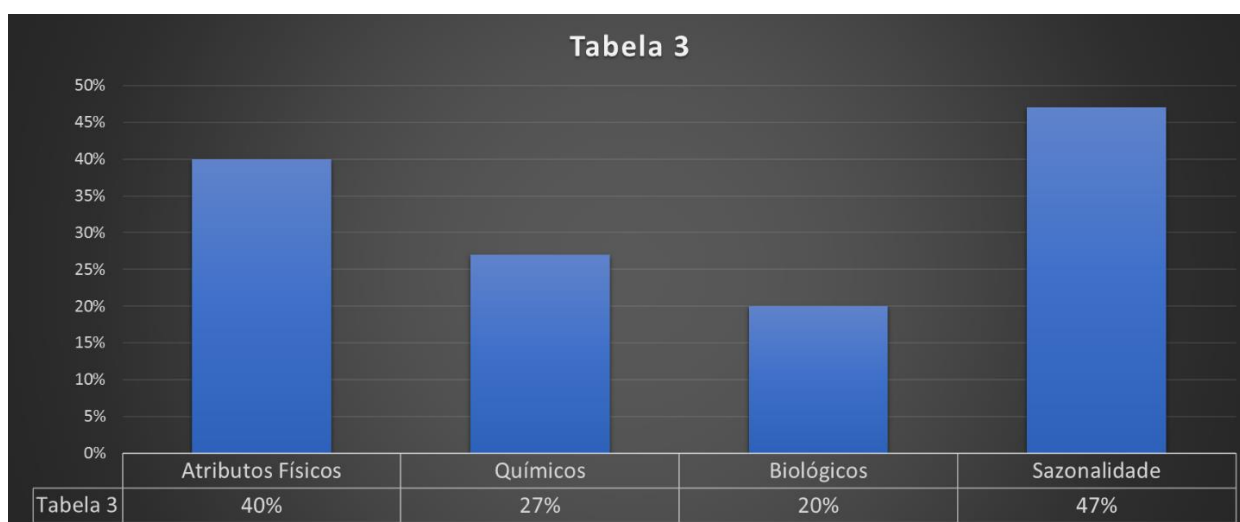
As informações quanto a caracterização dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, análise estatística utilizada, e a sazonalidade dos artigos científicos consultados estão apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização dos atributos do solo, métodos estatísticos utilizados, e sazonalidade.

Caracterização			Métodos estatístico	Sazonalidade
Física	Química	Biológica		
Consta	Consta	Consta	ANOVA, Teste de Tukey, PCA	Consta
Consta	Consta	Não consta	Modelo linear de efeito misto	Não consta
Consta	Consta	Consta	Modelo linear de efeito misto, PCA, qui-quadrado	Não consta
Consta	Consta	Consta	Modelo linear de efeito misto	Não consta
Não consta	Não consta	Consta	DIC, Teste de Krucal-Wallis	Não consta
Consta	Consta	Consta	Correlação canônica	Consta

Consta	Consta	Não consta	ANOVA, Teste de Tukey	Não consta
Consta	Consta	Consta	Teste de Cochran, Teste de Lilliefors, ANOVA, Correlação de Pearson	Consta
Não consta	Consta	Não consta	ANOVA, Teste de Duncan	Consta
Não consta	Consta	Consta	Análise multivariada, Teste de Krucal-Wallis	Consta
Consta	Consta	Consta	Correlação de Pearson, Análise multivariada	Consta
Não consta	Consta	Consta	DIC, Teste de Duncan, Teste de Krucal-Wallis	Consta
Não consta	Não consta	Consta	Modelo linear generalizado, PERMANOVA,	Consta
Não consta	Não consta	Consta	Não consta	Não consta
Consta	Não consta	Consta	Teste de Shapiro Wilk, PCA	Não consta

Análise de componentes principais (PCA); análise de variância (ANOVA); delineamento inteiramente casualizado (DIC); Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA).



Na tabela 3, 40 % dos artigos não trazem informações dos atributos físicos do solo, 27 % não realizaram análises químicas, e 20 % dos estudos não apresentam análises biológicas. Com relação as análises estatísticas utilizadas, houve variações entre os métodos adotados em cada artigo, mas devido a necessidade de avaliar sistemas abertos, em campo, sem delineamento experimental definido, a técnica da estatística multivariada foi a mais utilizadas, por se adequa aos critérios citados acima. Quanto a sazonalidade, 47 % dos trabalhos avaliados não levam em consideração, sendo essencial que os estudos sejam desenvolvidos em condições contrastantes de precipitação pluvial. A falta dessas informações, quanto a variabilidade de atributos dos solos estudados e a sazonalidade impossibilitam estabelecer inter-relações dos mesmos, com macrofauna e o COT.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos trazem a macrofauna edáfica e o carbono orgânico total como bioindicadores da qualidade do solo, para isso cada vez mais é preciso trabalhos que avaliem a macrofauna em diferentes usos do solo, com variabilidade de atributos do solo, levando em consideração a sazonalidade.

Identificou-se que em áreas onde ocorreu preparo mínimo do solo, ou em áreas utilizadas como referência (mata nativa, ou preservada), apresentam maior riqueza, densidade e diversidade de espécies, outro ponto é que a riqueza de determinados grupo taxonômico não pode ser usado como parâmetro para determinar a qualidade do solo, o ideal é que exista diversidade de espécies que abranjam o maior número de grupos taxonômicos possível.

Ainda há muitas questões a serem respondidas, mas por meio da revisão bibliográfica foi possível comprovar que a macrofauna edáfica e o carbono orgânico total são sensíveis as ações antrópicas que envolvam preparo intensivo do solo, revolvimento da cobertura superficial para as camadas subjacentes, queimadas, monocultivo, dentre outras ações.

A partir dos resultados encontrados nos estudos foi possível estabelecer contrastes entre os diferentes sistemas agrícolas e usos do solo, principalmente com relação ao plantio direto, áreas com cana-de-açúcar e pastagens, onde tiveram artigos

que exemplificam que o sistema de plantio direto não possui o efeito de mitigar as ações provocadas no solo, pelo contrário, esse sistema quando não utiliza outras práticas intercaladas impacta negativamente a distribuição da macrofauna e do carbono orgânico total, promovendo a redução da biodiversidade, em função da superfície consolidada ao longo do tempo, como também, ausência de cobertura vegetal suficiente em função das culturas de inverno e verão adotadas.

Já outros estudos trazem o plantio direto como algo benéfico para o solo, conseqüentemente, esses estudos mostram resultados que a técnica adotada é importante para manutenção da biodiversidade do solo, em comparação com o sistema convencional. O que vai ser determinante no resultado final é adoção de um conjunto de práticas conservacionistas que deverão ser adotadas, pois nenhuma prática adotada de forma individual possui efeito milagroso.

Embora os artigos avaliados apresentem contrastes entre os sistemas agrícolas, a falta de informações com relação aos danos causados no ambiente pelo uso de agroquímicos tornam os estudos semelhantes nesse requisito, impossibilitando de mitigar a realidade dos impactos.

Boa parte dos estudos realizados têm enfoque em áreas do Brasil onde se concentram as grandes produções agrícolas, o que torna as informações restritas a uma parte do país. Quanto a região semiárida do Rio Grande do Norte os estudos analisando a macrofauna e carbono orgânico total são escassos, embora a região apresente diversidade, quanto as classes de solos e vegetação, o padrão climático quanto ao regime de chuvas baixo, déficit hídrico, e a evapotranspiração acentuada exercem influência na decomposição da matéria orgânica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise crítica referente aos artigos científicos que abordam a macrofauna edáfica e o carbono orgânico total em diferentes sistemas agrícolas. A avaliação dos estudos permitiu compreender os impactos ocasionados por ações antrópicas, além de modificar os atributos do solo com impactos positivos e negativos, influenciam diretamente no papel funcional dos

organismos que compõem a macrofauna edáfica, promovendo a redução de COT e da biodiversidade.

Após analisar os artigos, os resultados foram contrastantes entre os sistemas agrícolas avaliados, com valores significativamente diferentes aos encontrados em áreas utilizadas como referência. Essas divergências expõem que as práticas de manejo utilizada no uso do solo e nos sistemas agrícolas não devem ser generalizadas, e sim, levando em consideração as particularidades locais, sendo necessário adotar um conjunto de práticas conservacionistas.

A ausência de informações importantes a respeito do conjunto de atributos físicos, químicos e biológicos, a sazonalidade, classe de solo, entre outras particularidades, impossibilita estabelecer inter-relações com a macrofauna e o carbono orgânico total.

A respeito das ferramentas estatísticas utilizadas houve variação entre os métodos adotados, tendo a técnica da estatística multivariada como a mais utilizada, por se tratar de sistemas abertos, em campo, e sem delineamento experimental definido.

Pontuando principalmente as limitações dos artigos científicos, que em sua maioria foi realizado em importantes regiões agrícolas, permitiu um olhar crítico sobre situações ignoradas nos estudos, contribuiu para o processo de aprendizagem.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. R. L. *et al.* Fauna edáfica em diferentes neves de palhada no cultivo da cana-de-açúcar. **Tropical Agricultural Research**, v. 44, pág. 409-416, 2014.
- ARAUJO, E. C. G *et al.* Macrofauna como bioindicadora de qualidade do solo para agricultura convencional e agrofloresta em Bom Jardim-PE. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 2, p. 108-116, 2019.
- ARAÚJO, A. C. *et al.* Pastagens cultivadas como modificadoras dos padrões ecológicos dos organismos edáficos. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e25996847-e25996847, 2020.
- BARETTA, D. *et al.* Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, v. 7, p. 119-170, 2011.
- BATISTA, I. *et al.* Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 797-809, 2014.
- BESSEN, R. M. *et al.* Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. **Scientia Agropecuaria**, v. 9, n. 3, p. 429-439, 2018.
- BOTTINELLI, N. *et al.* Why is the influence of soil macrofauna on soil structure only considered by soil ecologists? **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 118-124, 2015.
- BRADY, N. C; WEIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 9788565837798. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837798/>. Acesso em: 24 set. 2021.
- BRÉVAULT, T. *et al.* Impacto de uma estratégia de manejo do solo com plantio direto com cobertura morta nas comunidades da macrofauna do solo em um sistema
- CAMPOS, M. C. C. *et al.* Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 339-349, 2016.
- COELHO, V. O. *et al.* Soil macrofauna as bioindicator of soil quality in different management systems. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, 2021.
- CONCEIÇÃO, P. C. *et al.* Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.
- COSTA, F. S. *et al.* 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**, v. 32, p. 323-332, 2008.

COSTA, L. M; SILVA, H. F; RIBEIRO, P. R. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

DECAËNS, T. *et al.* Os valores dos animais do solo para a biologia da conservação. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. 23-38, 2006.

DECAËNS, T. Padrões macroecológicos em comunidades de solo. **Ecologia Global e Biogeografia**, v. 19, n. 3, pág. 287-302, 2010.

DECAËNS, T.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J. J. Prioridades para a conservação dos animais do solo. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 3, p. 1-18, 2008.

ERKTAN, A.; OR, D.; SCHEU, S. A estrutura física do solo: determinante e consequência das interações tróficas. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 148, p. 107876, 2020.

FIALHO, J. S. *et al.* Pedofauna diversity in traditional and agroforestry systems of the Brazilian semi-arid region. **Journal of Arid Environments**, v. 184, p. 104315, 2021.

FRANCO, A. L. C. *et al.* Unindo engenheiros de solo, estabilidade estrutural e alocação de matéria orgânica para desvendar as respostas de carbono do solo às mudanças no uso da terra. **Biologia e Bioquímica do Solo**, v. 150, pág. 107998, 2020.

FRANCO, A.L.C. *et al.* Loss of soil (macro) fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. **Science of the Total Environment**, v. 563, p. 160-168, 2016.

FREITAS, L. *et al.* Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.

GÓES, Q. R. *et al.* Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 123-144, 2021.

GONGALSKY, K. B. Soil macrofauna: Study problems and perspectives. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 159, p. 108281, 2021.

HÄTTENSCHWILER, S.; TIUNOV, A. V.; SCHEU, S. Biodiversidade e decomposição de serapilheira em ecossistemas terrestres. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst**, v. 36, p. 191-218, 2005.

LAVELLE, P. *et al.* Ecosystem engineers in a self-organized soil: a review of concepts and future research questions. **Soil Science**, v. 181, n. 3/4, p. 91-109, 2016.

LAVELLE, P. *et al.* Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal of soil biology**, v. 33, n. 4, p. 159-193, 1997.

LIMA, C. S. *et al.* Composição funcional e sazonalidade da macrofauna edáfica em diferentes usos do solo, Bioma Cerrado, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 6, p. 33-48, 2020.

MACHADO, P. L. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MARTINS, C. R. *et al.* Ciclos globais de carbono, nitrogênio e enxofre. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n. 5, p. 28-41, 2003.

MEDEIROS, S. A. *et al.* Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 287, p. 106690, 2020.

MELO, Fernando Vaz *et al.* A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2009.

NANZER, M. C. *et al.* Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019.

ORGIAZZI, A. *et al.* **Atlas global da biodiversidade do solo**. Comissão Europeia, 2016.

ORJUELA, H. B. Carbono orgânico do solo e seu papel contra as mudanças climáticas. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 35, n. 1 p. 82-96, 2018.

PASQUALIN, L. A. *et al.* Macrofauna edáfica em lavouras de cana-de-açúcar e mata no noroeste do Paraná–Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 7-17, 2012.

PRESTES, R. M.; VINCENCI, K. L. Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 4, p. 1473-1493, 2019.

RANGEL, O. J. P. *et al.* Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2051-2059, 2008.

ROSA, M. G. *et al.* Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1544-1553, 2015.

SANTOS, D. P. *et al.* Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1466-1475, 2016.

SILVA, C. F. *et al.* Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do

Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, p. 1680-1689, 2012.

SILVA, E. F. *et al.* Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1321-1331, 2011.

SILVA, R. M. *et al.* Fauna do solo como bioindicadora da qualidade do solo em cultivos de cana-de-açúcar: um referencial teórico. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e239101018741-e239101018741, 2021.

SILVEIRA, E. R. Diversidade e papel funcional da macrofauna do solo na integração lavoura-pecuária. **Revista Técnico-Científica**, n. 4, 2016.

SIMON, C. P. *et al.* Emissões de CO₂, atributos físicos e carbono orgânico total em diferentes sistemas de preparação sozinho. **Nativo**, v. 7, n. 5 p. 494-499, 2019.

SIQUEIRA, M. G. *et al.* Biomassa microbiana e carbono orgânico do solo sob diferentes manejos e sucessão de culturas. **Editora Científica**, v. 5, p. 126-138,

SMITH, P. *et al.* Mudanças globais pressões sobre os solos devido ao uso e manejo da terra. **Biologia da mudança global**, v. 22, n. 3, pág. 1008-1028, 2016.

SOUZA, E. D. *et al.* Matéria orgânica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil. 2018.

SOUZA, M. F. L. *et al.* Ciclo do Carbono: Processos Biogeoquímicos, Físicos e Interações entre Compartimentos na Baía de Todos os Santos. **Revista Virtual de Química**, v. 4, n. 5, p. 566-582, 2012.

STELLUTI, T. *et al.* Efeito de adubos foliares aplicados em mistura com fungicidas na cultura do amendoim. **South American Sciences ISSN 2675-7222**, v. 1, n. 1, p. e2075-e2075, 2020.

STEVENSON, F. J. **Húmus química: gênese, composição, reações**. John Wiley & Sons, 1994.

SWIFT, M. J. *et al.* **Decomposição em ecossistemas terrestres**. Univ of California Press, 1979.

TROIAN, D. *et al.* Carbono orgânico e estoques de carbono do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 13, n. 4, 2020.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

VOGT, C. *et al.* Ciência e Cultura (temas e tendências): agricultura. **Ciência & Cultura, São Paulo, vol. 73, nº 1, jun. 2021**, 2021.

ZANDONADI, D. B. *et al.* Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 14-20, 2014.