

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL**  
**CAMPUS CERRO LARGO**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**ESTEFANY PAWLOWSKI**

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO PARA  
PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS**

**CERRO LARGO**

**2022**

**ESTEFANY PAWLOWSKI**

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO PARA  
PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

**CERRO LARGO**

**2022**

## **Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Pawlowski, Estefany  
Indicadores de Qualidade do Solo em Sistemas de  
Manejo para Produção de Hortaliças / Estefany  
Pawlowski. -- 2022.  
73 f.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo, RS, 2022.

1. Indicadores de Qualidade do Solo. 2. Sistemas de  
Manejo do Solo. 3. Conservação do Solo. 4. Sistema de  
Plantio Direto de Hortaliças. 5. Plantas de Cobertura.  
I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Universidade  
Federal da Fronteira Sul. III. Título.

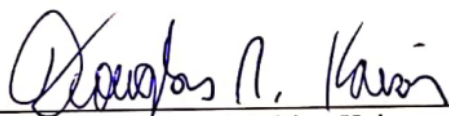
**ESTEFANY PAWLOWSKI**

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO PARA  
PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

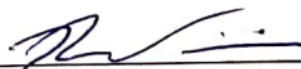
Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 07/03/2022

**BANCA EXAMINADORA**



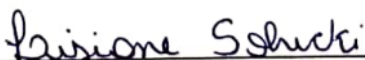
---

Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS  
Orientador



---

Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira - UFFS  
Avaliador



---

Ms.<sup>a</sup> Lisiane Sobucki – UFSM  
Avaliadora

Dedico a minha família,  
em especial aos meus pais e irmãos.

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço pelos ensinamentos, auxílio, compreensão, diálogos e amizade de todas as pessoas que fizeram parte de minha jornada acadêmica. Sou grata a todos, em especial agradeço:*

*- à minha família, mãe Inez Beatriz Warpechowski, pai Jorge José Pawlowski, irmãos Jadson Charles Pawlowski, Emily Sofia Pawlowski e Ana Julia Pawlowski que sempre estiveram ao meu lado me incentivando e me apoiando ao longo de minha jornada acadêmica, me acolhendo e auxiliando sempre que possível.*

*- ao meu companheiro Jorge Gustavo Pinheiro Barbosa, por me acompanhar, incentivar, apoiar e auxiliar em todos meus passos. Te ter ao meu lado nesta jornada foi imprescindível, tenho muito carinho e admiração por ti!*

*- ao meu orientador Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser, pela orientação e conhecimentos compartilhados, de suma importância para minha formação acadêmica.*

*- ao grupo de pesquisa do Laboratório de Física e Pedologia do Solo da UFFS, pela parceria, colaboração, diálogos e amizade.*

*- à minha supervisora de estágio Prof.<sup>a</sup> Dra. Zaida Inez Antonioli, por possibilitar a realização das análises químicas e biológicas no Departamento de Solo da UFSM, por aceitar ser minha supervisora de estágio e me acolher com tanto carinho, pelo incentivo, ensinamentos, auxílios e dicas.*

*- ao grupo de pesquisa do Laboratório de Biologia do Solo da UFSM, em especial às colegas Lisiane Sobucki, Valéria Ortaça Portela e Mylla Trisha pelo auxílio nas análises biológicas do solo.*

*- ao grupo de trabalho do Laboratório de Análises de Solo (Rotina) da UFSM, em especial ao Darines Britzke e a Délma Pippi pela amizade, paciência em ensinar e por possibilitar o acompanhamento das análises químicas do solo.*

*- ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria por proporcionar a realização das análises químicas e biológicas do solo.*

*- à Universidade Federal da Fronteira Sul pela minha formação acadêmica, sendo uma instituição pública, gratuita e de excelência.*

*- aos demais não citados, mas que fizeram parte desta etapa, meu muito obrigada!*

Por que será que conhecemos mais acerca dos distantes corpos celestes do que do solo sob nossos pés? (Leonardo da Vinci, adaptado de Yaalon, 2000).

## RESUMO

A mensuração de indicadores de qualidade do solo (QS) possibilita a avaliação da sustentabilidade dos sistemas de manejo agrícolas. Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo para produção de hortaliças sobre indicadores de QS, a fim de indicar formas alternativas para um manejo mais sustentável e equilibrado. O experimento foi conduzido em condições de campo na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Cerro Largo, RS, em um Latossolo Vermelho. Historicamente a área foi cultivada com *Secale cereale*, *Crotalaria juncea*, *Brassica oleracea* var. *capitata* e *Lactuca sativa* L. nos últimos dois anos anteriores a implantação do presente estudo. Os tratamentos foram: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH); Plantio Direto sem cobertura vegetal (PDsc); Sistema de Cultivo Convencional com cobertura vegetal (SCc); e Sistema de Cultivo Convencional sem cobertura vegetal (SCsc). A cultura de cobertura do solo foi centeio. O experimento foi delineado em blocos ao acaso com cinco repetições e as culturas agrícolas analisadas foram *Lactuca sativa* L. sucedida por *Brassica oleracea* var. *capitata*. Os parâmetros de solo analisados foram indicadores físicos: densidade (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac), grau de compactação (GC), umidade volumétrica (UV) e porosidade de aeração (PA); químicos: pH<sub>H2O</sub>, índice SMP, H+Al, MO, CTC<sub>efet.</sub>, CTC<sub>pH7,0.</sub>, teores de Al, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, S e B e índices V% e m%; e biológicos: enzimas β-glicosidase e arilsulfatase. Os dados obtidos foram submetidos a avaliação de distribuição normal e análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) por meio do programa *Statistical Analysis System* (SAS). Observou-se maiores valores de Ds, Mic e GC, bem como menores valores de PT e Mac para o tratamento PDsc, principalmente na camada de 0,00-0,05 m. Maiores valores de UV foram constatados em PDsc, SPDH e SCc, bem como menores valores de PA em PDsc. Os parâmetros químicos do solo e as produtividades de alface e de repolho apresentaram comportamento semelhante entre os tratamentos SCc, SCsc e SPDH. A atividade enzimática de β-glicosidase foi superior no SPDH e de arilsulfatase foi superior para SPDH e SCc, que não diferiram de SCsc. Conclui-se que o cultivo de alface e repolho sob SPDH melhorou as características físicas, químicas e biológicas do solo e possibilitou elevadas produtividades das culturas, sendo um sistema viável e mais sustentável quando comparado os sistemas convencionais de produção.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *capitata*, Conservação do Solo, *Lactuca sativa* L., Sistema Convencional, Sistema de Plantio Direto de Hortaliças.



## ABSTRACT

The measurement of soil quality (SQ) indicators makes it possible to assess the sustainability of agricultural management systems. This work aimed to evaluate the effect of different soil management systems for vegetable production on SQ indicators, in order to indicate alternative ways for a more sustainable and balanced management. The experiment was carried out under field conditions in the experimental area of the Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Cerro Largo, RS, in a Hapludox. Historically the area was cultivated with *Secale cereale*, *Crotalaria juncea*, *Brassica oleracea* var. *capitata* and *Lactuca sativa* L. in the last two years prior to the implementation of the present study. The treatments were: Vegetable No-Till System (SPDH); No-tillage without vegetation cover (PDsc); Conventional Cultivation System with vegetation cover (SCc); and Conventional Cultivation System without vegetation cover (SCsc). The ground cover crop was rye. The experiment was designed in randomized blocks with five replications and the analyzed crops were *Lactuca sativa* L. succeeded by *Brassica oleracea* var. *capitata*. The soil parameters analyzed were physical indicators: density (Ds), total porosity (PT), microporosity (Mic), macroporosity (Mac), degree of compaction (GC), volumetric moisture (UV) and aeration porosity (PA); chemical: pH<sub>H2O</sub>, SMP index, H+Al, MO, CTC<sub>efet.</sub>, CTC<sub>pH7.0.</sub>, Al, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, S and B contents and V% and m% contents; and biological:  $\beta$ -glucosidase and arylsulfatase enzymes. The data obtained were submitted to normal distribution and analysis of variance (ANOVA) and the means were compared by Tukey's test ( $p < 0.05$ ) using the Statistical Analysis System (SAS) program. Higher values of Ds, Mic and GC were observed, as well as lower values of PT and Mac for the PDsc treatment, mainly in the 0.00-0.05 m layer. Higher UV values were found in PDsc, SPDH and SCc. Lower PA values were observed in PDsc. Soil chemical parameters and lettuce and cabbage yields showed similar behavior between SCc, SCsc and SPDH treatments. The enzymatic activity of  $\beta$ -glucosidase was higher in SPDH and of arylsulfatase was higher for SPDH and SCc, which did not differ from SCsc. It is concluded that the cultivation of lettuce and cabbage under SPDH improved the physical, chemical and biological characteristics of the soil and enabled high crop productivity, being a viable and more sustainable system when compared to conventional production systems.

**Keywords:** *Brassica oleracea* var. *capitata*, Soil Conservation. *Lactuca sativa* L., Conventional System, Vegetable No-Till System.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Enzimas $\beta$ -glicosidase (a) e arilsulfatase (b) no solo. ....	28
<b>Figura 2.</b> Subdivisões da fitotecnia. ....	29
<b>Figura 3.</b> Linha do tempo de atividades desenvolvidas na área de estudo. ....	34
<b>Figura 4.</b> Croqui do experimento. ....	35
<b>Figura 5.</b> Temperatura máxima, média e mínima, precipitação e irrigação monitoradas ao longo do ciclo da cultura da alface. ....	36
<b>Figura 6.</b> Temperatura máxima, média e mínima, precipitação e irrigação monitoradas ao longo do ciclo da cultura do repolho. ....	37
<b>Figura 7.</b> Umidade volumétrica do solo monitorada no decorrer do ciclo da cultura da alface na camada de 0,00-0,20 m de profundidade em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil. ....	48
<b>Figura 8.</b> Umidade volumétrica do solo monitorada no decorrer do ciclo da cultura do repolho na camada de 0,00-0,20 m de profundidade em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil. ....	49
<b>Figura 9.</b> Porosidade de aeração do solo no decorrer do ciclo da cultura da alface na camada de 0,00-0,20 m de profundidade em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil. ....	50
<b>Figura 10.</b> Porosidade de aeração do solo no decorrer do ciclo da cultura do repolho na camada de 0,00-0,20 m de profundidade em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil. ....	50
<b>Figura 11.</b> Atividade das enzimas $\beta$ -glicosidase e arilsulfatase sob diferentes sistemas de manejo de solo em Latossolo Vermelho no município de Cerro Largo, RS, Brasil. ....	56
<b>Figura 12.</b> Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e número de folhas (NF) de plantas de alface cv. Mauren, cultivadas em diferentes sistemas de manejo de solo aos 40 dias após o transplântio em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil. ....	58
<b>Figura 13.</b> Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca de cabeça (MFC) e massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de repolho cv. Musashi, cultivadas diferentes sistemas de manejo de solo aos 100 dias após o transplântio em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil. ....	59
<b>Figura 14.</b> Diâmetro transversal de cabeça (DT), diâmetro longitudinal de cabeça (DL) e número de folhas (NF) de plantas de repolho cv. Musashi, cultivadas em diferentes sistemas de manejo de solo aos 100 dias após o transplântio em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil. ....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Principais espécies utilizadas na adubação verde nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.....	21
<b>Tabela 2.</b> Valores críticos para alguns parâmetros físicos do solo.....	25
<b>Tabela 3.</b> Caracterização química do solo. Município de Cerro Largo, RS, Brasil. ....	33
<b>Tabela 4.</b> Relação de parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo analisados e momento de amostragem do solo para análise. . ....	37
<b>Tabela 5.</b> Significância dos parâmetros físicos do solo resultante da análise de variância (ANOVA). ....	41
<b>Tabela 6.</b> Densidade e grau de compactação do solo sob diferentes tipos de manejo de solo pós-colheita de alface (coleta 1) e repolho (coleta 2) em sucessão, em Latossolo Vermelho no município de Cerro Largo, RS, Brasil. ....	43
<b>Tabela 7.</b> Distribuição de poros do solo sob diferentes tipos de manejo de solo pós-colheita de alface (coleta 1) e repolho (coleta 2) em sucessão, em Latossolo Vermelho no município de Cerro Largo, RS, Brasil. ....	46
<b>Tabela 8.</b> Significância dos parâmetros químicos do solo resultante da análise de variância (ANOVA). ....	51
<b>Tabela 9.</b> Parâmetros químicos do solo sob diferentes tipos de manejo em pré-implantação de alface (coleta 1) e pós-colheita de repolho (coleta 2) em sucessão, em Latossolo Vermelho no município de Cerro Largo, RS, Brasil. ....	54
<b>Tabela 10.</b> Significância dos parâmetros culturais resultante da análise de variância (ANOVA). ....	57

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
2.1	SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS .....	14
<b>2.1.1</b>	<b>Sistema Convencional .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Sistema de Plantio Direto .....</b>	<b>16</b>
2.1.2.1	<i>Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH).....</i>	<i>18</i>
2.1.2.1.1	Plantas de cobertura (adubos verdes) .....	19
2.2	QUALIDADE DO SOLO .....	21
<b>2.2.1</b>	<b>Indicadores de qualidade do solo.....</b>	<b>23</b>
2.2.1.1	<i>Indicadores físicos.....</i>	<i>24</i>
2.2.1.2	<i>Indicadores químicos .....</i>	<i>26</i>
2.2.1.3	<i>Indicadores biológicos .....</i>	<i>27</i>
2.3	OLERICULTURA .....	28
<b>2.3.1</b>	<b>A cultura da alface (<i>Lactuca sativa</i> L.) .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.2</b>	<b>A cultura do repolho (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>) .....</b>	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
3.1	HISTÓRICO DA ÁREA E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS .....	33
3.2	DELINEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO .....	34
3.3	PARÂMETROS DE ANÁLISE.....	37
<b>3.3.1</b>	<b>Parâmetros culturais.....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Parâmetros de solo .....</b>	<b>37</b>
3.3.2.1	<i>Parâmetros físicos.....</i>	<i>38</i>
3.3.2.2	<i>Parâmetros químicos.....</i>	<i>39</i>
3.3.2.3	<i>Parâmetros biológicos .....</i>	<i>39</i>
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	40
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
4.1	PARÂMETROS FÍSICOS DO SOLO.....	41
4.2	PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO .....	51
4.3	PARÂMETROS BIOLÓGICOS DO SOLO .....	55
4.4	PARÂMETROS CULTURAIS .....	56
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>61</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é considerado um organismo vivo responsável por inúmeros serviços ecossistêmicos necessários à vida humana, animal e vegetal, os quais estão diretamente relacionados às funções que exerce. A maestria do solo em proporcionar estes serviços está sujeita à complexidade de sua estrutura, e à medida que se torna mais complexa potencializam-se suas propriedades emergentes e conseqüentemente as funções ecossistêmicas (VEZZANI, 2015). A partir do momento em que ficou evidente que o impedimento à produção agrícola satisfatória em zonas tropicais não era o clima e sim o manejo inadequado dos solos, diversas regiões agrícolas do mundo, dentro das zonas tropicais, passaram a procurar por alternativas de preparo e manejo do solo (PRIMAVESI, 1979).

A capacidade do solo em cumprir suas funções, produzindo alimentos e fibras de forma satisfatória aliado a uma produção sustentável nos âmbitos ambiental, econômico e social, está atrelada à construção da sua qualidade, denominada qualidade do solo (QS), a qual serve de indicador para o manejo adequado de terras, de solo e de culturas (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). O conceito de qualidade do solo apresentou gradativas mudanças ao longo do tempo, impulsionado pela crescente preocupação da comunidade científica em relação aos alarmantes cenários agrícolas de erosão hídrica em lavouras do mundo todo (WARKENTIN; FLETCHER, 1977; LAL; PIERCE, 1991; DORAN; PARKIN, 1994). A qualidade do solo pode ser avaliada por meio de indicadores, sendo estes de carácter descritivo (visuais e/ou morfológicos) ou analítico (de natureza química, física e/ou biológica) (REINERT, 1998).

Especificamente para a produção de hortaliças, geralmente o preparo do solo costuma ser bastante intensivo (ALCÂNTARA; MADEIRA, 2008), contando com inúmeras operações mecanizadas para a realização de seu revolvimento, utilizando de arados, grades e enxadas rotativas. Entretanto, estas operações ocasionam a exposição do solo a processos erosivos, gradativamente resultando em perda de fertilidade química, deturpação da estrutura física e degradação dos organismos edáficos, tornando o sistema convencional de produção insustentável.

Até o ano de 2018, o cultivo comercial de hortaliças no Brasil abrangia 3,3 milhões de produtores e pelo menos 13 milhões de trabalhadores que atuavam no cultivo de 24 espécies, em uma área de 5,1 milhões de hectares, totalizando 53 milhões de toneladas de hortaliças produzidas (CARVALHO; KIST; BELING, 2019). Deste montante, estima-se que cerca de 30 mil hectares sejam manejados sob cultivo protegido, o equivalente a aproximadamente 0,5% do total de área produzida, ou seja, 99,5% é produzido em cultivo sobre o solo (RODRIGUES, 2015). Mesmo ocupando um patamar de importância à economia brasileira, ainda é observada

uma escassez de pesquisas relacionadas ao preparo e uso do solo e a utilização de cobertura vegetal e adubação verde na produção de culturas olerícolas.

Neste âmbito, o Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) surge enquanto uma alternativa ao sistema convencional, visando a saúde do solo e das plantas por meio de uma transição ecológica (FAYAD et al., 2018). Este sistema preconiza preceitos para que assim possa ser denominado: o aporte de dez (10) toneladas  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  ou mais de fitomassa sobre a superfície do solo; o uso de rotação de culturas e adubos verdes, sendo espontâneos ou cultivados, podendo levar o sistema a evoluir para um plantio direto no verde; o revolvimento do solo restrito às linhas de semeadura ou plantio; e a diminuição até a eliminação de adubos solúveis e agrotóxicos (MASSON; ARL; WURGES, 2019).

Estes preceitos impulsionaram o sucesso e garantem a eficiência do sistema. Dentre estes, a cobertura permanente do solo formada através de resíduos de plantas de cobertura somado aos resíduos das culturas comerciais e plantas vivas, em quantidade, qualidade e frequência necessária para atender a demanda biológica do sistema, apresenta-se enquanto uma das lacunas do SPDH, visto que a biomassa aérea e/ou subterrânea da maioria das espécies olerícolas é retirada durante a colheita em quase totalidade, uma vez que pertencem às partes comercializáveis. Sendo assim, a utilização de plantas de cobertura através de sistemas de rotação de culturas se torna fundamental.

No estado do Rio Grande do Sul, a produção de hortaliças ainda é pouco expressiva, principalmente em regiões mais distantes dos grandes centros urbanos, a exemplo da região Noroeste do estado, contando com poucas políticas públicas de incentivo e assim, dependendo da importação de vários produtos advindos de outras unidades federativas e/ou outros países. Nestas condições, as pesquisas voltadas ao manejo do solo e ao uso de plantas de cobertura em sistemas de produção de hortaliças ainda são pouco estudadas, sendo de grande importância para o estabelecimento de estratégias alternativas de organização dos sistemas de produção, a fim de elevar as produtividades concomitantemente à construção da qualidade do solo e elevação da renda de agricultores e agricultoras inseridos neste ramo produtivo.

Considerando as problemáticas abordadas, o objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo para produção de hortaliças (*Lactuca sativa* L. sucedida por *Brassica oleracea* var. *capitata*) sobre indicadores de qualidade do solo, a fim de indicar formas alternativas para um manejo mais sustentável e equilibrado do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS

#### 2.1.1 Sistema Convencional

O sistema convencional (SC) de preparo do solo é baseado no revolvimento da camada arável edáfica, sendo realizado através de duas etapas denominadas preparo primário e secundário, as quais consistem na realização de pelo menos uma aração e duas gradagens (DERPSCH et al., 1991). Estes procedimentos visam a redução de camadas compactadas, incorporação de insumos e resíduos, destorroamento, nivelamento e aumento do espaço poroso do solo e eliminação de plantas daninhas, objetivando preparar o local para a semeadura ou plantio da espécie agrícola desejada, otimizando a germinação, emergência e estabelecimento da cultura (ALVARENGA; CRUZ; VIANA, 2008).

Entretanto, o excessivo revolvimento do solo, bem como a falta de proteção sobre sua superfície, acarretam uma série de problemas ao ambiente edáfico, uma vez que proporcionam a destruição de agregados e conseqüentemente a aceleração da decomposição e perda de matéria orgânica, o favorecimento de perdas significativas por meio da erosão hídrica, além de possibilitar a formação de camadas compactadas através do adensamento gerado pela compressão mecânica de máquinas agrícolas ao longo do tempo (ALNCÂNTARA; MADEIRA, 2008), afetando as propriedades físicas do solo, como apontado por Denardin et al. (2011):

O uso excessivo de arações e/ou gradagens superficiais, e continuamente nas mesmas profundidades, provocaram desestruturação da camada arável, como efeito da redução da estabilidade de agregados, incremento do índice de argila dispersa em água, aumento da densidade do solo e redução acentuada da macroporosidade, da porosidade total e da taxa de infiltração de água no solo, culminando com intenso processo de erosão hídrica. (DENARDIN et al., 2011, p. 187).

Além de propriedades físicas, este sistema incide negativamente nas propriedades químicas e biológicas do solo, sendo as propriedades biológicas as mais afetadas pelo sistema de manejo convencional (CUNHA et al., 2011). Estas propriedades encontram-se interligadas entre si, ou seja, um desequilíbrio ocasionado pela alteração em uma propriedade conseqüentemente interfere no comportamento de todo o sistema. Uma vez que este equilíbrio não é restabelecido, o sistema tende a progredir para um estado de degradação, podendo esta ser química, física ou biológica, repercutindo na perda da capacidade produtiva do solo, conforme apresentado por Ceretta & Aita (2010):

- a. Degradação química:** *perda de nutrientes* (remoção pelas culturas quando não realizado adubações de manutenção e reposição adequadas, volatilização, lixiviação e imobilização pelo solo ou organismos do solo e/ou perdas por erosão); *perda de matéria orgânica* (aumento da decomposição quando a atividade dos microrganismos é favorecida, erosão através de enxurradas e remoção da camada superficial do solo e/ou por uso de fogo); *desbalanço de nutrientes* (manejo inadequado da adubação); *salinização e acidificação* (podem ocorrer naturalmente ou ser intensificada devido a mau uso do solo); *poluição dos solos* (introdução de substâncias químicas tóxicas ou pela alteração antrópica intensa).
- b. Degradação física:** *selamento superficial* (impacto das gotas da chuva e/ou irrigação resultante de superfícies descobertas); *compactação e adensamento* (tráfego intenso de máquinas e animais); *danos à estrutura* (manejos inadequados, tráfego intenso, baixos teores de matéria orgânica, ausência de drenagem e rotação de culturas, consequentemente gerando influência sobre a porosidade e permeabilidade do solo); *erosão* (principal forma de degradação física); *inundações e drenagem de áreas úmidas* (alteram o equilíbrio natural do ambiente edáfico); *arenização* (pode ocorrer naturalmente ou ser intensificada devido a mau uso do solo).
- c. Degradação biológica:** *redução da qualidade do habitat dos organismos do solo* (adição de insumos ou compostos tóxicos, remoção de nutrientes, manejo inadequado, queimadas, ausência de plantas de cobertura no período entressafra e práticas que levam à perda de matéria orgânica como mecanizações excessivas e/ou baixo aporte de material orgânico sobre a superfície do solo).

Na produção comercial de hortaliças em específico, geralmente as práticas utilizadas para o preparo e o manejo do solo costumam ser bastante intensivas com excessivas e frequentes mecanizações, sucessivas arações e/ou gradagens e utilização intensiva e crescente de adubos solúveis e agrotóxicos, desencadeando no processo erosivo, esgotamento de recursos e problemas fitossanitários, principalmente quando em topografia íngreme (MELO; MADEIRA; LIMA, 2016). Dentre as consequências deste tipo de sistema ao ambiente edáfico, observa-se a perturbação do ciclo de nutrientes e da fertilidade química (SHOKATI; AHANGAR, 2014), a alteração da estabilidade dos agregados que causa a deturpação da estrutura do solo e a elevação do potencial de perda de matéria orgânica consequente da erosão hídrica e da



decomposição microbiana (ISSAKA et al., 2019a), sendo a última a forma principal de perda de matéria orgânica, extremamente sensível ao preparo do solo (REICOSKY & LINDSTROM, 1993).

Valarini et al. (2011) apontam esta problemática ao avaliar a qualidade do solo em função de diferentes práticas agrícolas na produção de hortaliças, mediante a análise integrada de atributos físicos, químicos e biológico. Foi observado, de maneira geral, que a maioria das propriedades utilizavam práticas que favoreciam a degradação do solo, com ênfase ao revolvimento intenso e a ausência de cobertura sobre o solo, provocando a redução da matéria orgânica, da biomassa microbiana, da emergência de plântulas e da estabilidade de agregados (VALARINI et al., 2011).

### **2.1.2 Sistema de Plantio Direto**

O plantio direto e o preparo reduzido do solo são métodos utilizados desde as “culturas primitivas”, muito antes destes termos serem introduzidos no vocabulário atual, uma vez que a força humana não era suficiente para o preparo do solo em profundidades significativas, bem como o cultivo em grandes áreas (DERPSCH, 1998). O desenvolvimento do plantio direto decorre de uma série de fatores, inicialmente impulsionado pelo alarmante aumento das perdas de solo em razão do processo erosivo, associado ao surgimento de tecnologias que proporcionaram sua disseminação em maior escala, como o desenvolvimento de herbicidas e de máquinas apropriadas a esta prática (PASSOS; ALVARENGA; SANTOS, 2018).

A primeira possibilidade de cultivar grandes extensões de área sem o emprego do revolvimento do solo ocorreu em 1940 através da liberação do herbicida de folha larga 2,4-D, posteriormente seguido da Atrazina e do Paraquat em meados de 1955, sendo estes os únicos herbicidas acessíveis na época aos agricultores precursores da agricultura de plantio direto. Embora muitas tenham sido as tentativas iniciais de cultivar as lavouras sob plantio direto, as pesquisas significativas foram introduzidas em 1940 e a adoção pelos agricultores apenas no início da década de 1960, estendendo sua expansão inicial até o início da década de 70 (DERPSCH, 1998).

No Brasil, a primeira tentativa de aplicação de tecnologias de plantio direto foi realizada na cidade de Não-Me-Toque, no estado do Rio Grande do Sul, impulsionada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) no ano de 1969 (BORGES, 1993). Em 1971 iniciaram os primeiros ensaios, propriamente ditos, da América Latina e do Brasil de plantio direto, na cidade de Londrina, PR, no Instituto de Pesquisas Agropecuárias Meridional (IPEAME),

posteriormente denominado Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (DERPSCH, 1984).

As primeiras culturas a serem cultivadas sob plantio direto no Brasil foram soja, milho, trigo, cevada, sorgo, girassol, feijão e culturas de cobertura de adubo verde na agricultura de sequeiro (DERPSCH, 1998). Posteriormente, foi difundido para culturas perenes, na cana-de-açúcar, em frutíferas e espécies florestais, na olericultura e na recuperação de pastagens por meio da integração entre lavoura e pastagens (CARVALHO; FREITAS, 2008), tecnicamente chamada de Integração Lavoura Pecuária (ILP).

A partir dos avanços científicos, este método de cultivo foi sendo difundido para outras localidades do Brasil e da América Latina, evoluindo seu conceito para Sistema Plantio Direto (SPD) e enquadrando-se enquanto um sistema conservacionista. Conforme dados fornecidos pela Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação (FEBRAPDP, 2018) o Brasil passou por uma grande evolução, contando com 0,1 mil hectares cultivados sob SPD em 1972/73 e alcançando aproximadamente 32,6 milhões de hectares no ano de 2018. No entanto, uma parte considerável destas áreas não poderiam ser consideradas contempladas nesta evolução, uma vez que este sistema preconiza um mínimo de preceitos para que assim possa ser denominado e que muitas vezes são negligenciados (PASSOS; ALVARENGA; SANTOS, 2018; FAO, 2017):

- a) Revolvimento do solo restrito somente à linha de semeadura;
- b) Aporte de material vegetal morto (palhada) sobre o solo, em quantidade e qualidade, a fim de realizar a cobertura permanente da superfície edáfica;
- c) Diversificação de culturas por meio da rotação de culturas, preferencialmente em um sistema eu englobe plantas de cobertura, chamados adubos verdes.

Mesmo com ressalvas, nos últimos 40 anos o SPD apresentou um grande avanço no controle das perdas de solo decorrentes principalmente da erosão hídrica, no entanto, estes avanços se restringem majoritariamente à produção de grãos e cana-de-açúcar (LIMA; MADEIRA, 2013), principalmente por apresentarem os valores de produção mais elevados quando analisado em relação ao montante da produção total brasileira (IBGE, 2019a). No que diz respeito à produção de hortaliças, esta permanece enraizada ao sistema convencional com uso intensivo do solo e altamente dependente de insumos externos, acarretando em problemas erosivos, contaminação da água, solo, alimentos e pessoas, perda de produtividade e consequentemente perda de qualidade e renda dos agricultores e agricultoras (FAYAD et al., 2018).

### 2.1.2.1 Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)

Em resposta a estas problemáticas, felizmente, a preocupação com a conservação do solo e da água tem crescido neste tipo de produção por meio da adoção de uma série de práticas de manejo, como a utilização de plantas de cobertura e a presença de palhada sobre o solo mesmo em sistemas de cultivo convencional (ALCÂNTARA; MADEIRA, 2008), mas principalmente por meio da transição para um sistema de cultivo conservacionista. Especificamente para o cultivo de hortaliças, este sistema é denominado Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH), o qual representa uma alternativa de transição ecológica de produção que visa tornar, gradualmente, mais equilibrada a relação entre agricultores e agricultoras e o sistema solo-planta-atmosfera (FAYAD et al., 2018).

Os primeiros experimentos realizados a respeito do SPDH surgiram em 1998 na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPA-GRI) de Caçador, SC, no intuito de apresentar uma resposta aos problemas enfrentados pelo cultivo de hortaliças baseado nos modelos convencionais de produção. Através de seu eixo técnico-científico, o qual visa a saúde do solo e das plantas, o SPDH tem como base (MASSON; ARL; WURGES, 2019):

A promoção do conforto da planta orientada pela minimização dos estresses nutricionais, de salinidade, disponibilidade de água, temperatura, luminosidade, pH e de velocidade de difusão do oxigênio no entorno do sistema radicular; A promoção do conforto das plantas utilizando arranjos espaciais associados à arquitetura do sistema radicular, ao tamanho da planta e à quantidade de frutos, conforme as necessidades de cada cultura, como a exemplo da poda em cucurbitáceas e a verticalização do sistema de condução no tomate, ao uso de indutores de resistência e da calda bordalesa 0,3%, entre outros; Nutrição da planta com base nas taxas diárias de absorção de nutrientes, adequando-a às condições ambientais, às reservas nutricionais do solo e aos sinais apresentados pela própria planta; Adição superior a 10 toneladas de fitomassa (massa seca) por hectare e por ano nos planos de rotação; Rotação de culturas e de adubos verdes (cultivados e espontâneos), evoluindo para a rotação com animais manejados no Pastoreio Racional Voisin (PRV), objetivando o plantio direto no verde; Revolvimento do solo restrito às linhas de plantio ou berços de semeadura; Manejo dos adubos verdes espontâneos, utilizando rolo-faca e roçadeira, de forma que possam melhorar o sistema com plantas mais adaptadas às condições locais e sem prejudicar a produção da cultura econômica, evoluindo para o plantio direto no verde (objetivando eliminar o uso dos herbicidas); Diminuição até a eliminação do uso de adubos altamente solúveis e de agrotóxicos; Produção de mudas e sementes em condições de enfrentar o estresse abiótico e biótico relacionado ao estabelecimento da futura planta no campo e sujeitas a agentes patogênicos prejudiciais, passando pela associação do sistema radicular e aéreo à biota promotora de saúde, assim como ativação do sistema de defesa da planta; Diminuição dos custos de produção e ambiental, aumentando a produtividade das culturas e das criações; Promoção, na paisagem rural, da associação de matas, corredores ecológicos e bosques às lavouras e criações no SPDH. (MASSON; ARL; WURGES, 2019, p. 33-34).

Diversos trabalhos apontam que o SPD é capaz de fornecer os benefícios que o SC proporciona a curto prazo, e até melhorar o ambiente edáfico e a produtividade de determinadas culturas quando manejado da maneira correta (SOBRINHO et al., 2003; COSTA et al., 2003; COSTA; GOEDERT; SOUZA, 2006; ISSAKA et al., 2019b; ), como observado em trabalho realizado por Caixeta et al. (2009) em que foi constatado 69 e 36% menos perdas totais de solo e água respectivamente em SPDH quando comparado ao sistema convencional com plantio após pousio. Além da diminuição na perda de solo e água, Souza et al. (2014) também observaram maiores teores de carbono orgânico total e carbono da biomassa microbiana em SPDH quando comparado ao SC. Ademais, a produtividade agrícola em repolho foi beneficiada quando utilizou-se plantas de cobertura formadoras de palhada (SOUZA et al., 2014).

Uma das lacunas deste sistema é a produção de biomassa vegetal, em quantidade e qualidade, para a manutenção da cobertura permanente do solo, visto que na produção de hortaliças a maior parte da biomassa aérea e/ou subterrânea é retirada para a comercialização, restando pouca ou nenhuma palhada sobre o solo advinda da cultura comercial. Uma alternativa é a utilização de plantas de cobertura (adubação verde) que podem ser arrançadas em esquemas de rotação, sucessão ou consórcio com as hortaliças (OLIVEIRA et al., 2015).

#### *2.1.2.1.1 Plantas de cobertura (adubos verdes)*

O sucesso do SPD reside, em grande parte, devido a palhada depositada sobre a superfície do solo proveniente de plantas de cobertura e resíduos vegetais deixados pelas culturas comerciais. A importância da palhada é evidenciada por proporcionar estabilidade ao ambiente edáfico, minimizando a evaporação e maximizando a infiltração e armazenamento de água, atuando como dissipadora de energia, promovendo temperaturas mais amenas e o controle de plantas daninhas (CONSTANTIN, 2011). Além disso, observa-se o aumento do teor de matéria orgânica através da incorporação vegetal gradativa, a proteção da superfície contra o impacto das gotas de chuva e, conseqüentemente, o favorecimento dos organismos do solo aliado à mineralização de nutrientes e o desenvolvimento das culturas agrícola, contribuindo para a recuperação e manutenção da qualidade do solo (ALVARENGA et al., 2001; HECKLER et al., 1998).

A obtenção da palhada para a realização da cobertura superficial do solo pode ser realizada pela importação de área externa, como comumente é realizado para o cultivo de alho, ou através do cultivo de plantas de cobertura no local de cultivo das culturas comerciais (ALCÂNTARA; MADEIRA, 2008). A segunda maneira de obtenção da palhada deve ser preconizada,

se possível, uma vez que a importação deste material de área externa apenas cumprirá a função de cobrir o solo, não exercendo efeito sobre a estrutura edáfica devido à ausência de parte radicular

Para que uma espécie possa ser utilizada enquanto uma planta de cobertura é importante que esta apresente algumas características de relevância ao agroecossistema. Dentre estas características, preconiza-se: elevada produção de massa verde e seca por área, elevada agressividade e rusticidade a fim de competir com plantas indesejadas, rápido crescimento, boa cobertura do solo, alto vigor e poder germinativo, realização de fixação de nitrogênio atmosférico (importante, porém não imprescindível), fácil manejo, baixa persistência como planta daninha e, quando possível, que possa ser utilizada como fonte de renda familiar (BARNI et al., 2003).

Dentre as espécies de plantas de cobertura mais utilizadas, destacam-se as famílias das gramíneas (Poaceae) e das leguminosas (Fabaceae), podendo também observar a presença de espécies da família Brassicaceae, como o nabo forrageiro, e da família Polygonaceae, como o trigo mourisco. As espécies leguminosas se sobressaem sobre as espécies gramíneas devido à fixação biológica de nitrogênio (FBN), favorecendo quimicamente a cultura agrícola sucessora, no entanto, as espécies gramíneas possuem um desenvolvimento inicial mais rápido, apresentando melhor adaptação às condições edafoclimáticas (GOMES et al., 1997). Quanto à relação carbono/nitrogênio (C/N) do material vegetal, é possível classificar as leguminosas enquanto plantas de decomposição rápida, possuindo relação C/N próxima a 20, e as gramíneas enquanto plantas de decomposição lenta, com relação C/N em torno de 30 ou mais (ALVARENGA et al., 2001).

A escolha das espécies a serem adotadas no sistema de rotação de culturas irá depender das características do local, considerando a qualidade e a quantidade de palha que será produzida. É preferível que se opte por espécies de famílias distintas no período anual de alternância, objetivando principalmente a redução ou eliminação de propágulos de patógenos por meio de espécies não suscetíveis, além de favorecer os microrganismos do solo através do aumento da diversidade de antagonistas de patógenos de plantas (LOURENÇO JUNIOR; LOPES; REIS, 2016).

As principais espécies leguminosas utilizadas na adubação verde são crotalária (*Crotalaria juncea* e *C. spectabilis*), mucuna (preta, anã e cinza), lab-lab, feijão de porco, feijão guandu e ervilhaca. Já as principais espécies gramíneas são milho, milheto, sorgo, aveia branca, aveia preta, azevém e centeio (AMARO et al., 2007; WUTKE et al., 2007). As diferentes espécies com aptidão para a adubação verde apresentam características específicas quanto à produção de massa seca e massa verde por hectare, relação C/N e quantidade de nitrogênio fixado (tabela

1). Estas características devem ser consideradas no momento da implantação da espécie na lavoura, levando em consideração as necessidades e objetivos de cada propriedade e adequando o sistema de rotação e sucessão de culturas a fim de permitir uma cobertura mínima do solo com palha (ALVARENGA et al., 2001).

**Tabela 1.** Principais espécies utilizadas na adubação verde nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Nome comum	Nome científico	Família botânica	Massa verde	Massa seca	Relação C/N	N fixado
			----- t/ha -----			kg/ha/ano
Semeadura na primavera-verão						
Crotalaria júncea	<i>Crotalaria juncea</i>	Leguminosa	21 a 60	10 a 15	17 a 19	150 a 450
Crotalaria spectabilis	<i>Crotalaria spectabilis</i>	Leguminosa	20 a 30	4 a 6	-	60 a 120
Feijão-de-porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	Leguminosa	22 a 40	5 a 8	10 a 16	49 a 190
Girassol	<i>Helianthus annuus</i>	Composta	20 a 90	2 a 12	22 a 33	-
Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	Leguminosa	20 a 40	8 a 12	15 a 22	37 a 280
Lab-lab	<i>Lab lab purpureus</i>	Leguminosa	15 a 36	5 a 9	18	66 a 180
Milheto	<i>Pennisetum glaucum</i>	Gramínea	23 a 50	8 a 10	30 a 43	-
Milho	<i>Zea mays</i>	Gramínea	20 a 30	6	50 a 54	-
Mucuna-anã	<i>Mucuna deeringiana</i>	Leguminosa	10 a 20	2 a 4	12 a 20	50 a 100
Mucuna-preta	<i>Mucuna aterrima</i>	Leguminosa	29 a 50	6 a 9	12 a 21	120 a 210
Mucuna-cinza	<i>Mucuna cinérea</i>	Leguminosa	25 a 50	5 a 8	10 a 22	120 a 210
Sorgo	<i>Sorghum spp.</i>	Gramínea	28 a 56	1 a 10	-	-
Semeaduras no outono-inverno						
Aveia branca	<i>Avena sativa</i>	Gramínea	15 a 50	2,5 a 7	33 a 47	-
Aveia preta	<i>Avena strigosa</i>	Gramínea	15 a 60	2 a 8	21 a 42	-
Azevém	<i>Lolium multiflorum</i>	Gramínea	20 a 60	2 a 6	-	-
Centeio	<i>Secale cereale</i>	Gramínea	12 a 35	2 a 7	19 a 42	-
Chícharo	<i>Lathyrus sativus</i>	Leguminosa	20 a 40	2 a 6	12 a 25	-
Ervilhaca	<i>Vicia sativa</i>	Leguminosa	20 a 50	2 a 10	10 a 24	90 a 180
Nabo forrageiro	<i>Raphanus sativus</i> <i>var. oleiferus</i>	Crucífera	20 a 60	2 a 9	10 a 34	-
Tremoço branco	<i>Lupinus albus</i>	Leguminosa	15 a 40	2 a 5	14 a 23	128 a 268
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	Gramínea	10 a 14	1,5 a 4	-	-
Triticale	<i>Triticosecale Wittmack</i>	Gramínea	5 a 10	2 a 3	22	-

Fonte: adaptado de Wutke et al. (2007).

## 2.2 QUALIDADE DO SOLO

O conceito de qualidade do solo foi inicialmente sugerido por Warkentin & Fletcher (1977) devido às diversas funções fornecidas pelos recursos do solo, no entanto, este conceito foi pouco discutido na literatura por quase uma década visto que a importância do manejo estava concentrada no controle da erosão e na redução da perda de solo visando a maximização da produtividade das culturas (KARLEN et al., 2003). Por muitos anos acreditou-se que a qualidade do solo se dava estritamente pela sua riqueza química, repercutindo em uma alta produção agrícola. Esta concepção permanece enraizada mesmo nos dias atuais, entretanto, a evolução

desta permitiu compreender que a qualidade do solo depende de uma inter-relação entre os fatores químicos, físicos e biológicos, influenciando o seu potencial de uso, a produtividade das culturas e a sustentabilidade do agroecossistema (ZILLI et al., 2003).

Os conceitos de Qualidade do Solo e Saúde do Solo são frequentemente utilizados de maneira intercambiável, visto que se sobrepõe em grande parte. Doran & Parkin (1994) definiram a qualidade do solo como “a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens”. O conceito de saúde do solo, por sua vez, está relacionado a natureza viva e dinâmica do solo, suas características ecológicas, diversidade e estabilidade ecológica (PANKHURST et al., 1997; VAN BRUGGEN; SEMENOV, 2000; KARLEN et al., 1997) e é visualizado de forma análoga a saúde de um organismo ou comunidade (LARSON; PIECE, 1991; DORAN; PARKIN, 1994).

A avaliação da qualidade do solo difere do levantamento, classificação e interpretação tradicional do solo ao passo em que enfatiza suas propriedades e seus processos inerentes e dinâmicos, enquanto os demais baseiam-se em características inerentes determinadas por fatores de formação do solo (*s*) ou variáveis independentes (KARLEN et al., 2003), que contemplam o clima (*cl'*), os organismos (*o'*), a topografia ou relevo (*r'*), o material de origem (*m*) e o tempo (*t*) conforme a equação descrita por Jenny (1941):  $s = f' (cl', o', r', m, t)$ . As avaliações realizadas por meio de propriedades inerentes e por meio da qualidade dinâmica determinam características distintas e se concentram em profundidades do perfil de solo diferentes, como descrito por Karlen et al. (2003):

As propriedades inerentes determinam as capacidades absolutas de vários solos, geralmente se concentram em todo o perfil do solo ( $\pm 2$  m de profundidade) e são a razão pela qual não pode haver um valor único que descreva a qualidade do solo para todos os recursos e usos do solo. A qualidade dinâmica do solo se concentra na superfície de 20 a 30 cm e descreve o estado ou condição de um solo específico devido ao uso da terra relativamente recente ou às decisões de manejo. É medido usando vários indicadores biológicos, químicos e físicos, incluindo algumas das propriedades inerentes (por exemplo, pH, densidade aparente, conteúdo de matéria orgânica) incluídas na maioria das descrições de perfil de solo. Na verdade, os intervalos fornecidos para as medições inerentes no banco de dados de levantamento de solo tradicional são frequentemente usados para estabelecer os limites para pontuação ou quantificação das medições dinâmicas associadas à avaliação da qualidade do solo. O levantamento, classificação e interpretação tradicional do solo e avaliação da qualidade do solo não são concorrentes, mas sim complementares. (KARLEN et al., 2003, p. 148).

Como mencionado acima, a qualidade do solo pode ser mensurada através de propriedades químicas, físicas e biológicas. A expressão das relações entre estes elementos é descrita por Vezzani (2001) enquanto “propriedades emergentes”, indicando que o solo apenas

apresenta estas propriedades quando em um estado de ordem elevado, caracterizado pela complexidade e diversidade de sua estrutura e de suas relações, ou seja, quando submetidos a sistemas conservacionistas de manejo. Neste nível de ordem, em que a complexidade é representada pelos macroagregados e pela maior quantidade de energia e matéria retida na forma de compostos orgânicos, as propriedades emergentes que se destacam são: melhor estrutura, adequados fluxos de água e ar, estoque de carbono, aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) e de nutrientes, complexação de compostos prejudiciais e favorecimento de organismos do solo (VEZZANI, 2001).

Em muitos estudos observa-se a utilização de indicadores únicos para a determinação da qualidade do solo, isto é, um único indicador é utilizado para avaliar uma característica complexa, embora a qualidade do solo necessite de múltiplos atributos para sua avaliação (KARLEN et al., 2003; WARKENTIN; FLETCHER, 1977). Sendo assim, quando desejado realizar estudos a respeito deste assunto, é preferível que se utilize o máximo de indicadores possíveis, considerando aqueles de maior sensibilidade e que melhor se adequem às condições do estudo.

A qualidade edáfica, como consequência da intensidade de processos dissipativos e ordenativos, é intensamente prejudicada pelas práticas de manejo, como por exemplo a decomposição microbiana da matéria orgânica e a desagregação do solo consequentes do revolvimento pela lavração e gradagem que expõe a superfície edáfica à radiação solar. A sua melhoria acontece de forma gradual através do manejo conservacionista, envolvendo dois fundamentos base: o não revolvimento e o alto aporte de fitomassa residual (10 a 12 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), essencialmente de forma concomitante (BAYER et al., 2018).

A preconização destes dois fundamentos foi apontada também em estudo realizado por Vezzani & Mielniczuk (2009) ao analisar diferentes linhas de pensamento do âmbito científico em relação à conceituação de qualidade do solo, concluindo que, basicamente, os sistemas agrícolas que favorecem a qualidade do solo são aqueles que não utilizam de revolvimento e cultivam plantas intensamente. Considerando estes dois fundamentos base, Bayer & Dieckow (2020) apontam que, em regiões tropicais e subtropicais úmidas, a melhoria da qualidade do solo é claramente possibilitada pelo SPD, desde que em sistemas com alta entrada de fitomassa vegetal.

### **2.2.1 Indicadores de qualidade do solo**

Dado que a qualidade do solo necessita de um conjunto de variáveis para ser mensurada, uma vez que não pode ser realizada diretamente, utiliza-se de indicadores mensuráveis



(quantitativa ou qualitativamente) de solo e de planta que permitam caracterizar, avaliar e acompanhar modificações em determinado ecossistema (KARLEN et al., 1997). A escolha de indicadores irá depender da finalidade de uso do solo em estudo e podem variar em função das características inerentes a cada local (ARAÚJO et al., 2012). No entanto, alguns critérios podem orientar a escolha dos indicadores mais adequados, como: a) ser funcional; b) ser prático e de fácil utilização a campo; c) ser dinâmico no quesito suscetível às variações de clima e manejo; e d) apresentar base de dados para fins de comparações (DORAN; PARKIN, 1996).

Dentre os principais indicadores utilizados, encontram-se indicadores físicos, químicos e biológicos, os quais possibilitam o monitoramento de variações no ambiente a médio e longo prazo (DORAN; PARKIN, 1994). Torna-se relevante ressaltar que o conceito de qualidade do solo não se reduz a uma única explicação, uma vez que se refere a um conceito sistêmico e complexo, devendo descrever a maior quantidade de processos do solo possível. Nesse contexto, é possível utilizar destes indicadores para avaliar a qualidade do solo uma vez que é a inter-relação entre propriedades físicas, químicas e biológicas que possibilita com que o solo exerça suas funções com plenitude (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

#### 2.2.1.1 Indicadores físicos

A qualidade do solo, do ponto de vista físico, é um dos fatores de grande importância na construção de ambientes agrícolas sustentáveis, visto que as propriedades e processos físicos estão associadas a solos que: a) possibilitam a sustentação e crescimento de raízes e parte aérea; b) permitam a troca de gases e de calor; c) permitam a infiltração, retenção, fluxo e disponibilização de água; d) respondam ao manejo e resistam à degradação (REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

Os principais indicadores físicos utilizados para a avaliação da qualidade do solo são textura, espessura, estabilidade de agregados, capacidade de retenção de água, condutividade elétrica, densidade, resistência à penetração e porosidade (ARAÚJO et al., 2012). No entanto, outros indicadores também podem ser utilizados, como por exemplo o monitoramento de água no solo, a porosidade de aeração e o grau de compactação.

O monitoramento da umidade do solo é de grande importância no âmbito agrícola, sobretudo quanto à sua variação no tempo, influenciada pelas chuvas, irrigação, evaporação, drenagem e práticas agrícolas de manejo das culturas e de solo (SOUZA et al., 2016). A quantidade de água armazenada no solo depende da textura, estrutura e porosidade do solo, uma vez que

que um solo bem agregado possui maior volume de poros e maior capacidade de retenção de água (BRADY; WEIL, 2012), influenciados pelo sistema de manejo empregado.

A densidade, a distribuição de poros, o grau de compactação, a resistência do solo à penetração e a porosidade de aeração do solo apresentam sensibilidade a vários fatores, a exemplo do sistema de manejo, teor de matéria orgânica do solo e quantidade e qualidade dos resíduos utilizados para a cobertura do solo (TORMENA et al., 2002). Para solos argilosos, valores de densidade acima de 1,4-1,6 Mg m<sup>-3</sup> são considerando críticos ao desenvolvimento das culturas (tabela 2) (VEIHMEIER; HENDRICKSON, 1948), bem como valores abaixo de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para macroporosidade (REICHERT et al., 2007), menores que 0,10-0,15 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para porosidade de aeração (COCKROOFT; OLSSON, 1997) e acima de 2 MPa para resistência à penetração (TAYLOR et al., 1966). Para o grau de compactação os valores críticos variam em função da cultura, das condições climáticas e do tipo de solo (SUZUKI, et al., 2007), geralmente considerando ideal valores entre 80 e 90%, não estando muito solto ou compactado (KLEIN, 2014).

**Tabela 2.** Valores críticos para alguns parâmetros físicos do solo.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores críticos</b>
Densidade do solo (Ds)	> 1,4-1,6 Mg m <sup>-3</sup> (solos argilosos) > 1,6-1,8 Mg m <sup>-3</sup> (solos francos e arenosos)
Macroporosidade (Mac)	< 0,10 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
Porosidade de aeração (PA)	< 0,10-0,15 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
Resistência do solo à penetração (RP)	> 2 MPa
Grau de compactação (GC)	80% > GC > 90%

Fonte: adaptado de Veihmeier & Hendrickson (1948); Reichert et al. (2007); Cockroft & Olsson (1997); Taylor et al. (1966); Klein (2014).

O comportamento dos atributos físicos do solo pode variar no tempo em função do manejo do solo, como observado por Pawlowski et al. (2020a) ao avaliar diferentes preparos e manejos do solo na produção de alface. Constatou-se a diminuição da densidade, da microporosidade e do grau de compactação, e o aumento da porosidade total e da microporosidade quando há aumento da mobilização e deposição de palhada sobre o solo. Além, constatou-se maior produtividade da alface e valores menos elevados para a resistência do solo à penetração nos tratamentos que apresentação cobertura vegetal sobre o solo (PAWLOWSKI, 2020a).

### 2.2.1.2 Indicadores químicos

Os indicadores químicos de qualidade do solo podem ser divididos em quatro grupos: a) que indicam processos do solo ou de comportamento, como pH e carbono orgânico; b) que indicam a capacidade do solo em resistir à troca de cátion, como CTC; c) que indicam elementos essenciais às plantas, como N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes; d) que indicam elementos fitotóxicos, como metais pesados e  $Al^{+3}$ ; e) que indicam relação, como a saturação por bases (V%) e de alumínio (m%) (GOMES; FILIZOLA, 2006).

A matéria orgânica do solo (MOS) é representada por uma pequena porcentagem da parte sólida da maioria dos solos, no entanto, representa significativa influência tanto sobre as propriedades químicas, quanto físicas e biológicas do solo, sendo responsável por boa parte da CTC do solo, da capacidade de retenção de água, pela formação e estabilização de agregados, além de conter nutrientes que são liberados lentamente para as plantas (BRADY; WEIL, 2012). A MOS é utilizada enquanto um indicador de qualidade do solo uma vez que apresenta alta sensibilidade às práticas de manejo e correlaciona-se com a maioria das propriedades do solo (MIELNICKZUK, 1999).

É importante ressaltar que a matéria orgânica se diferencia do conceito de material orgânico. O último conceito é caracterizado por todo material orgânico depositado sobre o solo, os quais são transformados na superfície ou incorporados ao perfil, constituindo assim a matéria orgânica do solo, denominada “MOS” (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O pH é um indicador de grande importância para a qualidade química dos solos, sendo caracterizado pela quantidade de íons hidrogênio ( $H^+$ ) existentes na solução do solo. O pH indica condições químicas gerais do solo, por exemplo, em solos com acidez elevada há baixa disponibilidade de elementos como nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, molibdênio e cloro; elevado teor de alumínio tóxico (quando em  $pH < 5,5$ ); excesso de ferro, cobre, manganês e zinco; e fixação de fósforo nos colóides do solo (RONQUIM, 2010). Por este motivo considera-se valores entre 5,5 e 6,5 enquanto pH de referência, variando conforme a exigência de cada cultura (CQFS-RS/SC, 2016).

A disponibilidade de nutrientes no solo (como Ca, Mg, P, K) são indicadores importantes para avaliar a qualidade do solo entre diferentes sistemas de manejo (ARAÚJO, et al., 2012). Através dos elementos que compõem a soma de bases do solo (Ca, Mg, K e Na) somado ao  $Al^{+3}$  e  $H^+$ , é possível calcular a CTC efetiva e a CTC potencial do solo, e posteriormente os índices V% (saturação por bases) e m% (saturação por alumínio). O índice V% expressa a porcentagem que os íons base do solo ocupam na troca de cátions e, por exemplo, quando é observado um

índice V% baixo, por conseguinte há uma maior adsorção de elementos tóxicos como  $Al^{+3}$  e  $H^{+}$  (TEDESCO et al., 1995).

### 2.2.1.3 Indicadores biológicos

A fauna (micro, meso e macro), os microrganismos e as raízes das plantas podem ser utilizados como indicadores biológicos de qualidade do solo. Essas variáveis passaram a ser utilizadas como indicadores por meio da necessidade de bioindicadores sensíveis às mudanças consequentes de diferentes manejos, a fim de servir enquanto um mecanismo de avaliação do grau de perturbação do solo (MENDES et al., 2009). Os principais indicadores microbiológicos encontrados na literatura são: carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico ( $qCO_2$ ) (DE-POLLI; PIMENTEL, 2005). Também, tem-se verificado o grande potencial das análises enzimáticas do solo como indicadores devido sua alta sensibilidade, especialmente  $\beta$ -glicosidase e arilsulfatase (MENDES et al., 2018).

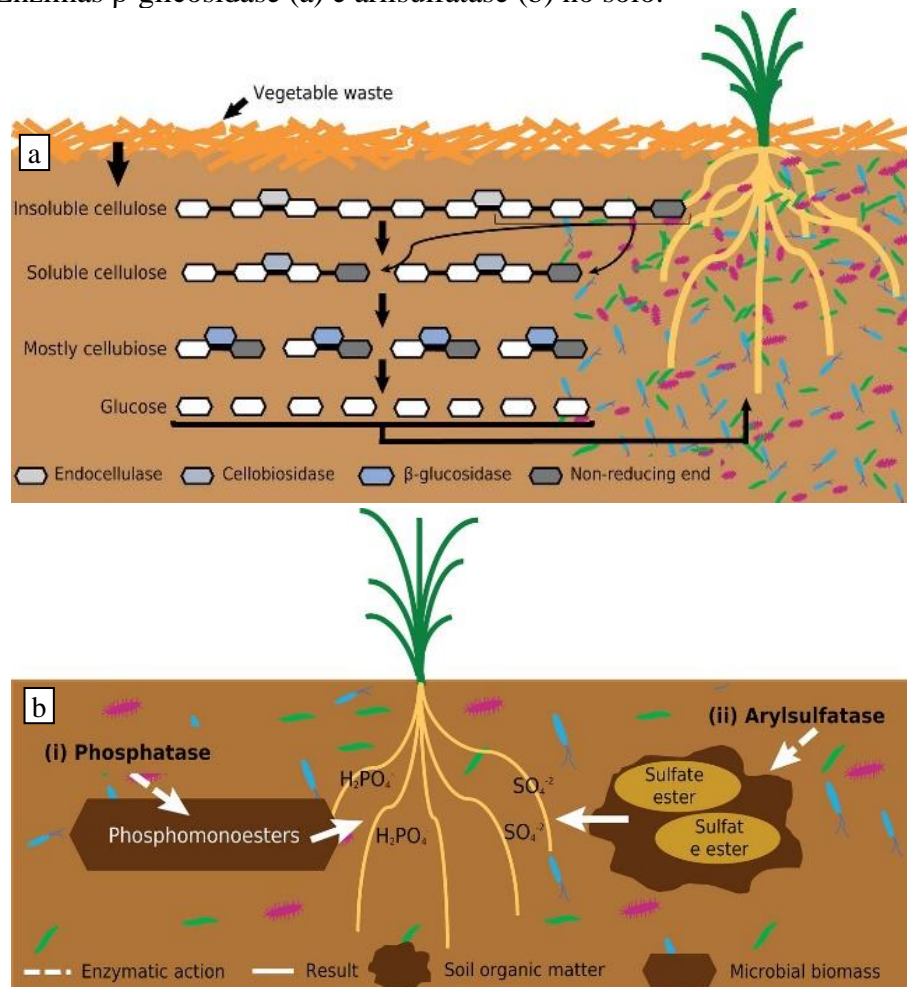
As enzimas arilsulfatases são caracterizadas conforme o tipo de ésteres de sulfato orgânico que hidrolisam. Acredita-se que este grupo de enzimas seja parcialmente responsável pela ciclagem de enxofre nos solos, desempenhando importante papel no processo de mineralização e disponibilização do enxofre orgânico, além, sua atividade correlaciona-se de forma significativa ao conteúdo de matéria orgânica do solo (figura 1) (TABATABAI, 1994). Já as enzimas glicosidases são responsáveis pela hidrólise de ligações  $\beta$ -glicosídicas em dissacarídeos, oligossacarídeos e glicosídeos conjugados. As enzimas arilsulfatase e  $\beta$ -glicosidase apresentam grande importância no ambiente agrícola, visto que possuem participação essencial na ciclagem de nutrientes, significativa correlação com a matéria orgânica do solo e alta sensibilidade às mudanças no uso e manejo do solo, sendo assim um bom indicador (PAZUTTI; CHAER, 2012).

Como apontado por Sobucki et al. (2021), as moléculas de glicose são a principal fonte de energia dos microrganismos heterotróficos, no entanto, as moléculas de glicose presentes nas estruturas de celulose não podem ser acessadas diretamente por estes microrganismos. Este acesso é dependente da quebra deste polímero por meio da ação de três enzimas extracelulares que compõe o grupo das celulasas, dentre elas se encontram as  $\beta$ -glicosidases, bem como glucanases e celobiosidases (figura 1) (SOBUCKI et al., 2021).

A avaliação destas enzimas é de relevância para o estudo comparativo de diferentes sistemas de manejo do solo, como observado por Lisboa et al. (2012) que detectaram maior atividade enzimática de arilsulfatase e  $\beta$ -glicosidase, além de urease e fosfatase ácida, em preparo do solo sob SPD comparado ao SC. Atualmente, a Embrapa Cerrados (2020) vem

difundindo a Tecnologia de Bioanálise do Solo (BioAS) que tem por objetivo agregar o componente biológico às análises de rotina de solos por meio da análise das enzimas  $\beta$ -glicosidase e arilsulfatase, associadas aos ciclos do enxofre e do carbono respectivamente, por estarem direta ou indiretamente relacionadas ao potencial produtivo das culturas e à sustentabilidade do uso do solo.

**Figura 1.** Enzimas  $\beta$ -glicosidase (a) e arilsulfatase (b) no solo.



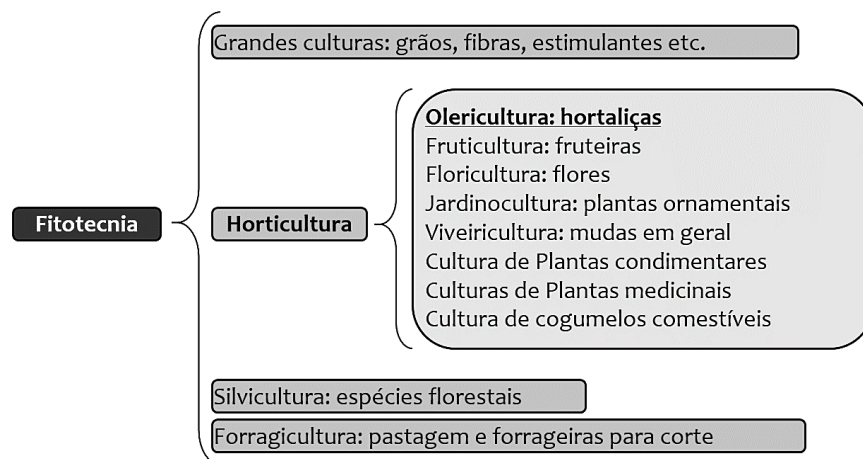
Fonte: Sobucki et al. (2021).

### 2.3 OLERICULTURA

A olericultura encontra-se em uma das subáreas da horticultura (que por sua vez, pertence à grande área da fitotecnia), a qual é responsável pela produção de uma variedade enorme de culturas comestíveis e ornamentais, abrangendo outras subáreas atribuídas à produção de frutas, cogumelos comestíveis, plantas ornamentais, mudas diversas e plantas aromáticas e condimentares (figura 2) (RODRIGUES, 2014; FILGUEIRA, 2008). Etimologicamente, o termo olericultura deriva do latim em que “*olus*”, “*oleris*” se refere a hortaliças e “*colere*” ao cultivo,

caracterizando o cultivo de hortaliças, também chamadas de olerícolas, oleráceas ou plantas de ciclo curto que requerem intensivos tratamentos culturais, entretanto, podem apresentar ciclo cultural curto, médio e longo, a exemplo do aspargo (*Raphanus sativus*) e do inhame (*Colocasia esculenta*) que são espécies perenes (PUIATTI, 2019).

**Figura 2.** Subdivisões da fitotecnia.



Fonte: adaptado de Filgueira (2008).

De acordo com o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019b), o panorama atual brasileiro apresenta que a horticultura e a floricultura, em conjunto, ocupam 3,04% dos estabelecimentos agropecuários. Além, a produção vegetal, a qual engloba lavouras temporárias, lavouras permanentes, silvicultura, horticultura, extração vegetal e floricultura, contabilizou 66% (308 bilhões) do valor total da produção com atividades agropecuárias, e destes, 2,8% (8,6 bilhões) foram obtidos pela horticultura (IBGE, 2019b).

A produção de hortaliças se destaca por ser largamente produzida pela agricultura familiar que, além de produzir outros produtos como milho, mandioca, feijão, café, ovos, arroz, leite e aves, as hortaliças se sobressaem pois além de auxiliarem na subsistência das famílias, enriquecendo e complementando a dieta, possibilitam um rápido retorno econômico, contribuindo enquanto um suporte a outras produções que demandam maior tempo de retorno (AMARO et al., 2007). A agricultura familiar ocupa atualmente 77% dos estabelecimentos agropecuários, porém, apenas 23% da área total de estabelecimentos, sendo responsável por 23% do valor total da produção, variando bastante conforme as Unidades de Federação (IBGE, 2019b). Sendo assim, é de importância que os agricultores familiares se apropriem de conhecimentos e tecnologias disponíveis para o cultivo de hortaliças.

Alguns fatores climáticos como temperatura, luminosidade e umidade devem receber certa atenção na produção de hortaliças, uma vez que a maioria das espécies é prejudicada em

condições de excesso de chuvas e/ou elevadas temperatura (SALA; COSTA, 2012; SANTOS; SEABRA JUNIOR; NUNES, 2010; HOOGENBOOM, 2000), assim como temperaturas muito baixas e ventos intenso podem prolongar o ciclo das culturas (MONTEIRO, 2009), apresentando, em sua maioria, melhor desempenho sob temperaturas amenas, com médias entre 18 °C e 22 °C.

Considerando estes aspectos, o uso de palhada sobre o solo objetivando favorecer as condições edáficas e culturais é uma alternativa interessante à agricultura familiar, uma vez que não eleva consideravelmente o custo de produção e não requer altos investimentos para sua instalação, diferentemente do que ocorre em outros sistemas, como por exemplo com o uso de plásticos para cobertura do solo ou em túneis, o que dificulta a implementação em muitas propriedades de agricultura familiar devido ao custo elevado (AMARO et al., 2007).

Dentre as hortaliças mais consumidas pelos brasileiros, temos o tomate em primeiro lugar, seguido pela batata-inglesa, cebola, cenoura, batata-doce, abóbora, repolho, alface, chuchu e alho em décimo lugar. As culturas do repolho e da alface representam um consumo de 1,03 e 0,91 kg/pessoa/ano respectivamente (MODA; MENDES; CAMARGO, 2021), estando entre as hortaliças mais produzidas em número de estabelecimentos e toneladas (CARVALHO; KIST; BELING, 2019) e desta forma enquadram-se entre as culturas olerícolas de maior importância econômica no Brasil.

### **2.3.1 A cultura da alface (*Lactuca sativa* L.)**

A origem e domesticação da alface cultivada (*Lactuca sativa* L.) é amplamente discutida em diversos trabalhos, existindo diferentes teorias que buscam explicar sua ancestralidade (DE VRIES, 1997; KRŔSTKOVÁ et al., 2008). Em um estudo bibliográfico, Lindqvist (1960) apresenta evidências taxonômicas e citogenéticas que apoiam que a alface cultivada se originou possivelmente através da domesticação da planta daninha *L. serriola* ou então *L. serriola* e *L. sativa* descenderam simultaneamente a partir de um mesmo grande pool gênico selvagem. Aponta o sudoeste da Ásia enquanto centro de origem da espécie, aproximadamente ao redor dos rios Tigre e Eufrates, onde foi retratada em pinturas de tumbas egípcias por volta de 2.500 a.C e assim caracterizando-se como uma das mais antigas culturas de vegetais conhecidas (LINDQVIST, 1960). No entanto, em recente estudo, no qual foi sequenciados 445 acessos de *Lactuca* de 47 países, Wei et al. (2021) presumem que o provável centro de origem seja o Cáucaso, estimando o tempo de domesticação em cerca de 4.000 a.C.

A planta de alface comercial, pertencente à família Asteraceae, é caracterizada por ser herbácea, com pequeno caule e folhas que crescem em formato de roseta, podendo ser lisas ou crespas (característica que distingue diferentes tipos de alface) e possuindo um sistema radicular superficial que explora aproximadamente apenas os primeiros 25 cm de profundidade do solo (FILGUEIRA, 2008). A espécie pode ou não formar “cabeça”, sendo de coloração verde ou roxa, conforme as cultivares que, de acordo com Filgueira (2008), são classificadas em seis tipos: repolhuda-crespa (americana), repolhuda-manteiga, solta-lisa, solta-crespa, mimosa e romana.

A espécie lidera o setor de folhosas no Brasil, apresentando uma produção de 671,5 mil toneladas em 108,382 mil estabelecimentos produtores, seguida do repolho, couve, brócolis, couve-flor e coentro, em ordem de importância de produção (KIST; CARVALHO; BELING, 2021). Com o passar das décadas, muitas mudanças ocorreram em função das cultivares preferíveis pelos produtores e consumidores brasileiros, com maior preferência pela alface lisa até a década de 90, posteriormente pelo tipo crespa que atualmente corresponde ao tipo mais cultivado, concomitantemente ao crescimento e aceitação da alface americana pelo mercado consumidor, devido sua crocância e durabilidade pós-colheita (SALA; COSTA, 2012).

A alface americana leva este nome pois é largamente utilizada por redes de *fast food* americanas, apresentando apreciável crocância, textura e sabor. O aumento da sua aceitação na forma *in natura* e pela indústria de processamento mínimo também foi impulsionado por suportar melhor o processamento e apresentar melhor conservação pós-colheita, sendo resistente ao transporte e manuseio (HENZ; SUINAGA, 2009; SALA; COSTA, 2008). As folhas deste tipo de alface são crespas, com nervuras destacadas e bem consistentes que formam uma cabeça compacta, a qual caracteriza a cultivar (FILGUEIRA, 2008).

### **2.3.2 A cultura do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*)**

A cultura do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) pertence à família que abrange o maior número de culturas oleráceas, a família Brassicaceae (antiga Cruciferae). Esta cultura é originária do litoral atlântico da Europa Ocidental e das costas do mar Mediterrâneo e foi originada pela couve-flor silvestre (*B. oleracea* var. *silvestres*), a qual deu origem a mais seis culturas de mesma espécie classificadas por diferentes variedades: couve-flor (*B. oleracea* var. *botrytis*); couve-brócolos (*B. oleracea* var. *itálica*); couve-de-folha (*B. oleracea* var. *acephala*); couve-tronchuda (*B. oleracea* var. *trunchuda*); couve-de-bruxela (*B. oleracea* var. *gemmifera*); e couve-rábano (*B. oleracea* var. *gongylodes*) (FILGUEIRA, 2008).



O repolho diferenciou-se através de modificações no caule e nas folhas. A formação da cabeça, principal parte comercializável para consumo, se dá em função da interrupção do crescimento do meristema terminal, impedindo a expansão das folhas internas (CEAGESP, 2003). Caracteriza-se por ser uma planta bienal e apresentar folhas arredondadas e cerosas com sobreposição das folhas centrais, as quais formam uma “cabeça” compacta. Possui um caule curto e sem ramificação, a plântula apresenta uma raiz principal na qual se desenvolvem raízes adventícias que auxiliam no transplante e o sistema radicular normalmente concentra-se nos primeiros 20-30 cm de profundidade do solo (FILGUEIRA, 2008).

Esta espécie é considerada a hortaliça de maior importância na família das Brassicaceae e de grande relevância social pois utiliza muita mão-de-obra proveniente essencialmente da agricultura familiar (SILVA JÚNIOR, 1988). Possui um ciclo que varia de 90 a 120 dias após a semeadura, sendo colhido quando as “cabeças” se apresentam compactas, com peso comercial entre 0,8 e 1,0 kg. As épocas do ano mais secas são consideradas mais adequadas para o plantio desta hortaliça, visando menor incidência de doenças e pragas, no entanto, é possível ser cultivada durante o ano todo, sendo essencial selecionar a cultivar mais adaptada à época escolhida (NUNES; OLIVEIRA; FAZOLIN, 1994).

Nos primórdios, o repolho desenvolveu-se em temperaturas amenas ou frias, apresentando notável resistência à geada, no entanto, a fim de fornecer indivíduos adaptadas a diversas condições, principalmente ao cultivo sob altas temperaturas e com maior resistência às principais pragas e doenças, programas públicos e privados de melhoramento genético passaram a trabalhar na obtenção de híbridos e cultivares com estas características (GIORDANO; SILVA; CORDEIRO, 1985; SILVA JUNIOR; YOKOYAMA, 1988), possibilitando uma janela maior de plantio e colheita (FILGUEIRA, 2008).

As variedades de repolho são consideradas inferiores aos híbridos, principalmente quando cultivados nos períodos mais quentes devido à uniformidade, durabilidade de cabeça no mercado (sem rachadura), homeostasia e precocidade dos híbridos (EGER, 2018). É importante que a escolha do híbrido seja realizada de forma criteriosa, uma vez que seu desenvolvimento varia em função da época de plantio, das condições edafoclimáticas e do potencial genético de formação de cabeças compactas e tamanho compatível à demanda do mercado (DOMINGUES NETO et al., 2014).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 HISTÓRICO DA ÁREA E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Cerro Largo, RS (28°08'28.1" S 54°45'37.07" W, elevação de 257 m), tendo início em maio de 2020 e sendo continuidade de um projeto de pesquisa iniciado no inverno de 2018. O Clima é subtropical (Cfa) de acordo com a classificação Köppen e o solo é classificado como Latossolo Vermelho (SANTOS et al., 2018) com 583,2 g kg<sup>-1</sup> de argila; 92,7 g kg<sup>-1</sup> de areia e 324,02 g kg<sup>-1</sup> de silte na camada de 0,00-0,30 m de profundidade.

No outono de 2016 a área foi submetida ao preparo convencional, com aração e gradagem, seguido de correção do solo com calcário para elevação do pH a 6,0. Em junho de 2018 foram construídos dez (10) canteiros com dimensões de 20 m de comprimento e um (1) m de largura por meio de uma encanteiradora com enxada rotativa, acompanhado da semeadura de centeio (*Secale cereale*), sucedida por crotalária (*Crotalaria juncea*) no mês de dezembro do mesmo ano. A produção de massa seca da parte aérea de centeio e crotalária foi de 6,1 e 8,4 t ha<sup>-1</sup> respectivamente. Anterior à semeadura de crotalária foi realizada a coleta de solo para a caracterização química da área, conforme tabela 3.

**Tabela 3.** Caracterização química do solo. Município de Cerro Largo, RS, Brasil.

Prof.	pH (H <sub>2</sub> O)	Ca	Mg	K	Al	H+Al	CTC efet.	CTC pH7	V	m	MO	Arg.	P	S	Cu	Zn	B	
cm		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----									----- % -----				----- mg dm <sup>-3</sup> -----			
0-20	6,0	6,3	3,0	0,706	0,0	3,5	10,0	13,5	74,1	0,0	2,5	54,0	7,6	3,4	13,3	3,5	0,5	

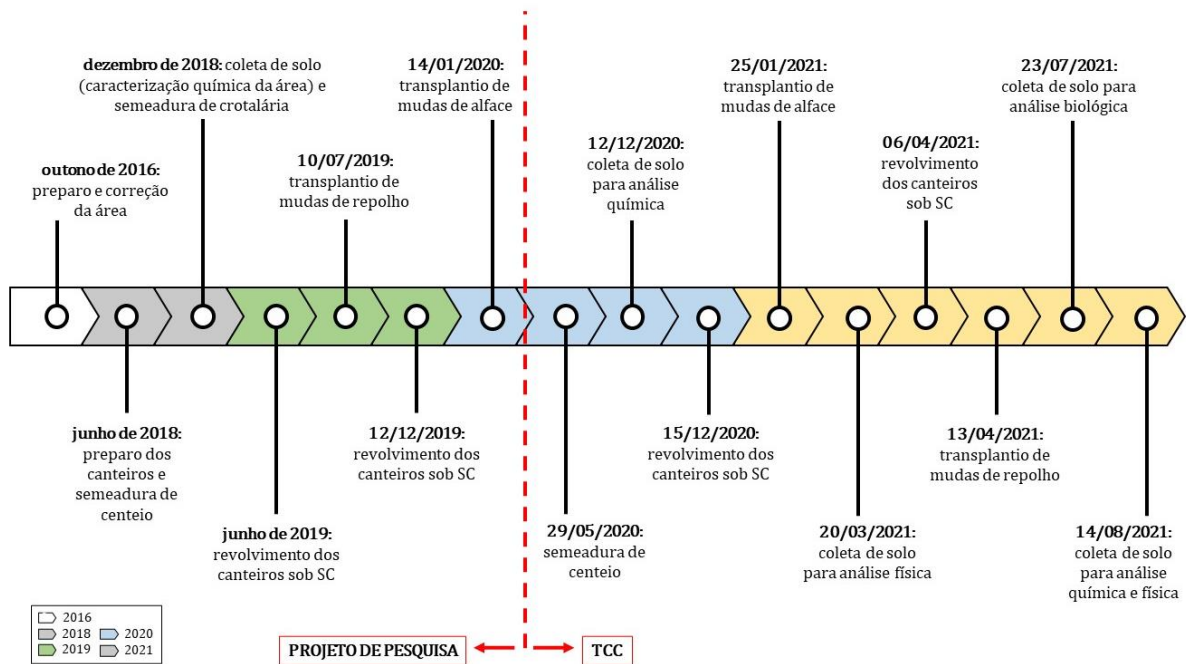
Prof.: profundidade; pH: potencial hidrogeniônico; Ca: cálcio; Mg: magnésio; K: potássio; Al: alumínio; H+Al: hidrogênio mais alumínio (acidez potencial); CTC efet.: capacidade de troca de cátions efetiva; CTC pH7: capacidade de troca de cátions potencial; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; MO: matéria orgânica; Arg.: argila; P: fósforo; S: enxofre; Cu: cobre; Zn: zinco; B: boro.

Ao final do ciclo da crotalária foram implantados quatro sistemas de preparo e manejo do solo, correspondentes aos tratamentos: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH); Plantio Direto sem cobertura vegetal (PDsc); Sistema de Cultivo Convencional com cobertura vegetal (SCc); e Sistema de Cultivo Convencional sem cobertura vegetal (SCsc). Nos tratamentos SPDH e PDsc a biomassa vegetal da crotalária foi cortada rente ao solo e mantida sobre a superfície apenas em SPDH. Nas parcelas sob preparo convencional a biomassa vegetal sobre o solo foi retirada e realizou-se um novo revolvimento com a encanteiradora, posteriormente

depositando-se sobre a superfície das parcelas de SCc a mesma quantidade de resíduo vegetal que em SPDH, enquanto que a superfície do solo de SCsc foi mantida sem cobertura.

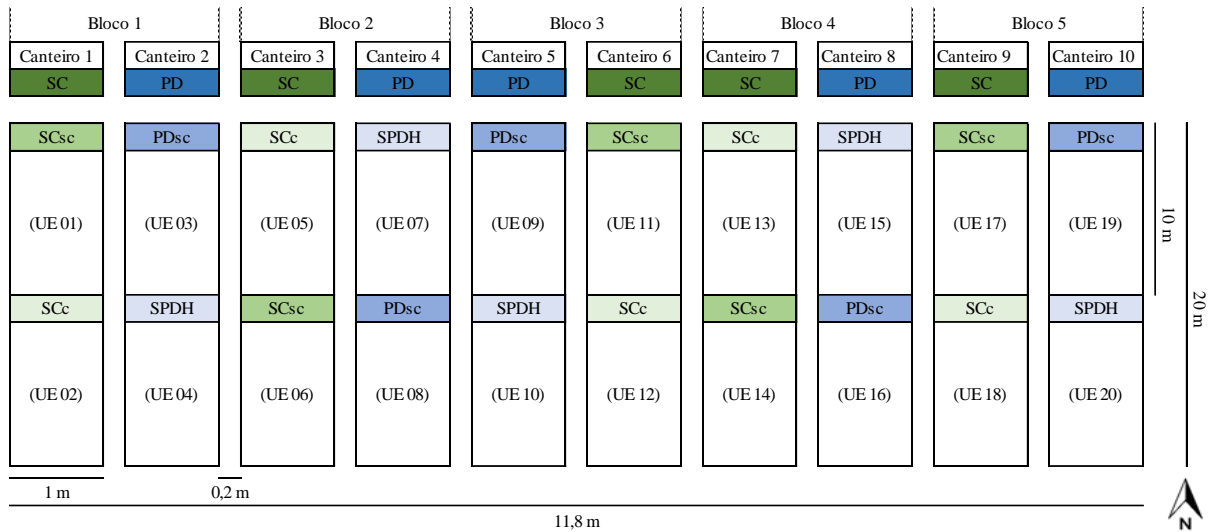
Sequencialmente foi realizado o transplântio de mudas de repolho híbrido (*Brassica oleracea* var. *capitata*) cultivar Musashi e de alface (*Lactuca sativa* L.) cultivar Mauren (tipo americana) em sucessão, em 10 de julho de 2019 e 14 de janeiro de 2020 respectivamente, totalizando 107 dias de cultivo em solo para a cultura do repolho e 59 dias para a cultura da alface. Ao iniciar um novo ciclo, sempre era realizado um novo revolvimento do solo nas parcelas sob SCc e SCsc, retirando-se a palhada sobre o solo em SCc anterior ao revolvimento e depositando-a novamente sobre a superfície após o preparo do solo. Os resultados apresentados pelo presente estudo referem-se ao período posterior ao apresentado até então (figura 3).

**Figura 3.** Linha do tempo de atividades desenvolvidas na área em estudo.



### 3.2 DELINEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi delineado em blocos ao acaso com cinco repetições, totalizando vinte unidades experimentais (figura 4). Em 22 de maio de 2020 realizou-se a semeadura a lanço de centeio. Após 120 dias decorridos, foram coletadas cinco amostras ao acaso de material vegetal cortado rente ao solo com auxílio de um quadrado metálico com dimensão de 0,25 m<sup>2</sup>, seguido da secagem em estufa de ar forçado a 60 °C até atingir peso constante, para determinação da massa seca. A massa seca do centeio totalizou 10,8 t ha<sup>-1</sup>.

**Figura 4.** Croqui do experimento.

SC: Sistema Convencional; PD: Plantio Direto; SCc: Sistema Convencional sem cobertura vegetal do solo; SCc: Sistema Convencional com cobertura vegetal do solo; PDsc: Plantio Direto sem cobertura vegetal do solo; SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (Sistema de Plantio Direto com cobertura vegetal do solo).

Inicialmente foi coletada uma amostra de solo na entrelinha de cada unidade experimental para a realização da análise química da área, na camada de 0,00-0,10 m de profundidade, seguido do revolvimento dos canteiros sob preparo convencional e deposição da biomassa vegetal sobre a superfície dos tratamentos SPDH e SCc, como descrito anteriormente. Após, realizou-se o transplante de mudas de alface do tipo americana, cultivar Mauren, e de mudas de repolho híbrido, cultivar Atlanta, em sucessão, em 21 de janeiro de 2021 e 13 de abril de 2021 respectivamente, totalizando 40 dias de cultivo em solo para a cultura da alface e 100 dias de cultivo para a cultura do repolho.

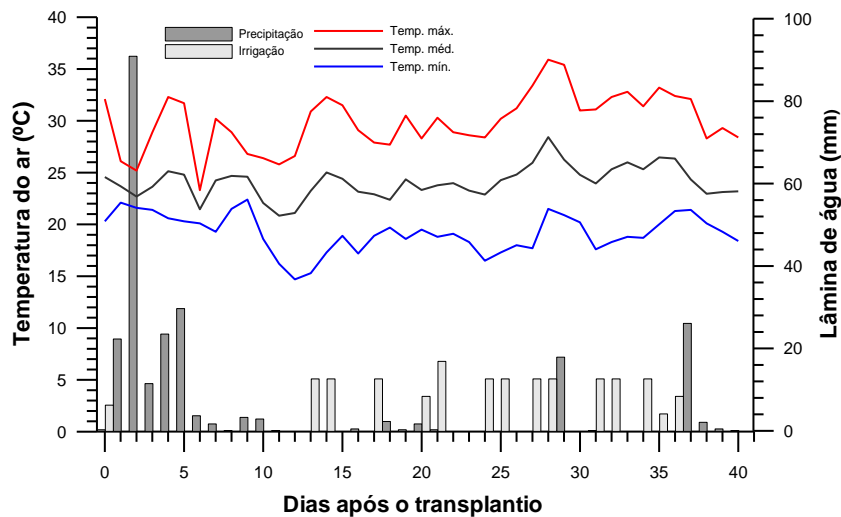
A adubação foi realizada em sistema de fertirrigação por gotejamento, com exceção da primeira adubação de cada cultura (na cova de transplante), utilizando-se de insumos sintéticos e seguindo as recomendações técnicas para as culturas conforme o Manual de Calagem e de Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016). As quantidades de adubos utilizadas foram: 180 kg N ha<sup>-1</sup> e 160 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> para a cultura da alface e 260 kg N ha<sup>-1</sup> e 180 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> para a cultura do repolho. A adubação fosfatada foi realizada na cova de transplante, para ambas as culturas, por meio de superfosfato triplo (SFT), e a adubação nitrogenada foi parcelada conforme as exigências de cada cultura, por meio de ureia.

As mudas das culturas olerícolas foram adquiridas em um viveiro certificado e transplantadas nos canteiros com espaçamento de 0,3 m entre plantas e 0,5 m entre linhas para a cultura da alface e de 0,6 m entre plantas e 0,5 m entre linhas para a cultura do repolho, totalizando populações de plantas de aproximadamente 66.666,66 e 33.333,33 plantas ha<sup>-1</sup> respectivamente.

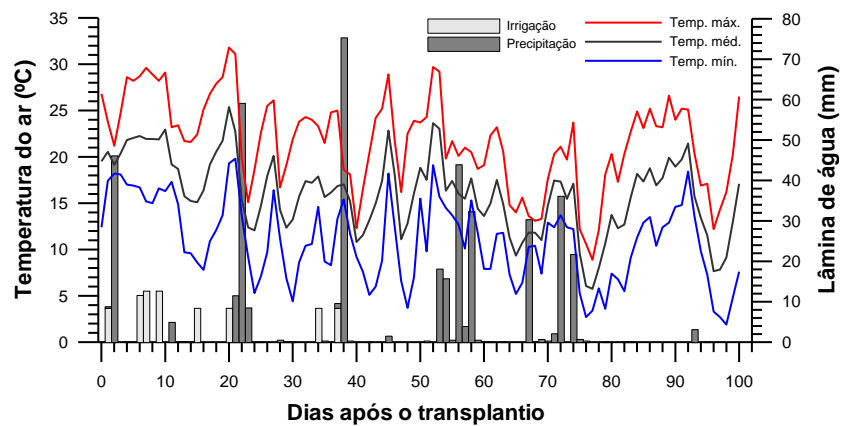
Os tratos culturais ocorreram no intuito de controlar a população de plantas daninhas presentes na área, além do controle de pragas e doenças. O controle de plantas daninhas ocorreu através do arranquio manual semanal, de maneira a não danificar a estrutura edáfica e não atingir o nível de dano econômico das culturas. O controle de pragas e doenças foi realizado por meio da aplicação terrestre dos produtos fitossanitários biológicos Tracer®, Boveril WP PL63® e Thuricide®, com o auxílio de um pulverizador costal. Para o primeiro cultivo, que ocorreu no verão, utilizou-se uma cobertura de sombrite sobre os canteiros no intuito de minimizar o efeito da incidência solar direta sobre as plantas.

Durante o ciclo das culturas foi realizada a irrigação das parcelas por meio de um sistema de irrigação por gotejamento quando a umidade do solo apresentava valores abaixo de  $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (80% da sua capacidade de campo), que foi monitorada através das medições com o aparelho MiniTrase TDR (*Time Domain Reflectometry*). As condições de temperatura (máxima, média e mínima) e precipitação foram monitoradas durante todo o ciclo da alface (figura 5) e do repolho (figura 6) através da Estação Meteorológica Automática instalada na Área Experimental, localizada a 230 m do experimento.

**Figura 5.** Temperatura máxima, média e mínima, precipitação e irrigação monitoradas ao longo do ciclo da cultura da alface.



**Figura 6.** Temperatura máxima, média e mínima, precipitação e irrigação monitoradas ao longo do ciclo da cultura do repolho.



### 3.3 PARÂMETROS DE ANÁLISE

#### 3.3.1 Parâmetros de solo

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo que foram analisados ao longo do experimento estão descritos conforme tabela 4:

**Tabela 4.** Relação de parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo analisados e momento de amostragem do solo para análise.

Tipo	Parâmetro	Unidade	Momento de amostragem
Físico	Densidade	Mg m <sup>-3</sup>	Pós-colheita das culturas agrícolas (2 coletas)
	Porosidade Total	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
	Microporosidade	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
	Macroporosidade	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
	Grau de compactação	%	
	Umidade volumétrica	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
	Porosidade de aeração	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
Químico	Acidez ativa e potencial	-	Pré-implantação da 1ª cultura e pós-colheita da 2ª cultura (2 coletas)
	Matéria orgânica do solo	%	
	CTC <sub>efetiva</sub> e CTC <sub>potencial</sub>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
	P, Zn, Cu, S e B	mg dm <sup>-3</sup>	
	K, Al, Ca e Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
	Saturação de bases (V%) e de alumínio (m%)	%	
Biológico	Enzima β-glicosidase	μg de p-nitrofenol kg solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	Na colheita da 2ª cultura (1 coleta)
	Enzima arilsulfatase	μg de p-nitrofenol kg solo <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	

CTC: capacidade de troca de cátions; P: fósforo; K: potássio; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Cu: cobre; S: enxofre; B: boro.

### 3.3.1.1 Parâmetros físicos

Os parâmetros físicos de solo que foram avaliados envolveram a determinação da densidade (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac) e o grau de compactação (GC) após o findar de cada ciclo; o monitoramento da umidade volumétrica do solo (UV) ao longo de todo o ciclo das culturas e a porosidade de aeração (PA) estimada. Ao longo do experimento foi monitorada a umidade do solo nos primeiros 0,2 m de profundidade do solo com aparelho MiniTrase TDR, que consiste em determinar o valor da constante dielétrica do meio através de hastes metálicas paralelas instaladas verticalmente no solo. As medidas de umidade foram realizadas com frequência de três vezes por semana.

Após o término do ciclo de ambas as culturas, nos dias 23 de março de 2021 e 14 de agosto de 2021 (figura 3), foi determinada a Ds e a distribuição de poros do solo nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10, e 0,10-0,20 m de profundidade por meio da coleta de amostras com estrutura preservada com anéis de aço inox, totalizando duas (2) coletas para análise física durante o período de estudo. Em laboratório as amostras foram preparadas e saturadas para determinar a quantidade de PT, Mic e Mac, conforme metodologia descrita por Reinert e Reichert (2006) e a Ds conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

O GC foi calculado dividindo-se a densidade de cada camada pela densidade máxima que este solo pode atingir. O valor utilizado para a densidade máxima foi de  $1,53 \text{ Mg m}^{-3}$ , determinado através de ensaio de compressão uniaxial em estudos anteriores realizado em mesma área (dados não publicados). As coletas de solo e as análises laboratoriais foram realizadas de acordo com a metodologia padrão (TEIXEIRA et al., 2017).

Através dos dados de porosidade total e umidade volumétrica do solo monitorada no decorrer de todo o ciclo das culturas, foi determinada a porosidade de aeração do solo (PA). A PA foi obtida subtraindo da porosidade total a umidade volumétrica encontrada nos primeiros 0,2 m de profundidade do solo para cada parcela, conforme equação (LIBARDI, 2005):

$$PA = PT - UV$$

onde PA é a porosidade de aeração do solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), PT é a porosidade total ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) média do tratamento na camada de 0,00-0,20 m e UV é a umidade volumétrica ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) aferida na camada de 0,00-0,20 m em cada parcela.

### 3.3.1.2 Parâmetros químicos

As coletas de solo para análise de parâmetros químicos foram realizadas anterior à implantação da cultura da alface, no dia 12 de dezembro de 2020, e ao final do ciclo da cultura do repolho, no dia 14 de agosto de 2021. As análises foram realizadas em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *campus* Santa Maria-RS, junto ao Laboratório de Análises de Solo (LAS - Rotina). Para isto, foi amostrado um ponto de coleta ao acaso na entrelinha de cada unidade experimental, com o auxílio de uma pá de corte na camada de 0,00-0,10 m de profundidade do solo.

Os parâmetros avaliados foram: acidez ativa ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) e potencial ( $\text{H}^+\text{Al}$ ), índice SMP, matéria orgânica (MO), teores de alumínio (Al), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), cobre (Cu), enxofre (S), e boro (B), CTC efetiva, CTC potencial e índices V% (saturação de bases) e m% (saturação por alumínio) conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

### 3.3.1.3 Parâmetros biológicos

Ao final do ciclo da cultura do repolho, no dia 23 de julho de 2021, concomitantemente à colheita da cultura para análise de parâmetros culturais, foram coletadas amostras para a avaliação de parâmetros biológicos. As análises biológicas de solo foram realizadas em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *campus* Santa Maria-RS, junto ao Laboratório de Biologia do Solo (BioSolo).

Foram amostrados cinco (5) pontos de coleta em cada unidade experimental, os quais foram homogeneizados resultando em uma amostra final por parcela. As amostras foram retiradas com auxílio de uma espátula de aço a uma distância de 5-10 cm de distância da base do caule das plantas e 10 cm de profundidade do solo, posteriormente sendo peneiradas em malha de 2 mm, retirando-se fragmentos de animais e vegetais por meio de catação, e armazenadas em *freezer* a  $-16\text{ }^\circ\text{C}$  até o momento de realização das análises. Os pontos de coleta foram amostrados de forma casualizada, desconsiderando a bordadura de cada parcela.

Os parâmetros analisados foram as atividades enzimáticas das enzimas  $\beta$ -glicosidase e arilsulfatase conforme metodologia padrão (TABATABAI, 1994; DICK, 2011).



### 3.3.2 Parâmetros culturais

As avaliações referentes à cultura da alface foram realizadas quando as plantas atingiram o ponto de colheita, caracterizado pela presença de cabeças firmes, com boa formação, folhas tenras e sem sinal de florescimento, observado aos 40 dias após o transplântio das mudas, no dia 06 de março de 2021. Os parâmetros de análise foram a massa fresca da parte aérea (MFPA), a massa seca da parte aérea (MSPA) e o número de folhas por planta (NF). Foram coletadas seis (6) plantas ao acaso por unidade experimental, desconsiderando as primeiras e as últimas seis (6) plantas da extremidade de cada unidade, as quais foram consideradas enquanto bordadura. As plantas foram cortadas rente ao solo e conduzidas ao laboratório de Física e Pedologia dos Solos para processamento, seguido da secagem em estufa de ar forçado a 60 °C até atingirem peso constante para a determinação da massa seca.

As avaliações referentes à cultura do repolho foram realizadas quando as plantas atingiram o ponto de colheita, caracterizado pela presença de mais de 80% das plantas com a cabeça compacta e apresentando início de desprendimento da borda da folha externa da cabeça, observado aos 100 dias após o transplântio das mudas, no dia 22 de julho de 2021. Os parâmetros de análise foram a massa fresca da parte aérea (MFPA), a massa seca da parte aérea (MSPA), a massa fresca de cabeça (MFC), o número de folhas externas à cabeça (NF) e os diâmetros longitudinal e transversal de cabeça (DL e DT respectivamente). Os demais procedimentos se assemelham aos descritos para a cultura da alface.

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à avaliação de distribuição normal e análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância por meio do programa *Statistical Analysis System* (SAS, 1999). Os parâmetros culturais e os parâmetros biológicos do solo foram analisados enquanto parâmetros unifatoriais. Para os parâmetros químicos e físicos do solo foi analisada a interação entre fatores (momento de amostragem x manejo do solo) e quando os fatores não apresentaram interação, estes foram analisados isoladamente. Os dados obtidos para os parâmetros de teor de alumínio e saturação por alumínio (m%) do solo foram transformados através da equação:  $(X+1)^{0.5}$ .

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PARÂMETROS FÍSICOS DO SOLO

Os parâmetros físicos de Ds, PT, Mic, Mac e GC do solo foram afetados pelos tipos de manejo (tabela 5). Na camada superficial (0,00-0,05 m de profundidade) todos os parâmetros citados apresentaram interação significativa entre fatores (momento de coleta x tipo de manejo). Na camada de 0,05-0,10 m, os parâmetros Ds, PT e GC apresentaram interação significativa entre os fatores. Mic não apresentou significância tanto para a interação quanto para a análise de fatores isolados e Mac apresentou significância entre tipos de manejo. Na camada 0,10-0,20 m nenhum parâmetro apresentou interação entre fatores. Com exceção da Mic que apresentou o mesmo comportamento observado na camada 0,05-0,10 m, os demais parâmetros apresentaram significância apenas para o fator manejo.

**Tabela 5.** Significância dos parâmetros físicos do solo resultante da análise de variância (ANOVA).

Parâmetros	Significância			CV (%)
	Coletas (c)	Manejos (m)	Interação (c x m)	
Camada 0,00-0,05				
Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	-	-	**	5,58
PT (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	-	-	**	2,76
Mic (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	-	-	*	10,95
Mac (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	-	-	**	9,15
GC (%)	-	-	**	5,58
Camada 0,05-0,10				
Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	-	-	*	8,22
PT (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	-	-	*	4,13
Mic (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	ns	ns	ns	9,79
Mac (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	ns	*	ns	14,44
GC (%)	-	-	*	8,22
Camada 0,10-0,20				
Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	ns	*	ns	8,45
PT (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	ns	*	ns	5,76
Mic (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	ns	ns	ns	7,64
Mac (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	ns	*	ns	24,25
GC (%)	ns	*	ns	8,45

Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Mic: microporosidade; Mac: macroporosidade; GC: grau de compactação; CV%: coeficiente de variação. Diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey, em que: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; ns = não significativo.

Os valores médios de Ds (tabela 6) variaram de 0,85 a 1,07 Mg m<sup>-3</sup> na camada superficial (0,00-0,05 m), de 0,86 a 1,04 Mg m<sup>-3</sup> na camada de 0,05-0,10 m e de 1,04 a 1,22 Mg m<sup>-3</sup>

na camada subsuperficial (0,10-0,20 m). Desta forma, em todas as camadas e todos os tratamentos analisados observou-se valores abaixo de 1,4-1,6 Mg m<sup>-3</sup>, sendo assim, a Ds não se apresentou enquanto um impedimento ao crescimento do sistema radicular das hortaliças, conforme proposto por Reichert et al. (2003) para culturas cultivadas em solos argilosos.

A Ds apresentou interação significativa entre os momentos de coleta e os tipos de manejo nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m de profundidade (tabela 5). Na camada superficial (0,00-0,05 m) na coleta 1, o tratamento PDsc apresentou valor significativamente superior aos demais tratamentos, enquanto que SCc apresentou o menor valor, que não diferiu de SCsc. Em relação às coletas, os tratamentos SCc e SPDH não apresentaram diferença significativas, enquanto que a Ds aumentou no manejo SCsc e diminuiu em PDsc quando comparada a coleta 2 em relação à coleta 1. Na coleta 2 não foi observada diferença entre tipos de manejo (tabela 6).

Na camada 0,05-0,10 m, os tratamentos PDsc e SPDH apresentam valores de Ds superiores aos demais tratamentos na coleta 1. Quando comparada a diferença entre coletas, observou-se diferença apenas para o tratamento SPDH que apresentou valor inferior para a coleta 2. Na coleta 2 não foi observada diferença entre tipos de manejo. Já na camada 0,10-0,20 m a diferença entre coletas não foi significativa, havendo apenas diferença entre as médias dos tratamentos, em que PDsc apresentou valor superior, SCc valor inferior e os tratamentos SCsc e SPDH apresentam comportamento intermediário, não diferindo significativamente dos demais tratamentos (tabela 6).

O GC apresentou o mesmo comportamento que a Ds entre tipos de manejo e momentos de coleta em todas as camadas avaliadas (tabela 6). Os valores médios de GC variaram entre 55,65 a 80,35%. Geralmente considera-se ideal valores de GC entre 80 e 90%, classificando o solo como compactado quando acima de 90% (baixa aeração e PT e elevada Ds, dificultando o desenvolvimento radicular) e muito solto quando abaixo de 80% (comprometendo a retenção de água e o contato das mudas com o solo no transplântio) (KLEIN, 2014; SUZUKI et al., 2007).

**Tabela 6.** Densidade e grau de compactação do solo sob diferentes tipos de manejo de solo pós-colheita de alface (coleta 1) e repolho (coleta 2) em sucessão, em Latossolo Vermelho no município de Cerro Largo, RS, Brasil.

	SCc	SCsc	SPDH	PDsc	Média	CV%
<b>Densidade do Solo (Mg m<sup>-3</sup>)</b>						
Camada 0,00-0,05 m						
Coleta 1	0,85 cA	0,85 bcB	0,94 bA	1,07 aA	0,93	
Coleta 2	0,88 aA	0,94 aA	0,94 aA	0,94 aB	0,93	5,58
Média	0,86	0,90	0,94	1,00		
Camada 0,05-0,10 m						
Coleta 1	0,86 bA	0,88 bA	1,04 aA	1,02 aA	0,95	
Coleta 2	0,90 aA	0,90 aA	0,89 aB	1,00 aA	0,92	8,22
Média	0,88	0,89	0,97	1,01		
Camada 0,10-0,20 m						
Coleta 1	1,04	1,16	1,10	1,22	1,13 <sup>ns</sup>	
Coleta 2	1,11	1,12	1,13	1,19	1,14	8,45
Média	1,07 b	1,14 ab	1,12 ab	1,21 a		
<b>Grau de Compactação (%)</b>						
Camada 0,00-0,05 m						
Coleta 1	55,65 cA	56,10 bcB	61,80 bA	70,25 aA	60,95	
Coleta 2	58,15 aA	62,00 aA	62,05 aA	61,96 aB	61,04	5,58
Média	56,90	59,05	61,93	66,10		
Camada 0,05-0,10 m						
Coleta 1	56,62 bA	57,57 bA	68,69 aA	67,42 aA	62,58	
Coleta 2	59,27 aA	59,10 aA	58,66 aB	65,73 aA	60,69	8,22
Média	57,95	58,33	63,68	66,57		
Camada 0,10-0,20 m						
Coleta 1	68,54	76,25	72,69	80,35	74,46 <sup>ns</sup>	
Coleta 2	72,78	73,96	74,58	78,53	74,96	8,45
Média	70,66 b	75,10 ab	73,64 ab	79,44 a		

SCsc: sistema convencional sem cobertura vegetal; SCc: sistema convencional com cobertura vegetal; SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças; PDsc: plantio direto sem cobertura vegetal; CV%: coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) (ns = não significativo).

A PT apresentou interação significativa entre os momentos de coletas e os tipos de manejo nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m de profundidade (tabela 7). Na camada superficial do solo (0-0,05 m), na coleta 1 foi observado valor superior para SCc que não diferiu de SCsc, que não diferiu de SPDH. PDsc apresentou o menor valor, que diferiu significativamente dos demais tratamentos. Quando observada diferença entre momentos de coleta, SCsc apresentou diminuição no valor de PT para a coleta 2 e PDsc apresentou valor mais elevado. Na coleta 2 não foi observada diferença entre tipos de manejo.

Na camada 0,05-0,10 m, na coleta 1 os tratamentos SCc e SCsc apresentaram valores superiores de PT em relação a SPDH e PDsc. A presença de diferença entre coletas apenas foi

observada em SPDH que apresentou aumento da PT na coleta 2. Na coleta 2 não foi observada diferença entre tipos de manejo. Na camada 0,10-0,20 a diferença entre coletas não foi significativa, havendo apenas diferença entre as médias dos tratamentos, em que SCc foi significativamente superior a PDsc, no entanto, SCsc e SPDH não diferiram tanto de SCc quanto de PDsc.

A Mic apresentou interação significativa entre os momentos de coletas e os tipos de manejo apenas na camada de 0,00-0,05 m de profundidade (tabela 7). Nesta camada, na coleta 1, SCc foi significativamente superior a PDsc, no entanto, SCsc e SPDH não diferiram tanto de SCc quanto de PDsc. Os dados demonstraram que, para este parâmetro, os valores obtidos foram significativamente iguais entre momentos de coleta para todos os tratamentos. Na coleta 2 não foi observada diferença entre tipos de manejo.

A Mac apresentou interação significativa entre os momentos de coleta e os tipos de manejo apenas na camada de 0,00-0,05 m de profundidade (tabela 7). Nesta camada, na coleta 1, SCc apresentou valor significativamente maior que SPDH e PDsc, enquanto PDsc apresentou o menor valor que diferiu de todos os demais tratamentos e os tratamentos SCsc e SPDH não diferiram entre si. Quando observada a diferença entre coletas, SCsc apresentou diminuição da Mac na coleta 2 e PDsc apresentou valor mais elevado. SCc e SPDH não diferiram entre coletas. Na coleta 2 não foi observada diferença entre tipos de manejo.

Nas camadas subsequentes a diferença entre as médias das coletas não foi significativa, havendo apenas diferença entre as médias dos tratamentos. Na camada 0,05-0,10, SCsc apresentou média superior a PDsc, porém SCc e SPDH não diferiram dos demais tratamentos. Na camada 0,10-0,20, SCc apresentou média superior a PDsc e os demais tratamentos (SCsc e SPDH) não diferiram entre si e dos demais (tabela 7).

Através dos dados obtidos, percebe-se que a palhada sobre o solo no tratamento SPDH possibilitou que o solo manejado sob plantio direto com cobertura vegetal apresentasse condições físicas semelhantes ao solo manejado sob sistema convencional em diversos parâmetros analisados. Este comportamento também foi observado por Dão (1996) em solos manejados com diferentes quantidades de resíduos de trigo na superfície do solo. Em solo manejado sob SC, observou-se que a remoção dos resíduos vegetais da superfície acarretou em aumento da Ds na camada de 0,05-0,125 m de profundidade e que a manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície contribuiu para o aumento da Mac. Já em solo manejado sob SPD, a remoção dos resíduos vegetais da superfície do solo levou ao aumento da Ds na camada superficial (0,00-0,05) (DÃO, 1996).

No entanto, em estudo semelhante, Gupta et al. (1987) não observou diferenças significativas para o parâmetro Ds sob diferentes quantidades de resíduo de milho na superfície do

solo, mas constatou que os resíduos vegetais na superfície contribuem para a diluição de cargas aplicadas sobre o solo. Ainda, em um estudo de avaliação da qualidade física de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado sob SPD e SC com plantas de sucessão, Sales et al. (2016) observaram maior Ds, resistência do solo à penetração e menor PT e Mac em SPD na camada de 0,00-0,05 m, não havendo diferenças entre tratamentos na camada 0,05-0,10 m. No entanto, constataram que o SPD apresentou agregação semelhante à mata nativa e maior teor de carbono orgânico devido à cobertura vegetal, apresentando assim os melhores indicadores físicos (SALES et al., 2016).

Em Cambissolo Húmico, após 20 anos de condução de SPD e SC, Brown et al. (2018) observaram melhora na qualidade física do solo com redução da Ds e aumento da PT e estabilidade de agregados em SPD, porém menor Mac na superfície do solo. Além, observaram menor rendimento de grãos de soja e milho em SC (BROWN et al., 2018). Em estudo semelhante conduzido em Latossolo Vermelho a mais de 10 anos, Cherubin et al. (2015) não observaram diferenças significativas entre manejos de SPD, escarificação e cultivo mínimo para os parâmetros Ds e distribuição de poros do solo na camada de 0,00-0,20 m. Além, somado a resistência do solo à penetração, constataram que estas propriedades são potenciais indicadores de qualidade do solo, devido às alterações destes parâmetros quando comparados à mata nativa (CHERUBIN et al., 2015).

**Tabela 7.** Distribuição de poros do solo sob diferentes tipos de manejo de solo pós-colheita de alface (coleta 1) e repolho (coleta 2) em sucessão, em Latossolo Vermelho no município de Cerro Largo, RS, Brasil.

	SCc	SCsc	SPDH	PDsc	Média	CV%
<b>Porosidade Total (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>						
Camada 0,00-0,05 m						
Coleta 1	0,70 aA	0,70 abA	0,66 bA	0,62 cB	0,67	
Coleta 2	0,68 aA	0,66 aB	0,66 aA	0,66 aA	0,67	2,76
Média	0,69	0,68	0,66	0,64		
Camada 0,05-0,10 m						
Coleta 1	0,69 aA	0,69 aA	0,63 bB	0,63 bA	0,66	
Coleta 2	0,68 aA	0,68 aA	0,68 aA	0,64 aA	0,67	4,13
Média	0,69	0,68	0,65	0,64		
Camada 0,10-0,20 m						
Coleta 1	0,63	0,59	0,61	0,56	0,60 <sup>ns</sup>	
Coleta 2	0,60	0,60	0,60	0,57	0,59	5,76
Média	0,62 a	0,59 ab	0,60 ab	0,57 b		
<b>Microporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>						
Camada 0,00-0,05 m						
Coleta 1	0,27 bA	0,27 abA	0,29 abA	0,32 aA	0,29	
Coleta 2	0,28 aA	0,30 aA	0,26 aA	0,30 aA	0,28	10,95
Média	0,28	0,29	0,28	0,31		
Camada 0,05-0,10 m						
Coleta 1	0,30	0,28	0,32	0,31	0,30 <sup>ns</sup>	
Coleta 2	0,28	0,28	0,28	0,31	0,29	9,79
Média	0,29	0,28	0,30	0,31 <sup>ns</sup>		
Camada 0,10-0,20 m						
Coleta 1	0,32	0,37	0,34	0,37	0,35 <sup>ns</sup>	
Coleta 2	0,35	0,35	0,36	0,37	0,36	7,64
Média	0,34	0,36	0,35	0,37 <sup>ns</sup>		
<b>Macroporosidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>						
Camada 0,00-0,05 m						
Coleta 1	0,43 aA	0,43 abA	0,37 bA	0,30 cB	0,38	
Coleta 2	0,40 aA	0,36 aB	0,41 aA	0,37 aA	0,38	9,15
Média	0,42	0,39	0,39	0,33		
Camada 0,05-0,10 m						
Coleta 1	0,39	0,40	0,31	0,33	0,36 <sup>ns</sup>	
Coleta 2	0,39	0,40	0,40	0,34	0,38	14,44
Média	0,39 ab	0,40 a	0,35 ab	0,33 b		
Camada 0,10-0,20 m						
Coleta 1	0,31	0,22	0,26	0,20	0,25 <sup>ns</sup>	
Coleta 2	0,25	0,25	0,24	0,21	0,24	24,25
Média	0,28 a	0,23 ab	0,25 ab	0,20 b		

SCsc: sistema convencional sem cobertura vegetal; SCc: sistema convencional com cobertura vegetal; SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças; PDsc: plantio direto sem cobertura vegetal; CV%: coeficiente de variação. Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) (ns = não significativo).

Com relação à UV ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), foram observados valores que permaneceram próximos à capacidade de campo ( $\text{CC} = 0,35 \text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e acima do ponto de murcha permanente ( $\text{PMP} = 0,18 \text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) no decorrer de todo o ciclo das culturas, havendo água disponível ao desenvolvimento das plantas, tanto para o ciclo da cultura da alface quanto para o ciclo da cultura do repolho (figura 7; 8).

A UV do solo monitorada ao longo do ciclo da cultura da alface foi afetada pelos tipos de manejo de solo nos 28, 30, 32, 35, 38 e 40 dias após o transplântio das mudas (DAT). Em 28 DAT, PDsc e SPDH apresentaram valores significativamente maior que SCc e SCsc. Em 30 DAT, PDsc foi superior a SCsc, enquanto SPDH e SCc apresentaram valores intermediários, que não diferiram dos demais. O mesmo comportamento observado em 30 DAT se repetiu em 35 e 40 DAT. Em 32 DAT, PDsc foi superior a SCc e SCsc, enquanto SPDH e SCc não diferiam entre si, bem como SCc e SCsc. Em 38 DAT, PDsc foi superior a SCc e SCsc, ao passo que SPDH não diferiu nem do maior valor observado em PDsc, nem dos menores valores observados em SCc e SCsc (figura 7).

As diferenças entre as curvas de UV são facilmente perceptíveis entre tipos de manejo, constatando-se maior drenagem de água no perfil do solo nos tratamentos de maior mobilização (SCc e SCsc), bem como maior retenção de água na camada avaliada (0,00-0,20 m de profundidade) nos tratamentos de menor mobilização (SPDH e PDsc). Este comportamento também foi observado por Fincatto et al. (2013) ao avaliar a UV do solo no cultivo de milho manejado sob SPD e cultivo mínimo.

Diferente do observado ao longo do ciclo da cultura da alface, a UV do solo monitorada ao longo do ciclo da cultura do repolho não foi afetada pelos tipos de manejo de solo em nenhum dos dias avaliados (figura 8). Sendo assim, observa-se que a UV do solo foi afetada pelo preparo do solo no período mais quente (ciclo da cultura da alface), quando há maior retenção de água na camada superficial sob plantio direto devido a menor mobilização da estrutura edáfica e maior drenagem sob preparo convencional.

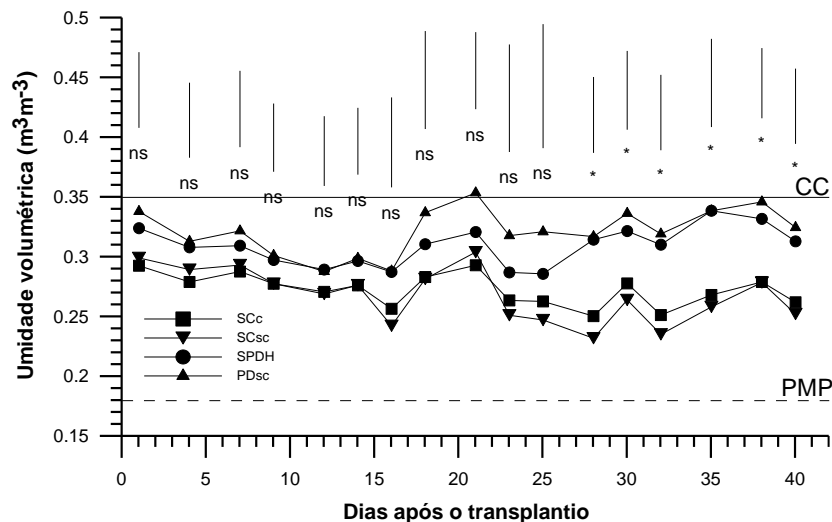
Esse comportamento pode ser explicado pela variação que os tratamentos apresentam na distribuição do tamanho de poros do solo, uma vez que uma maior quantidade de macroporos está relacionada a uma drenagem mais rápida no perfil e a retenção de água no solo está relacionada a uma maior quantidade de microporos. Ou seja, em períodos mais quentes é observada uma diferença mais evidente entre tratamentos, uma vez que, após uma chuva há menor retenção volumétrica de água em tratamentos com maior Mac e menor Mic, observando que esta diferença permanece após a redução do teor de água no solo (VEIGA et al., 2010).



É importante salientar que, ao longo do ciclo da cultura do repolho a palhada presente sobre o solo nos tratamentos SPDH e SCc se encontrava em maior grau de decomposição, aumentando a homogeneidade entre os tratamentos, como também constatado por Vicente et al. (2020) e Pawlowski et al. (2020b). Este efeito também foi constatado por Montenegro et al. (2013), ao investigar em laboratório o efeito de diferentes coberturas mortas sobre o solo e sua influência na umidade do solo, dentre outros parâmetros. A partir deste estudo foi possível constatar que maiores quantidade de cobertura resultaram em aumento significativo na umidade do solo (MONTENEGRO et al., 2013).

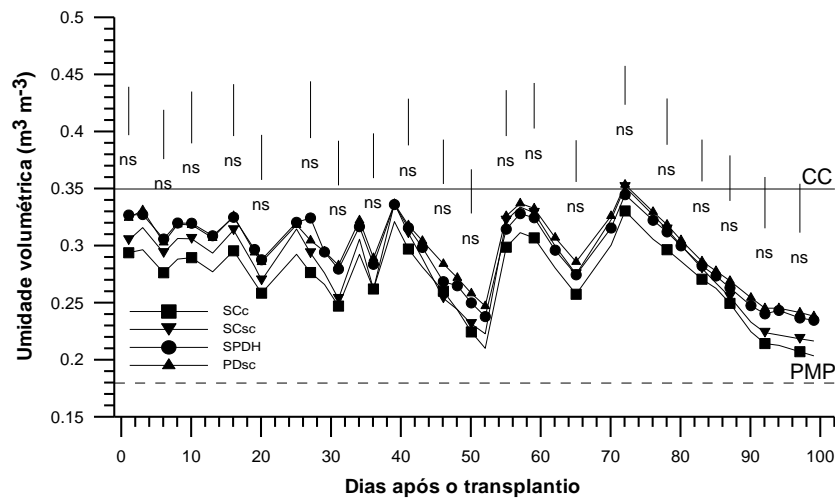
Além, a lâmina de água, composta pela precipitação pluvial e irrigação, foi de 416,09 mm durante o cultivo da alface e de 506,18 mm durante o cultivo do repolho, fato que também contribuiu para a equalização dos tratamentos. Este fator também foi observado por Hirata & Hirata (2015).

**Figura 7.** Umidade volumétrica do solo monitorada no decorrer do ciclo da cultura da alface na camada de 0,00-0,20 m de profundidade em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil.



SCsc: sistema convencional sem cobertura vegetal; SCc: sistema convencional com cobertura vegetal; SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças; PDsc: plantio direto sem cobertura vegetal. CC: capacidade de campo. PMP: ponto de murcha permanente. Barra verticais representam a DMS (Tukey  $p < 0,05$ ) (ns: não significativo; \*: significativo).

**Figura 8.** Umidade volumétrica do solo monitorada no decorrer do ciclo da cultura do repolho na camada de 0,00-0,20 m de profundidade em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil.



SCsc: sistema convencional sem cobertura vegetal; SCc: sistema convencional com cobertura vegetal; SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças; PDsc: plantio direto sem cobertura vegetal. CC: capacidade de campo. PMP: ponto de murcha permanente. Barra verticais representam a DMS (Tukey  $p < 0,05$ ) (ns: não significativo).

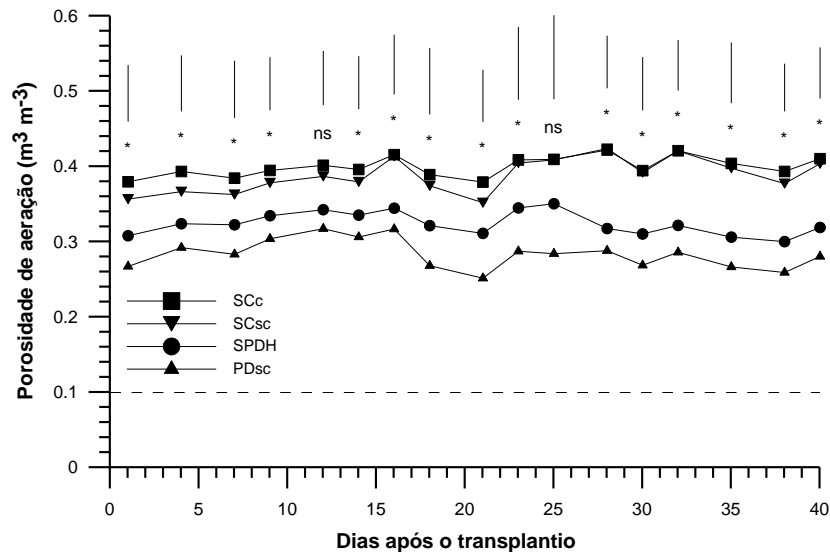
Ao longo do ciclo da cultura da alface, a PA do solo foi afetada pelos tipos de manejo (figura 9). Com exceção dos 12 e 25 DAT, observou-se diferença significativa entre os tratamentos em todos os dias analisados. Desde o início do ciclo da cultura até 23 DAT os tratamentos SCc, SCsc e SPDH apresentaram os maiores valores de porosidade de aeração do solo, em que SCc e SCsc diferiram significativamente de PDsc e SPDH apresentou comportamento intermediário. A partir de 28 DAT até o último dia do ciclo da cultura, SCc e SCsc apresentaram valores significativamente maiores que SPDH e PDsc. Já para o ciclo do repolho, não foi observada diferença de PA entre os tipos de manejo do solo em nenhum dos dias avaliados (figura 10).

A PA é obtida pela subtração da porosidade total o volume de poros cheios de água (LIBARDI, 2005). Sendo assim, em função de uma maior ou menor PT encontrada em cada tratamento, a dinâmica da água é alterada, refletindo na PA. Apesar das diferenças observadas entre os tratamentos no decorrer do ciclo da alface, ao longo do ciclo de ambas as culturas avaliadas a PA do solo apresentou valores acima de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , indicando que não houve restrições ao processo de aeração da rizosfera e de desenvolvimento do sistema radicular das plantas (ERICKSON, 1982; TORMENA, 1991; COCKROOFT; OLSSON, 1997).

Diferentemente do comportamento observado no presente estudo, após seis anos de SPD Klein et al. (2008) constataram valores abaixo de  $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  em solo cultivado com trigo sob plantio direto e valores favoráveis ao desenvolvimento da cultura sob plantio direto escarificado. Em outro estudo comparativo entre SPD e SC, Silva et al. (2004) observaram que os

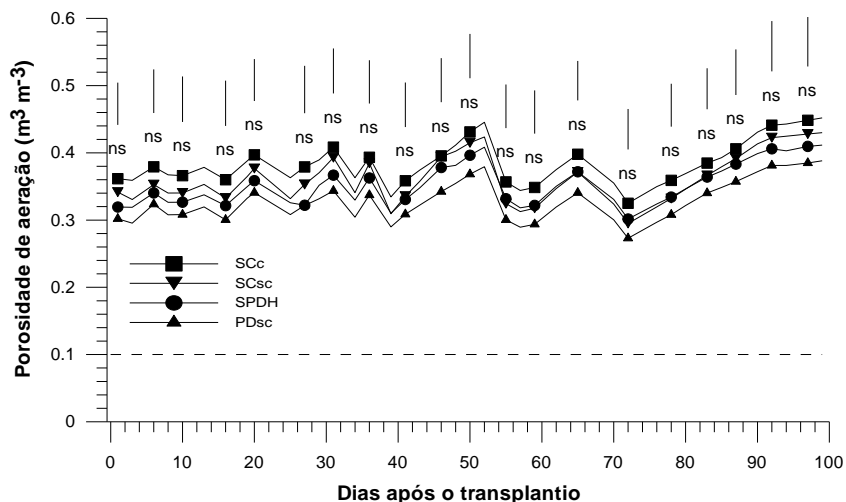
sistemas de preparo do solo modificam as condições físicas do solo e o crescimento de plantas de milho ao constatar que, sob SPD as plantas de milho apresentaram maior crescimento mesmo sob maiores valores de resistência mecânica do solo e menores valores de porosidade de aeração.

**Figura 9.** Porosidade de aeração do solo no decorrer do ciclo da cultura da alface na camada de 0,00-0,20 m de profundidade em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil.



SCsc: sistema convencional sem cobertura vegetal; SCc: sistema convencional com cobertura vegetal; SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças; PDsc: plantio direto sem cobertura vegetal. Barra verticais representam a DMS (Tukey  $p < 0,05$ ) (ns: não significativo; \*: significativo).

**Figura 10.** Porosidade de aeração do solo no decorrer do ciclo da cultura do repolho na camada de 0,00-0,20 m de profundidade em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil.



SCsc: sistema convencional sem cobertura vegetal; SCc: sistema convencional com cobertura vegetal; SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças; PDsc: plantio direto sem cobertura vegetal. Barra verticais representam a DMS (Tukey  $p < 0,05$ ) (ns: não significativo; \*: significativo).

## 4.2 PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO

Os parâmetros químicos do solo não apresentaram interação significativa entre fatores (momentos de coleta x tipo de manejo) (tabela 8). Quando analisados isoladamente, os parâmetros que apresentaram significância entre tratamentos foram:  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , teores de Mg, Cu e B, V%, e m%. Os parâmetros que apresentaram significância entre momentos de coleta foram:  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , teores de K, Al, Mg, Zn e Cu, H+Al, CTC efetiva, CTC potencial, V% e m%. Os parâmetros P, MO, Ca, e S não apresentaram significância tanto entre os tratamentos quanto entre momentos de coleta.

**Tabela 8.** Significância dos parâmetros químicos do solo resultante da análise de variância (ANOVA).

Parâmetros	Significância			CV (%)
	Coletas (c)	Manejos (m)	Interação (c x m)	
$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	**	**	ns	3,19
P	ns	ns	ns	30,74
K	**	ns	ns	35,09
MO	ns	ns	ns	10,61
Al	**	*	ns	3,46
Ca	ns	ns	ns	10,25
Mg	**	**	ns	10,64
H+Al	**	ns	ns	16,7
CTC efetiva	**	ns	ns	8,92
CTC potencial	*	ns	ns	7,19
V%	**	*	ns	7,6
m%	**	*	ns	17,20
Zn	ns	ns	ns	23,52
Cu	*	*	ns	9,9
S	ns	ns	ns	12,31
B	ns	*	ns	20,38

P: fósforo; K: potássio; MO: matéria orgânica; Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; H+Al (hidrogênio mais alumínio; acidez potencial); CTC: capacidade de troca de cátions; V%: saturação por bases; m% saturação por alumínio. Diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey, em que: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; ns = não significativo.

A médias observadas para a acidez ativa do solo ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) demonstraram valor superior para SPDH, que não diferiu significativamente de SCc (tabela 9). Os tratamentos SCsc e PDsc apresentaram acidez mais elevada (menor valor de pH), que não diferiram de SCc. Entre as médias das coletas, a coleta 2 foi inferior à coleta 1. A acidificação do solo ao longo do tempo é um processo natural, no entanto, este processo pode ser intensificado conforme o tipo de manejo utilizado e também pela aplicação de fertilizantes. Ciotta et al. (2002) comentam que,

em solos sob SC o revolvimento do solo dilui a acidez originada pelos fertilizantes na camada arável e em solos com acúmulo de matéria orgânica, proveniente da deposição de resíduos vegetais sobre a superfície, há um efeito atenuante da acidificação do solo. Dito isto, é interessante analisar que, no presente trabalho, o solo manejado sob SCsc apresentou acidez superior a SPDH, mesmo sendo revolvido.

O mesmo comportamento observado para o  $pH_{H_2O}$  entre momentos de coleta foi observado para o teor de potássio do solo. Além, SPDH apresentou o maior teor de magnésio do solo, que não diferiu de SCc. SCsc e PDsc apresentaram os menores teores, que não diferiram de SCc. Entre coletas, o teor de magnésio diminuiu ao longo do tempo, apresentando menor valor na coleta 2 (tabela 9). Os nutrientes do solo apresentam diversos comportamentos, porém, de uma maneira generalizada todos eles tendem a apresentar diminuição de seus teores ao longo do tempo causada por perdas por erosão, lixiviação, volatilização, fixação nas argilas do solo, imobilização e/ou exportação pelas culturas agrícolas, variando conforme a dinâmica do sistema de cultivo utilizado (BATISTA et al., 2018).

Os teores de cobre foram superiores em SCsc, que não diferiu de SCc e PDsc. SPDH apresentou o menor valor, no entanto, não diferiu de SCc e PDsc. Entre coletas, foi observado o aumento no teor de cobre na coleta 2. Os teores de boro do solo apresentaram média superior para SCsc, que diferiu apenas de PDsc. SPDH e SCc não diferiram entre si e dos demais tratamentos. Entre coletas, não foi observada diferença nos teores de boro. O teor de alumínio do solo foi superior para SCsc, que não diferiu de SCc e PDsc. SPDH apresentou o teor de alumínio mais baixo, diferindo apenas de SCsc. Entre coletas, observou-se o aumento do teor de alumínio na coleta 2, bem como o aumento da acidez ativa do solo ( $H+Al$ ) (tabela 9).

A CTC efetiva e CTC potencial do solo não apresentaram diferenças entre as médias dos tratamentos. Entre coletas, na coleta 2 foi observado menor valor para a CTC efetiva e maior valor para a CTC potencial. A saturação por bases (V%) apresentou média superior em SPDH, que não diferiu de SCsc e SCc. PDsc apresentou a menor média, que apenas diferiu de SPDH. Entre coletas, observou-se valor inferior para a coleta 2. A saturação do alumínio (m%) apresentou a menor média em SPDH, que não diferiu apenas de SCc, que não diferiu dos demais tratamentos. Entre coletas, observou-se maior média na segunda coleta (tabela 9).

Resultados diferentes foram encontrados por Hickman (2002), constatando que a redução do preparo do solo resultou em redução do pH, aumento da CTC e aumento da disponibilidade de Ca e Mg. Nascente et al. (2014) também observaram menores valores de pH em sistemas com menor revolvimento do solo. Além, constatou-se maiores teores de P, K, Ca, Mg, Mn, Zn e MO em SPD na camada superficial do solo (0,00-0,10 m). No entanto, é relatado menor

teor de alumínio e redução da acidez em SPD consolidado (SIDIRAS; PAVAN, 1985), estando diretamente relacionado à deposição de resíduos vegetais sobre o solo (LOPES et al., 2004).

Segundo Miyazawa et al. (2000), a capacidade dos resíduos vegetais de adubos verdes em amenizar o efeito acidificante do solo está relacionado aos seus teores de cátions de reação básica e carbono orgânico solúvel. Além, os resíduos vegetais possuem natureza anfótera, observando aumento do pH quando em solos ácidos e redução do pH em solos alcalinos (MIYAZAWA et al., 2000). Semelhante ao encontrado, Morais Filho et al. (2015) apontam que o SPD se mostrou mais efetivo que o SC no controle da acidez do solo, apresentando menores valores de m% e valores satisfatórios de Ca e Mg.

Quanto aos teores de cobre no solo, Castro et al. (1992) observaram teores de cobre significativamente mais elevados sob SPD comparado ao SC, principalmente na camada superficial do solo, em dois Latossolos Vermelho-Amarelos, uma vez que este micronutriente possui forte ligação com a MO do solo. No presente estudo este comportamento não foi observado, uma vez que os teores de MO não diferiram entre tratamentos. No entanto, a disponibilidade de nutriente é influenciada pela acidez do solo, uma vez que a CTC do solo e a solubilidade de compostos minerais possuem relação direta com a atividade hidrogeniônica. Sendo assim, observa-se menor disponibilidade de nutrientes como Fe, Cu, Mn e Zn e maior disponibilidade de P, K, Ca e Mg, por exemplo, com o aumento do pH (MALAVOLTA, 1989), conforme observado pelo presente estudo.

Uma das principais alterações químicas no solo decorrentes do SPD é o incremento de MO na camada superficial com o decorrer do tempo de implantação do sistema. No presente estudo, observou-se médias superiores de MO para os tratamentos SCc e SPDH, no entanto, estas diferenças não foram significativas. É possível deduzir que, ao longo dos anos os tratamentos SCc e SPDH venham a apresentar teores de MO mais elevados em relação ao demais tratamentos, devido à presença de material vegetal sobre a superfície do solo, com ênfase ao tratamento SPDH uma vez que o aumento da MO é dependendo da quantidade de palha, tipo de rotação de cultura, grau de revolvimento do solo, clima e aplicação de fertilizantes (CARVALHO et al., 2006) e geralmente ocorre após aproximadamente 6-7 anos da implantação do sistema conservacionista (LOPES et al., 2004).

**Tabela 9.** Parâmetros químicos do solo sob diferentes tipos de manejo em pré-implantação de alface (coleta 1) e pós-colheita de repolho (coleta 2) em sucessão, em Latossolo Vermelho no município de Cerro Largo, RS, Brasil.

		SCc	SCsc	SPDH	PDsc	Médias	CV (%)
pH <sub>H2O</sub>	Coleta 1	5,44	5,24	5,38	5,30	5,34 a	3,19
	Coleta 2	4,90	4,78	5,18	4,76	4,91 b	
	Médias	5,17 ab	5,01 b	5,28 a	5,03 b		
Índice SMP	Coleta 1	6,06	6,06	6,04	5,94	6,03 a	2,34
	Coleta 2	5,70	5,70	5,88	5,64	5,73 b	
	Médias	5,88	5,88	5,96 ns	5,79		
P (mg dm <sup>-3</sup> )	Coleta 1	17,46	17,00	22,52	18,18	18,79 ns	30,74
	Coleta 2	22,90	22,34	22,06	18,04	21,34	
	Médias	20,18	19,67	22,29 ns	18,11		
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Coleta 1	0,76	0,68	0,68	0,63	0,69 a	35,09
	Coleta 2	0,37	0,26	0,64	0,27	0,38 b	
	Médias	0,57	0,47	0,66 ns	0,45		
MO (%)	Coleta 1	2,62	2,56	2,46	2,44	2,52 ns	10,61
	Coleta 2	2,42	2,30	2,72	2,30	2,44	
	Médias	2,52	2,43	2,59 ns	2,37		
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Coleta 1	0,06	0,10	0,06	0,07	0,07 b	3,46
	Coleta 2	0,20	0,25	0,09	0,28	0,21 a	
	Médias	0,13 ab	0,18 a	0,08 b	0,18 ab		
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Coleta 1	4,12	4,12	4,22	4,72	4,30 b	16,70
	Coleta 2	6,28	6,22	5,10	6,74	6,09 a	
	Médias	5,20	5,17	4,66 ns	5,73		
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Coleta 1	6,07	6,02	6,26	6,16	6,13 ns	10,25
	Coleta 2	5,86	5,68	6,06	5,55	5,79	
	Médias	5,97	5,85	6,16 ns	5,86		
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Coleta 1	2,57	2,30	2,66	2,37	2,48 a	10,64
	Coleta 2	2,24	2,01	2,44	2,05	2,19 b	
	Médias	2,41 ab	2,15 b	2,55 a	2,21 b		
CTC <sub>efet.</sub> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Coleta 1	9,46	9,10	9,66	9,24	9,37 a	8,92
	Coleta 2	8,64	8,20	9,20	8,16	8,55 b	
	Médias	9,05	8,65	9,43 ns	8,70		
CTC <sub>pH7,0</sub> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Coleta 1	13,52	13,12	13,82	13,88	13,59 b	7,19
	Coleta 2	14,74	14,16	14,22	14,62	14,44 a	
	Médias	14,13	13,64	14,02 ns	14,25		
V (%)	Coleta 1	69,46	68,54	69,42	65,90	68,33 a	7,60
	Coleta 2	57,76	56,18	64,36	54,24	58,14 b	
	Médias	63,61 ab	62,36 ab	66,89 a	60,07 b		
m (%)	Coleta 1	0,62	1,18	0,64	0,76	0,80 b	17,20
	Coleta 2	2,40	3,16	1,02	3,54	2,53 a	
	Médias	1,51 ab	2,17 a	0,83 b	2,15 a		
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	Coleta 1	4,09	3,78	3,62	3,98	3,87 ns	23,52
	Coleta 2	4,72	4,80	4,75	3,74	4,50	
	Médias	4,41	4,29	4,18 ns	3,86		
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	Coleta 1	13,63	14,33	13,37	13,29	13,65 b	9,90
	Coleta 2	16,24	15,90	13,24	14,01	14,85 a	
	Médias	14,94 ab	15,11 a	13,31 b	13,65 ab		
S (mg dm <sup>-3</sup> )	Coleta 1	14,06	15,24	14,16	16,44	14,98 ns	12,31
	Coleta 2	14,84	14,66	14,88	15,64	15,01	
	Médias	14,45	14,95	14,52 ns	16,04		
B (mg dm <sup>-3</sup> )	Coleta 1	1,05	1,27	1,05	1,00	1,09 ns	20,38
	Coleta 2	1,18	1,15	1,02	0,86	1,05	
	Médias	1,11 ab	1,21 a	1,03 ab	0,93 b		

SCsc: sistema convencional sem cobertura vegetal; SCc: sistema convencional com cobertura vegetal; SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças; PDsc: plantio direto sem cobertura vegetal; P: fósforo; K: potássio; MO: matéria orgânica; Al: alumínio; H+Al (hidrogênio mais alumínio; acidez potencial); Ca: cálcio; Mg: magnésio; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: saturação por bases; m% saturação por alumínio. Zn: zinco; Cu: cobre; S: enxofre; B: boro. Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) (ns = não significativo).

Observando todos os parâmetros analisados, é possível inferir que ao longo do tempo o solo sofreu acidificação, apresentando diminuição de seus teores de K e Mg, além de menor CTC efetiva e V%. Inversamente, houve aumento dos teores de Al e H+Al, além de maior CTC potencial e m%. No entanto, estas mudanças ocorreram de maneira desigual entre os manejos observados. Além, constatou-se que o tratamento SPDH apresentou comportamento semelhante ao tratamento SCc quando observado os parâmetros que foram afetados pelos tipos de manejo do solo (tabela 9). Dito isto, é interessante salientar que a presença de cobertura vegetal sobre o solo possibilitou que o solo não revolvido apresentasse comportamento semelhante ao solo revolvido, além de que SCsc por vezes apresentou qualidade química inferior mesmo sendo revolvido, devido a ausência de cobertura na superfície.

#### 4.3 PARÂMETROS BIOLÓGICOS DO SOLO

A atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase e arilsulfatase foram afetadas pelos tipos de manejo do solo ( $p = 0,0001$ ;  $p = 0,0088$  respectivamente). Para a enzima  $\beta$ -glicosidase, observou-se média superior em SPDH ( $163,1 \mu\text{g p-nitrofenol g solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) que diferiu significativamente dos demais tratamentos ( $\text{SCc} = 139,5$ ;  $\text{SCsc} = 121,7$ ;  $\text{PDsc} = 125,7 \mu\text{g p-nitrofenol g solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), demonstrando a sensibilidade desta enzima ao efeito conjugado do tipo de manejo e presença de cobertura vegetal sobre o solo (figura 11). Para a enzima arilsulfatase, SPDH e SCc apresentaram as maiores médias ( $66,7$  e  $62,9 \mu\text{g p-nitrofenol g solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$  respectivamente), que não diferiram entre si e diferiram apenas de PDsc ( $42,8 \mu\text{g p-nitrofenol g solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), o qual apresentou a menor média que não diferiu de SCsc ( $47,1 \mu\text{g p-nitrofenol g solo}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) (figura 11).

Em um estudo de longa duração (22 anos) com arroz irrigado, Carlos et al. (2021) observaram aumento da atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase em +43% em SPD comparado ao manejo pré-germinado e SC, além de incremento do carbono e do nitrogênio da biomassa microbiana, respiração basal do solo e outras enzimas como fosfatase ácida, diacetato de fluoresceína e urease.

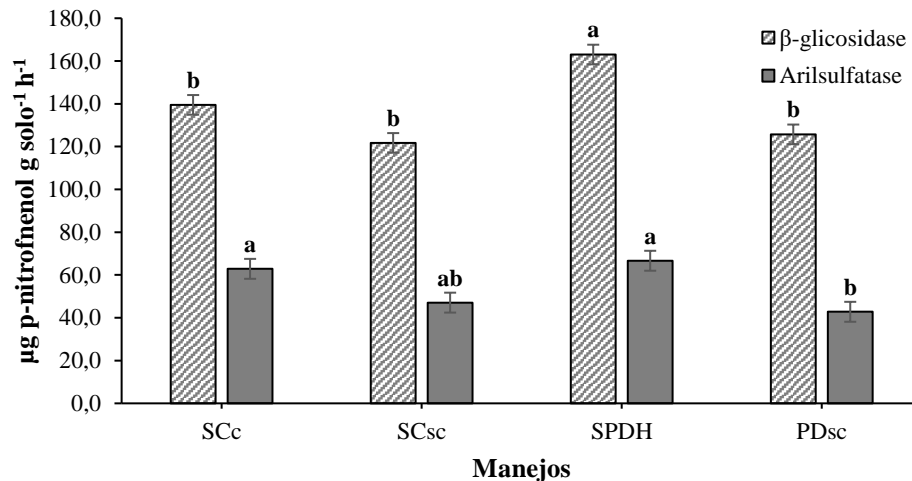
Semelhante ao observado no presente estudo, Mendes et al. (2018) relatam um experimento no qual foram avaliados sistemas de produção de grãos com e sem presença de gramínea do gênero *Urochloa* (braquiária) em Latossolo Vermelho no Cerrado brasileiro, constatando maior produtividade de soja em tratamentos com braquiária, no entanto, os tratamentos apresentavam características químicas idênticas. Posteriormente, constatou-se elevados níveis de atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida nos tratamentos com presença de braquiária, demonstrando que a diferença de produtividade das culturas estava atrelada



à distinção biológica entre os tratamentos proporcionada pela cobertura do solo (MENDES et al., 2018; BENITES et al., 2014; MENDES et al., 2015b).

Em uma revisão realizada com o objetivo de apresentar as principais contribuições das enzimas do solo para a agricultura brasileira, Sobucki et al. (2021) observaram que além dos estudos de longa duração apontarem o incremento da atividade biológica e enzimática (com ênfase às enzimas  $\beta$ -glicosidase e arilsulfatase) em solos manejados sob SPD comparado ao SC, diversos trabalhos apontam estes incrementos mesmo em estudos de curta duração (2 anos). Este fato enfatiza a essencialidade e sensibilidade destes indicadores às perturbações ambientais, tornando-os indicadores-chave no monitoramento da qualidade biológica dos solos (SOBUCKI et al., 2021).

**Figura 11.** Atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase e arilsulfatase sob diferentes sistemas de manejo de solo em Latossolo Vermelho no município de Cerro Largo, RS, Brasil.



SCsc: sistema convencional sem cobertura vegetal; SCc: sistema convencional com cobertura vegetal; SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças; PDsc: plantio direto sem cobertura vegetal. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4 PARÂMETROS CULTURAIS

Em plantas de alface, os parâmetros MFPA e NF foram afetados pelo tipo de manejo adotado (tabela 10). Em plantas de repolho, os parâmetros afetados foram MFPA, MSPA, MFC, DT e DL. Os parâmetros MSPA de plantas de alface e NF em plantas de repolho não apresentaram significância quando submetidos à análise de variância ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 10.** Significância dos parâmetros culturais resultante da análise de variância (ANOVA).

Parâmetros	Significância	CV (%)
<i>Alface</i>		
Massa fresca da parte aérea (Mg ha <sup>-1</sup> )	*	10.8
Massa seca da parte aérea (Mg ha <sup>-1</sup> )	ns	12.68
Número de folhas	**	2.57
<i>Repolho</i>		
Massa fresca da parte aérea (Mg ha <sup>-1</sup> )	**	8.33
Massa seca da parte aérea (Mg ha <sup>-1</sup> )	**	11.57
Massa fresca de cabeça (Mg ha <sup>-1</sup> )	**	10.07
Número de folhas	ns	3.38
Diâmetro transversal de cabeça (cm)	**	2.34
Diâmetro longitudinal de cabeça (cm)	**	5.35

Diferenças significativas de acordo com o teste de Tukey, em que: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; ns = não significativo.

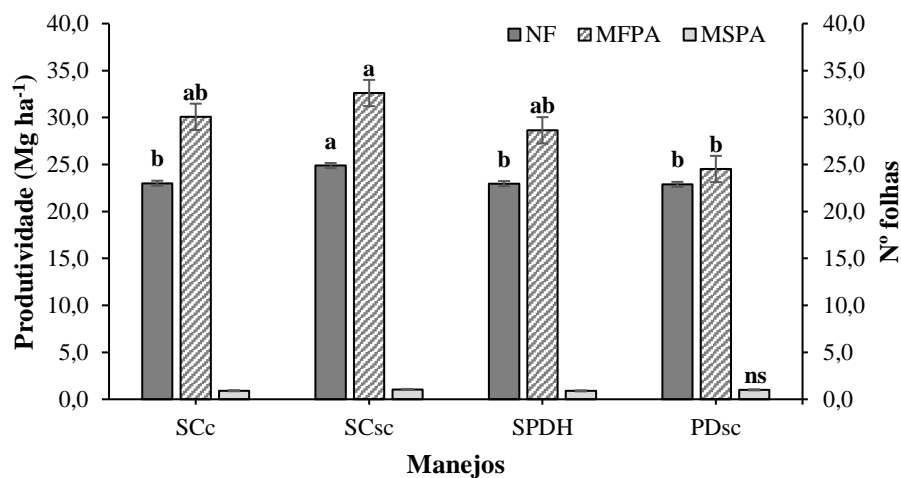
A produtividade de MFPA da cultura da alface (Mg ha<sup>-1</sup>) apenas diferiu entre os tratamentos SCsc e PDsc, os quais apresentaram a maior e a menor média respectivamente (32,6 e 24,5 Mg ha<sup>-1</sup>) (figura 12). Os tratamentos SCc e SPDH (30,1 e 28,6 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente) apresentaram comportamento intermediário, não diferindo de SCsc e PDsc. Quanto ao NF nas plantas de alface, SCsc apresentou valor significativamente superior (24,9 folhas) aos demais tratamentos (SCc = 23,0; SPDH = 23,0; PDsc = 22,9 folhas), os quais não diferiram entre si. O parâmetro de MSPA não apresentou significância entre as médias dos tratamentos (média geral = 0,97 Mg ha<sup>-1</sup>).

Semelhante ao observado, Pawlowski et al. (2020a) constataram maior produtividade de alface em SPDH, que não diferiu de SCc, que não diferiu de SCsc. Além, PDsc apresentou a menor produtividade, diferindo de todos os demais tratamentos. Em estudo semelhante, Ziech et al. (2014) apontam que a produtividade de MFPA da cultura da alface não diferiu entre manejos de solo e de cobertura no primeiro ciclo avaliado, também observado por Silva et al. (2013), no entanto, no cultivo sucessivo o SPD apresentou produtividade semelhante aos manejos sob SC estudados, sendo estes sem uso de palhada, palha incorporada e palha externa picada sobre o solo (ZIECH et al., 2014), sendo aveia a cultura utilizada para a formação da palhada. Hirata et al. (2018) observaram que, comparado ao SC, a produtividade da alface sob SPD aumentou ao longo do tempo, apresentando menor produtividade no primeiro cultivo, produtividade semelhante no segundo cultivo e superior no terceiro cultivo (HIRATA; HIRATA; CAMARA, 2018)

Em ambos estudos apresentados, que corroboram com os resultados observados no presente trabalho, constatou-se que o cultivo de alface sobre palhada em SPD (semelhante ao tratamento SPDH) resulta em maior sustentabilidade do sistema quando comparado ao SC. É

importante salientar que o rendimento das culturas agrícolas sob manejo de SPD é influenciado principalmente pelo grupo de culturas adotado, seguido do índice de aridez, do manejo dos resíduos do solo e do tempo de duração do sistema, geralmente observando diminuição da produtividade das culturas nos primeiros 1-2 anos após a implementação do SPD e rendimentos que se igualam ao SC após 3-10 anos (PITTELKOW et al., 2015).

**Figura 12.** Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e número de folhas (NF) de plantas de alface cv. Mauren, cultivadas em diferentes sistemas de manejo de solo aos 40 dias após o transplantio em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil.



SCsc: sistema convencional sem cobertura vegetal; SCc: sistema convencional com cobertura vegetal; SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças; PDsc: plantio direto sem cobertura vegetal. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) (ns = não significativo).

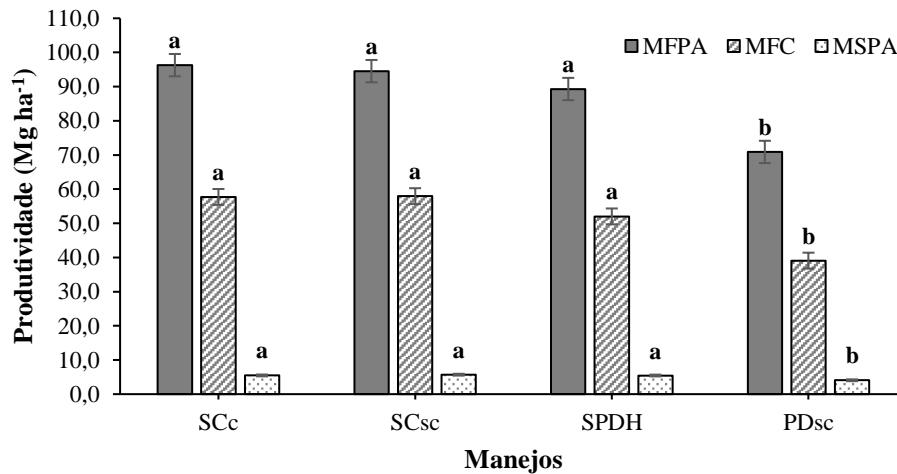
A produtividade de MFPA da cultura do repolho ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos SCc, SCsc e SPDH (96,3, 94,5 e 89,3  $\text{Mg ha}^{-1}$  respectivamente), os quais foram superiores ao tratamento PDsc (70,9  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (figura 13). O mesmo foi observado para os parâmetros MFC (SCc = 57,7; SCsc = 57,9; SPDH = 52,0; PDsc = 39,1  $\text{Mg ha}^{-1}$ ). De forma semelhante, observou-se o mesmo comportamento entre os tratamentos para os parâmetros de MSPA (SCc = 5,5; SCsc = 5,7; SPDH = 5,4; PDsc = 4,1  $\text{Mg ha}^{-1}$ ), DL (SCc = 14,7; SCsc = 14,7; SPDH = 14,0; PDsc = 12,1 cm) e DT (SCc = 18,8; SCsc = 18,7; SPDH = 18,7; PDsc = 16,9 cm) (figura 14).

Em estudo semelhante, Perin et al. (2015) observaram maior diâmetro e produtividade de massa fresca e seca de cabeça de repolho em solo manejado sob SPD com palhada de milho. Em cultivo de couve-flor, Schultz et al. (2020) observaram maior produtividade em SPD com palhada de aveia preta no inverno. Em estudo conduzido no cultivo de brócolis, Melo et al. (2010) não constataram produtividade superior quando em solo manejado sob SPD, no

entanto, observaram resultados semelhantes entre os cultivos sob SPD e SC no verão. Desta forma, os autores apontam a recomendação da adoção do SPD, considerando a elevada produtividade da cultura e a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do ambiente edáfico (MELO et al., 2010).

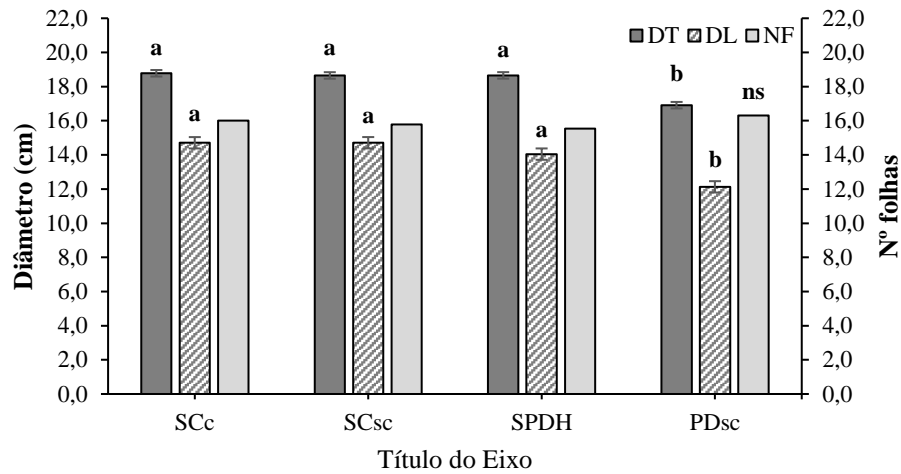
Conforme os dados obtidos, é importante observar que o tratamento SPDH apresentou valores semelhantes aos tratamentos manejados convencionalmente e superiores a PDsc, ou seja, a deposição de palhada sobre o solo não possibilitou benefícios significativos ao ambiente edáfico quando manejado sob sistema convencional, diferente do observado nos tratamentos manejados sob plantio direto. Portanto, constata-se que a palhada importada de outra área e depositada sobre o solo, quando não cultivada no mesmo local de cultivo da cultura principal, apenas exerce efeito sobre a cobertura do solo, no entanto, não influencia sobre sua estruturação, estabilidade da produção e recuperação ou manutenção da qualidade do solo (ALCÂNTARA; MADEIRA, 2008; ALVARENGA et al., 2001).

**Figura 13.** Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca de cabeça (MFC) e massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de repolho cv. Musashi, cultivadas em diferentes sistemas de manejo de solo aos 100 dias após o transplante em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil.



SCsc: sistema convencional sem cobertura vegetal; SCc: sistema convencional com cobertura vegetal; SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças; PDsc: plantio direto sem cobertura vegetal. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Figura 14.** Diâmetro transversal de cabeça (DT), diâmetro longitudinal de cabeça (DL) e número de folhas (NF) de plantas de repolho cv. Musashi, cultivadas em diferentes sistemas de manejo de solo aos 100 dias após o transplante em Latossolo Vermelho, no município de Cerro Largo, RS, Brasil.



SCsc: sistema convencional sem cobertura vegetal; SCc: sistema convencional com cobertura vegetal; SPDH: Sistema de Plantio Direto de Hortaliças; PDsc: plantio direto sem cobertura vegetal. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) (ns = não significativo).

## 5 CONCLUSÕES

1. Os indicadores de qualidade física (densidade, distribuição de poros, grau de compactação, umidade volumétrica e porosidade de aeração), química ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ , teores de Al, Mg, Cu e B e índices V% e m%) e biológica (enzimas  $\beta$ -glicosidase e arilsulfatase) mostraram-se sensíveis às variações dos sistemas de cultivo de hortaliças.
2. Os parâmetros físicos de densidade, distribuição de poros e grau de compactação foram afetadas pelos tipos de manejo apenas na primeira coleta de solo realizada. Observou-se maiores valores de densidade, microporosidade e grau de compactação, bem como menores valores de porosidade total e macroporosidade para o tratamento PDsc, principalmente na camada de 0,00-0,05 m.
3. A umidade volumétrica e a porosidade de aeração do solo foram afetadas pelos tipos de manejo apenas no primeiro ciclo avaliado. Constatou-se que estes parâmetros indicam diferenças entre manejos principalmente quando em período mais quente e quando há maior heterogeneidade entre os tratamentos (decomposição da palhada em estágio inicial), demonstrando maior umidade para os tratamentos SPDH, PDsc e SCc.
4. A atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase foi superior no SPDH comparado a todos os demais tratamentos. A atividade da enzima arilsulfatase foi superior para SPDH e SCc, que não diferiram de SCsc. Desta forma, constata-se a sensibilidade destas enzimas às mudanças de manejo e uso de cobertura vegetal sobre a superfície do solo.
5. Os parâmetros químicos do solo e as produtividades de alface e de repolho apresentaram comportamento semelhante entre os tratamentos SCc, SCsc e SPDH.
6. Sendo assim, o cultivo de alface e repolho sob SPDH melhorou as características físicas, químicas e biológicas do solo e possibilitou elevada produtividade das culturas, sendo um sistema viável e mais sustentável quando comparado os sistemas convencionais de produção.

## REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, F. A.; MADEIRA, N. R. **Manejo do solo no sistema de produção orgânico de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças. 2008. Circular Técnica, 64.
- ALVARENGA, R. C. CRUZ, J. C. VIANA, J. H. M. Manejo de solos: preparo convencional do solo. In: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 4. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008.
- 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.
- AMARO, G. B.; SILVA, D. M.; MARINHO, A. G.; NASCIMENTO, W. M. **Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007 (Circular Técnica, 47).
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, 2012.
- BARNI, N. A.; FREITAS, J. M. de O.; MATZENAUER, R.; TOMAZZI, D. J.; ZANOTELLI, V.; ARGENTA, G.; SECHIN, J.; TIMM, P. J.; DIDONÉ, I. A.; HILEBRAND, G.; BUENO, A. C.; RIBEIRO, S. de S. **Plantas recicladoras de nutrientes e de proteção do solo, para uso em sistemas equilibrados de produção agrícola**. Porto Alegre: Fepagro, 2003. 84p. il. (Boletim Fepagro, 12).
- BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R.; comps. **Hortaliças-fruto** [online]. Maringá: EDUEM, 2018, p. 113-162.
- BAYER, C.; DIECKOW, J. Lessons Learnt from Long-term No-till Systems Regarding Soil Management in Humid Tropical and Subtropical Regions. In: DANG, Y. P.; DALAL, R. C.; MENZIES, N. W. [Ed.]. **No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture: Challenges and Opportunities**. Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2020, p. 437-457.
- BAYER, C.; DIECKOW, J.; CONCEIÇÃO, P. C.; SANTOS, J. C. F. dos. Sistemas de manejo conservacionistas e qualidade de solos, com ênfase na matéria orgânica. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. [Ed.]. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018.
- BENITES, V. M., CAETANO, J. O, FERREIRA FILHO, W. C.; MENEZES, C. C. E.; POLIDORO, J. C.; OLIVEIRA, R. P.; WIENDL, T. Influence of brachiaria (*Urochloa brizantha*) as a winter cover crop on potassium use efficiency and soybean yield under no-till in the Brazilian Cerrado. **The Electronic International Fertilizer Correspondent (e-ifc)**, n. 39, p. 24-35, 2014.

BORGES, G. de O. Resumo histórico do plantio direto no Brasil. In: **Plantio direto no Brasil**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. p. 13-18. Editado por EMBRAPA-CNPT, Fundacep Fecotriga, Fundação ABC.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**, 3 ed. Porto Alegre, Bookman. 2012. 716 p.

BROWN, V.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; MUZEKA, L. M. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Rev. Bras. Cienc. Agrar.**, v. 13, n. 1, e5501, 2018.

CAIXETA, R. P.; ALCÂNTARA, F. A.; MADEIRA, N. R.; ABDALLA, R. P. **Perdas de Água, Solo, Nutrientes e Matéria Orgânica em Área Cultivada com Cebola sob Diferentes Sistemas de Manejo do Solo**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009, 20 p.

CARLOS, F. S.; SCHAFFER, N.; MARCOLIN, E.; FERNANDES, R. S.; MARIOT, R.; MAZZURANA, M.; ROESCH, L. F. W.; LEVANDOSKI, B.; CAMARGO, F. A. O. A long-term no-tillage system can increase enzymatic activity and maintain bacterial richness in paddy fields. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 6, p. 2257-2268, 2021.

CARVALHO, C.; KIST, B. B.; BELING, R. R. **Anuário brasileiro de horti&fruti**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2019. 96 p.

CARVALHO, E. J. M.; FREITAS, P. L. Plantio direto: caminho para a agricultura sustentável. In: ENCONTRO TÉCNICO: "TECNOLOGIAS PARA A PRODUÇÃO DE ARROZ NO SUDESTE PARAENSE", 1., 2008, São Geraldo do Araguaia. **Anais...** artigos e palestras. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. p. 93-104.

CARVALHO, E. J. M.; VELOSO, C. A. C.; FREITAS, L. S.; VALENTE, M. A.; SILVEIRA FILHO, A. Efeito de sistemas de plantio direto sobre a matéria orgânica em Latossolo Vermelho Amarelo do Sudeste Paraense. In: II ENCONTRO AGROTECNOLOGICO PARA A PRODUÇÃO DE ALIMENTO, 2006, Tailândia, PA. **Anais...** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. v. 1, p. 49-56.

CASTRO, O. M.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H.; VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F. Teores de zinco, cobre, manganês e ferro em dois Latossolos sob plantio direto e convencional. **Bragantia**, v. 51, n. 1, p. 77-84, 1992.

CEAGESP - Centro de Qualidade em Horticultura. **Normas de Classificação** – Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura. São Paulo: PBMH, v. 12, n. 1, 2014, 7 p.

CERETTA, C. A.; AITA, C. **Manejo e conservação do solo**. 1. ed. Santa Maria, RS: UFSM, NTE, UAB, 2010.

CHERUBIN, M. R.; EITELWEN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; SILVA, R. F.; SILVA, V. R.; BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 39, p. 615-625, 2015.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob Plantio Direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 1055-1064, 2002.



- COCKROFT, B.; OLSSON, K. A. Case study of soil quality in South-eastern Australia: management of structure for roots in duplex soils. In: GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. (Eds.), **Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health, Developments in Soil Science**, vol. 25, Elsevier, New York, NY (1997), p. 339-350.
- CONSTANTIN, J. Métodos de Manejo. In: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba, PR: Omnipax, 2011. 348 p.
- COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. de.; Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.
- COSTA, F. F.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.
- CQFS-RS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 11ª ed. Porto Alegre: CQFS; 2016.
- CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II - Atributos biológicos do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011.
- DÃO, T. H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustoll. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 2, p. 141-148, 1996.
- DE VRIES, I. Origin and domestication of *Lactuca sativa* L. **Genet. Resour. Crop Evol**, 44, 1997, p. 165–174.
- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; SILVA JUNIOR, J. P.; WIETHÖLTER, S.; FAGANELLO, A.; SATTLER, A.; SANTI, A. Sistema plantio direto: evolução e implementação. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011. 488 p.
- DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M, S. Indicadores de Qualidade do Solo. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 368 p.
- DERPSCH, R. **Historical review of no-tillage cultivation of crops**, Proceedings, The 1st JIRCAS Seminar on Soybean Research. No-tillage Cultivation and Future Research Needs, March 5-6, 1998, Iguassu Falls, Brazil, JIRCAS Working Report. No. 13, p. 1-8, 1998.
- DERPSCH, R. Histórico, requisitos, importância e outras considerações sobre Plantio Direto no Brasil. In: **Plantio Direto no Brasil**, Fundação Cargill, Campinas, 1984, 124 p.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo no conservacionismo do solo**. Eschborn: GTZ, 1991. 272 p.
- DICK, R. P. **Methods of Soil Enzymology**. Madison, USA: Soil Science of America, editor. SSSA Book Series, n. 9. 2011.

DOMINGUES NETO, F. J.; SILVA, G. P. de P.; SANTOS, T. dos; RESENDE, F. V.; VIDAL, M. C. Cultivares e híbridos de repolho para produção orgânica no verão do Distrito Federal. Embrapa Hortaliças: **Cadernos de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 9, n. 3, 2014.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A., eds. **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p. 1-21. (SSSA Special Publication, 35).

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Wisconsin, USA: **Soil Science Society American**, 1996. p. 25-37 (Special Publication, 49).

EGER, H. **Adaptabilidade de cultivares e híbridos de repolho as condições edafoclimáticas da região do alto Vale do Itajaí**. Orientador: Robinson Jardel Pires de Oliveira. 35 f. 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense, Rio do Sul, 2018.

EMBRAPA CERRADOS. **Tecnologia BioAS: tecnologia de bioanálise de solo Embrapa como a mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola**. Planaltina, DF, 2020. 6p. Cartilha (INFOTECA-E).

ERICKSON, A.E. Tillage effects on soil aeration. In: UNGER, P. W.; VAN DOREN JR, D. M.; WHISLER, F. D.; SKIDMORE, E. L. [Eds.] **Predicting tillage effects on soil physical properties and processes**. Madison: American Society of Agronomy, p. 91-104. 1982

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Conservation Agriculture**. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i7480e/i7480e.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2021.

FAYAD, J. A.; COMIN, J. J.; KURTZ, C.; MAFRA, A. (Orgs.) **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH): O cultivo da cebola**. Florianópolis, SC: Epagri, 2018. 78 p. (Epagri. Boletim Didático, 146).

FEBRAPDP – Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto. **Área sob Plantio Direto: Evolução sob Plantio Direto - 1972 a 2018**. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/area-de-pd>. Acesso em: 21 jun. 2021.

FILGUEIRA, Fernando Antonio Reis. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3ª ed. ver. e ampl. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2008.

FINCATTO, D.; ROSA, D. P. da.; PESINI, F.; PAGNUSSAT, L. Umidade volumétrica e Resistência a Penetração de um Nitossolo Vermelho sob diferentes estratégias de melhoria física. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis, SC: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

GIORDANO, L. B. de.; SILVA, N. da.; CORDEIRO, C. M. T. Experimentos comparativos entre híbridos e cultivares de repolho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 29-31, 1985.

GOMES, A. S.; VERNETTI IÚNIOR, F.; SILVEIRA, L. D. N. O que rende a cobertura morta. **A Granja**, Porto Alegre, ano 53, n. 588, p. 47-49, 1997.

- GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.
- GUPTA, S. C.; SCHNEIDER, E. C.; LARSON, W. E.; HADAS, A. Influence of corn residue on compression and compaction behavior of soils. **Soil Science Society of America Journal, Madison**, v. 51, n. 1, p. 207-212, 1987.
- HECKLER, I. C.; HERNANI, L. C.; PITOL, C. Palha. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. (Org.). **Sistema plantio direto: o produtor pergunta, a EMBRAPA responde**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, p. 37- 49, 1998.
- HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de Alface Cultivados no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. (Comunicado Técnico, 75).
- HICKMAN, M. V. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical and mineral properties. **J. Plant Nutr.** v. 25, p. 1457–1470. 2002.
- HIRATA, A. C. S.; HIRATA, E. K.; CAMARA, J. A. R. Adaptability of lettuce cultivars to planting in no-tillage on straw of *Urochloa ruziziensis*. **Pesq. agropec. bras.**, v. 53, n. 7, p. 824-832, 2018.
- HIRATA, E. K.; HIRATA, A. C. S. Umidade do solo durante o cultivo de alface no verão sobre diferentes coberturas e manejos do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Natal, RS. **Anais...** Natal, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.
- HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, 103, p. 137-157, 2000.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017: Resultados Definitivos**. Rio de Janeiro, v. 8, p. 1-105, 2019b.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017: Agricultura**. 2019a. Disponível em: [https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo\\_agro/resultados-agro/index.html](https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultados-agro/index.html). Acesso em: 22 jun. 2021.
- ISSAKA, F.; ZHANG, Z.; LI, Y.; ZHAO, Z.; ASENSO, E.; KANU, A.S.; LI, W.; WANG, J. Zero Tillage Improves Soil Properties, Reduces Nitrogen Loss and Increases Productivity in a Rice Farmland in Ghana. **Agronomy**, v. 9, n. 10, 2019a, p. 641.
- ISSAKA, I.; ZHANG, Z.; ZHAO Z.; ASENSO, E.; LI, J.; LI, Y.; WANG, J. Sustainable Conservation Tillage Improves Soil Nutrients and Reduces Nitrogen and Phosphorous Losses in Maize Farmland in Southern China. **Sustainability**, v. 11, n. 8, 2019b, p. 2397.
- JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York: McGraw-Hill, 1941. 191f.
- KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 3/4, p. 145-156, 2003.
- KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 61, p. 4–10. 1997.

KIST, B. B.; CARVALHO, C. de.; BELING, R. R. **Anuário Brasileiro de Horti&Fruti 2021**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2021. 104 p.

KLEIN, V. A. **Física do Solo**. 3 ed. Passo Fundo: UPF, 2014.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 365-371, 2008.

KŘÍSTKOVÁ, E.; DOLEŽALOVÁ, A.; LEBEDA, A.; VINTER, V.; NOVOTNÁ, A. Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources. **Hort. Sci.** 35, 2008 (3): 113–129.

LAL, R. & PIERCE, F.J. The vanishing resource. In: LAL, R. & PIERCE, F.J., eds. **Soil management for sustainability**. Ankeny, Soil Water Conservation Society, 1991. p.1-5.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. **Conservation and enhancement of soil quality**. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WORKSHOP ON EVALUATION FOR SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT IN THE DEVELOPING WORLD, 1991, Chiang Rai, Thailand. International Board for Soil Research and Management: Technical papers. Bangkok: IBSRAM, 1991. p. 175-203.

LIBARDI PL. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335 p.

LIMA, C. E. P.; MADEIRA, N. R. Sistema de plantio direto em hortaliças (SPDH). **Hortaliças em Revista**, Brasília, DF, Ano 2, n. 9, p. 12-13, jul. 2013.

LINDQVIST, K. On the origino f cultivated lettuce. **Hereditas**, 46, 1960, p. 319-350.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 45-55, 2012.

LOPES, A. S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo. Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004. 110 p.

LOURENÇO JUNIOR, V.; LOPES, C. A.; REIS, AILTON. **Rotação e Sucessão de Culturas em Hortaliças Cultivadas em Pequenas Áreas no Manejo de Doenças**. Brasília, DF, Embrapa Hortaliças. Circular Técnica 152. 2016.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5. ed. rev. at. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292 p.

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**. Epagri: Florianópolis, 2019. 431p.

MELO, R. A. de C. e; MADEIRA, N. R.; LIMA, C. E. P. **Experiences in Brazil with no till vegetable system (NTVS) - Brassicas**. Brasília, DF, Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 154. 2016.

MELO, R. A. de. C.; MADEIRA, N. R.; PEIXOTO, J. R. Cultivo de brócolos de inflorescência única no verão em plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 1, 2010.

MENDES, I. C.; CAETANO, J. O.; HERNANI, L. C.; REIS JUNIOR, F. B.; BENITES, V. M. Soil enzymes activities in Cerrado's grain-crops farming systems with Brachiaria. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., Brasília, DF, 2015. **Annals...** Brasília, DF: Embrapa, Towards sustainable intensification: proceedings. 2015b.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. E. **Bioindicadores para Avaliação da Qualidade dos Solos Tropicais: utopia ou realidade?** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 31 p. (Documentos / Embrapa Cerrados, 246).

MENDES, I. C.; SOUZA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo.** Planaltina: Embrapa Cerrados; 2018 (Circular técnica, 38).

MIELNICZUCK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Gênese, cap. 1, p. 1-6, 1999.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. e FRANCHINI, J.C. Resíduos vegetais: influência na química de solos ácidos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Ponta Grossa, 2000. **Anais...** Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p. 82- 94.

MODA, L.; MANDES, A. R.; CAMARGO, I. O que mudou no consumo brasileiro de frutas e hortaliças nos últimos anos? In: BARROS, G. S. de. D. et al. O que mudou no consumo brasileiro de frutas e hortaliças nos últimos anos? **Hortifruti Brasil**, ano. 20, n. 209, 2021.

MONTEIRO, J. E. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola.** Brasília, DF: INMET, 2009. 546 p.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P. de.; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v. 109, p. 139-149, 2013.

MORAIS FILHO, L. F. F.; GOMES, M. F.; GOMES, M. S.; SARAH, M. M. S.; MORAES, A. A. A.; Teores de cátions trocáveis, CTC, saturação por bases e alumínio em solos submetidos ao sistema plantio convencional e direto em Paragominas, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal, RN. **Anais...** Natal: SBCE, 2015.

MOREIRA, F. M. de. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo.** 2. ed. atual. e ampl. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

NASCENTE, A. S.; SILVEIRA, P. M.; LOBO JUNIOR, M.; SANTOS, G. G.; CUNHA, P. C. R. Atributos químicos de Latossolo sob plantio direto afetados pelo manejo do solo e rotação de culturas. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 153-163, 2014.

NUNES, M. U. C.; OLIVEIRA, J. B.; FAZOLIN, M. **Cultivo de repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) no Acre.** Rio Branco: EMBRAPA-CPAFAC, 1994. 18 p.

OLIVEIRA, R. A.; LOVATO, P. E.; MÜLLER JUNIOR, V.; KÜRTZ, C.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Decomposição e Liberação de Nutriente da Matéria Seca de Plantas de Cobertura

e Alteração na Produção da Cebola em Sistema de Plantio Direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DOS SOLO, 35., 2015, Natal, RN. **Anais...** VIÇOSA, MG: SBCS, p. 01-04, 2015.

PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. Biological indicators of soil health: synthesis. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (ed.). **Biological Indicators of Soil Health**. Wallingford: CAB International, 1997. p. 419-435.

PASSOS, A. M. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, F. C. Sistema Plantio Direto. In.: NOBRE, M.M.; OLIVEIRA, I.R.de.O. **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 194 p.

PAWLOWSKI, E.; VICENTE, B.; WENZEL, B. J.; KAISER, D. R. Sistema de manejo do solo para a produção de hortaliças. In: X JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 2020, Laranjeiras do Sul, PR (remoto). **Anais...** Laranjeiras do Sul, PR: Universidade Federal da Fronteira Sul, v. 1. 2020b.

PAWLOWSKI, E.; VICENTE, B.; WENZEL, B. J.; RIBAS, I. F.; WERLE, L.; KAISER, D. R. Atributos físicos do solo em cultivo de alface sob diferentes sistemas de preparo e manejo do solo. In: XIII REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, 2020, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre (evento online): UFRGS; NRS-SBCS, 2020a, p. 651-655.

PAZUTTI, L. V. B.; CHAER, G. M. **Desenvolvimento de metodologia de baixo custo para a análise de  $\beta$ -glicosidase em solos**. Soropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2012, 23 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 92).

PERIN, A.; CRUVINEL, D. A.; FERREIRA, H. dos. S.; MELO, G. B.; LIMA, L. E. de.; ANDRADE, J. W. de. S. Decomposição da palhada e produção de repolho em sistema plantio direto. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 2, p. 153-159, 2015.

PITTELKOW, C. M.; LINQUIST, B. A.; LUNDY, M. E.; LIANG, X.; GROENIGEN, K. J. V.; LEE, J.; GESTEL, N. V.; SIX, J.; VENTEREA, R. T.; KESSEL, C. V. When does no-till yield more? A global meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 183, p. 156-168, 2015.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 9 ed., São Paulo: Nobel, 1979. 549 p.

PUIATTI, M. **A arte de cultivar hortaliças**. Viçosa, MG: UFV, CEAD, 2019. 184 p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, Efeitos, Limites Críticos e Mitigação. **Tópicos em Ciência do Solo**. v. 1, Viçosa, 2007. p. 49-134.

REICOSKY, D.C.; LINDSTROM, M.J. Fall Tillage Method: Effect on Short-Term Carbon Dioxide Flux from Soil. **Agronomy journal**, v. 85, n. 6, p. 1237-1243, 1993.

REINERT, D. J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L. E.; GRIFFIT, J. J. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, p. 163-176, 1998.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo-protótipos e teste. **Ciência Rural**. v. 36. p.1931-1935. 2006.

- RODRIGUES, P. Do tempero na mesa ao cosmético na bolsa. In: VIEIRA, J.V.; ALVES, A.C.de.S.; GUEDES, I.M.R.; NASCIMENTO, W.M. (Ed.). **Do tempero ao perfume: o uso aplicado de plantas aromáticas e condimentares na horticultura**. Hortaliças em revista, Embrapa Hortaliças. Ano 3, n. 13, 2014. 20 p
- RODRIGUES, P. Projeto estuda manejo de hortaliças em transição agroecológica. In: VIEIRA, J. V. et al. **Agricultura protegida: cooperação prevê avanços tecnológicos no cultivo protegido de hortaliças**. Hortaliças em Revista, Embrapa Hortaliças, ano IV, n. 17, 2015.
- RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).
- SALA F.C.; COSTA C.P. ‘Gloriosa’: Cultivar de alface americana tropicalizada. **Horticultura Brasileira** 26, p. 409-410, 2008.
- SALA, F. C.; COSTA, C. P. da. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Hortic. bras.**, v. 30, n. 2, 2012.
- SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 429-438, 2016
- SANTOS, H. G. do.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos.; OLIVEIRA, V. A. de.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de.; ARAÚJO FILHO, J. C. de.; OLIVEIRA, J. B. de.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- SANTOS, L. L.; SEABRA JUNIOR, S.; NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 8, n.1, p. 83- 93, 2010.
- SAS - Statistical Analysis System. **SAS Software**. Version 9.1. Cary, North Carolina: SAS Institute Inc., 1999.
- SCHULTZ, N.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; RODRIGUES, G. C. da. S.; COSTA, E. S. P.; PEREIRA, M. G. AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do. Produção de couve-flor em sistema plantio direto e convencional com aveia preta como planta de cobertura do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30107-30122, 2020.
- SHOKATI, B.; AHANGAR, A.G. Effect of conservation tillage on soil fertility factors: A review. **International Journal of Biosciences**. vol. 4, n. 11, p. 144-156, 2014.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 249-254, 1985.
- SILVA JUNIOR, A. A.; YOKOYAMA, S. Repolho: novas cultivares de verão. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 1, n. 3, p. 47-49, 1988.
- SILVA, A. P. da.; IMNHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Sci. Agric.**, v. 61, n. 4, p. 451-456, 2004.

- SILVA, L. B.; NODARI, I. D. E.; SEABRA JÚNIOR, S.; DIAS, L. D. E.; NEVES, J. F. Produção de alface sob diferentes sistemas de cultivo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v. 9, n. 16; p. 1742-1749, 2013.
- SOBRINHO, T. A.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.
- SOBUCKI, L.; RAMOS, R. F.; MEIRELES, L. A.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S. Contribution of enzymes to soil quality and the evolution of research in Brazil. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo** (online), v. 45, p. e0210109, 2021.
- SOUZA, C. F.; SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; COELHO, E. F. Monitoramento do teor de água no solo em tempo real com as técnicas de TDR e FDR. **Revista Irriga**, Edição Especial, 2016.
- SOUZA, R. F.; FIGUEIREDO, C. C.; MADEIRA, N. R.; ALCÂNTARA, F. A. Effect of management systems and cover crops on organic matter dynamics of soil under vegetables. **R. Bras. Ci. Solo**, 38:923-933, 2014.
- SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; RIENERT, D. J.; LIMA, C. L. R. de. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1159-1167, 2007.
- TABATABAI, M. A. Soil Enzymes. In: WEAVER CHAIR, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. **Methods of Soil Analysis: Part 2 Microbiological and Biochemical Properties**, 5.2. Madison, USA: Soil Science of America, editor. SSSA Book Series, 1994, p. 775-833.
- TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JUNIOR, J. J. Soil strength-root penetration relations for medium to coarse-textured soil materials. **Soil Sci.**, v. 102, p. 18-22, 1966.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. rev. e ampl. Porto alegre: Departamento de Solo, UFRGS. 1995, 174 p.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Ed. Téc.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.
- TORMENA, C. A. **Resistência à penetração e porosidade em plantio direto influenciado por preparo pré-implantação, calagem e tráfego**. Orientador: Glaucio Roloff. 1991. 163f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), 1991.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, 2002.
- VALARINI, P. J.; OLIVEIRA, F. R. A.; SCHILICKMANN, S. F.; POPPI, R. J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 485-491, 2011.
- VAN BRUGGEN, A. H. C.; SEMENOV, A. M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. **Applied Soil Ecology** 15, p. 13-24, 2000.



VEIGA, M. da.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Tillage systems and nutrient sources affecting soil cover, temperature and moisture in a clayey oxisol under corn. **Rev. Bras. Ciênc. Solo.**, v. 34, n. 6, 2010.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Soil density and root penetration, **Soil Sci.**, 65, 1948.

VEZZANI, F. B.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, 2009.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Orientador: João Mielniczuk. 2001. 195 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/72665/000311335.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 jun. 2021.

VEZZANI, F. M. Solos e os serviços ecossistêmicos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, número especial IV SMUD, 2015.

VICENTE, B.; PAWLOWSKI, E.; WENZEL, B. J.; KAISER, D. R. Estrutura e dinâmica da água do solo em sistema de manejo para produção de hortaliças. In: X JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 2020, Laranjeiras do Sul, PR (remoto). **Anais...** Laranjeiras do Sul, PR: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2020. v. 1.

WARKENTIN, B.P.; FLETCHER, H.F. Soil quality for intensive agriculture. Intensive Agriculture Society of Science, Soil and Manure. Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertilizer Management, National Institute of Agricultural Science, Tokyo, 1977. p. 594-598.

WEI, T.; TREUREN, R. v.; LIU, X.; ZHANG, Z. CHEN, J.; LIU, Y.; DONG, S.; SUN, P.; YANG, T.; LAN, T.; WANG, X.; XIONG, Z.; LIU, Y.; WEI, J.; LU, H.; HAN, S.; CHEN, J. C.; NI, X.; WANG, J.; YANG, H.; XU, X.; KUANG, H.; HINTUM, T. v.; LIU, X.; LIU, H. Whole-genome resequencing of 445 *Lactuca* accessions reveals the domestication history of cultivated lettuce. **Nature Genetics**, v. 53, p. 752–760, 2021.

WUTKE, E. B.; AMBROSANO, E. J.; RAZERA, L. F.; MEDINA, P. F.; CARVALHO, L. H.; KIKUTI, H. **Bancos comunitários de sementes de adubos verdes: informações técnicas**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007. 52 p.

YAALON, D. H. **Why soil – and soil science – matter?** Millennium essay. *Nature*, 407, Set 2000, p. 301.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; PAULUS, D.; ZIECH, M. F. Cultivo de alface em diferentes manejos de cobertura do solo e fontes de adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.9, p.948-954, 2014.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIEL, G. R.; COUTINHO, H. L. da. C.; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411, set./dez. 2003.