



C A P Í T U L O 7

PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS EM REGIÕES MONTANHOSAS DE SANTA CATARINA

Arcângelo Loss

Professor Associado
Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Bruna da Rosa Dutra

Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Paulo Henrique Câmara

Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Heitor Flores Lizarelli

Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Leonardo Khaoê Giovanetti

Universidade Federal de Santa Catarina
Doutorando do Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Jamil Fayad Abdala

Pesquisador
Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Marcelo Zanella

Extensionista
Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Cledimar Rogério Lourenzi
Professor Associado
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Paulo Emílio Lovato
Professor Associado
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

Jucinei José Comin
Professor Associado
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC

INTRODUÇÃO

Os ambientes de montanha apresentam vasta diversidade ecossistêmica, sendo grande parte dessa área ocupada predominantemente com agricultura familiar, e por isso vêm sendo estudados em busca do emprego de estratégias agroecológicas de manejo. Nesses ambientes, o relevo acidentado aumenta a susceptibilidade natural à erosão e a eventos relacionados a deslizamentos de terra (Ferreira *et al.*, 2018; Ferreira *et al.*, 2023).

Em Santa Catarina (SC), na região da Grande Florianópolis, a agricultura de montanha é expressiva e desenvolvida predominantemente em solos da classe dos Cambissolos, nos quais são cultivadas hortaliças, como chuchu (*Sechium edule*), moranga (*Cucurbita maxima*), cebola (*Allium cepa*), couve-flor (*Brassica oleracea* var. botrytis), brócolis (*Brassica oleracea* var. italica), mandioquinha salsa (*Arracacia xanthorrhiza* var. bancroft), entre outras. Além da declividade desses ambientes, chuvas intensas e temperaturas elevadas acima da média, como as que ocorrem em SC no verão, podem ocasionar degradação severa do solo e redução da produtividade das hortaliças. Em função disso, os agricultores que praticam a agricultura de montanha manejam cada vez mais suas áreas de acordo com os princípios do Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH), conciliando produtividade das hortaliças com preservação ambiental (Epagri, 2024).

O SPDH tem como alicerce o uso de cobertura viva ou morta permanente do solo, o revolvimento do solo restrito ao berço de plantio, a rotação de culturas, a promoção da saúde das plantas por meio da busca por redução de estresses ambientais sendo o parcelamento das adubações realizado de acordo com a demanda de nutrientes das culturas, e a redução ou até mesmo a ausência do uso de agrotóxicos (Figura 1).



Figura 1. Cultivo de couve-flor no SPDH em Angelina, SC, em área declivosa, com cobertura permanente do solo, que reduz a temperatura e favorece a infiltração da água no solo. Fonte: Epagri (2024).

No município de Angelina (SC) foram registrados 310 mm de chuva em quatro dias durante o mês de outubro de 2023, um dos meses em que SC registrou 400% a mais de precipitação do que o previsto para o período. Enquanto em lavouras que adotam o modelo de produção convencional de hortaliças com preparo convencional do solo, a redução da produtividade e as perdas de solo foram severas, em lavouras sob SPDH (Figura 1), mesmo sob temperaturas acima da média e chuvas intensas, não foram verificados os impactos negativos no rendimento das culturas nem a presença de erosão em áreas com elevada declividade (Epagri, 2024).

Em função da fragilidade do ambiente, o cultivo em áreas de montanha exige maior rigor quanto ao uso de práticas conservacionistas, a exemplo da sistematização do terreno e o emprego da cobertura permanente do solo com uso de plantas de cobertura implantadas e/ou espontâneas para propiciar melhorias das condições químicas, físicas e biológicas do ambiente produtivo.

Dessa forma, para iniciar o SPDH são necessárias diversas adequações do ambiente, começando pela: amostragem representativa do solo (0-10 e 10-20 cm de profundidade) para a avaliação da fertilidade do solo para a identificação da necessidade da realização de calagem e adubações de correção; a identificação

da presença de camada ou horizontes compactados no perfil do solo e se estes estiverem presentes é necessária a sua eliminação; a sistematização do terreno em áreas declivosas; a semeadura de coquetel de plantas de cobertura adaptadas à região, para posterior rolagem das coberturas; e por fim o plantio da hortalixa de interesse econômico.

Para identificar a camada compactada recomenda-se a abertura de uma trincheira de aproximadamente 50 x 40 x 40 cm e o uso de uma faca para avaliar a resistência do solo à penetração. Quando a resistência à penetração da ponta da faca for elevada, a camada tende a ser muito compactada. Essa avaliação também pode ser complementada com a observação da distribuição das raízes no perfil, pois a presença de uma camada compactada dificulta e/ou impede o enraizamento uniforme e em profundidade. Para eliminação dessa camada é recomendado o uso de um implemento que atinja adequadamente a camada a ser rompida. Maiores detalhes sobre a avaliação do perfil do solo para iniciar o SPDH e os procedimentos para adequação podem ser encontrados no Guia Prático de Avaliação Participativa da Qualidade do Solo em Sistema de Plantio Direto de Hortalixas (Comin *et al.*, 2020).

Quando for necessário realizar a sistematização do terreno para melhorar a conservação do solo e facilitar o plantio das hortalixas, das plantas de cobertura contidas no plano de rotação, dos tratos culturais e da colheita das plantas de interesse econômico, o procedimento mais utilizado é a construção de camalhão. Sempre que possível, recomenda-se sistematizar o terreno sem os camalhões para facilitar o manejo das plantas de cobertura com o rolo-faca e das plantas espontâneas com a roçadeira costal nas entrelinhas. Na sequência, deve-se realizar a semeadura das plantas de coberturas solteiras ou consorciadas para a produção de palhada que será depositada sobre a superfície e promovendo uma série de benefícios. Adicionalmente, o sistema radicular contribuirá na formação e proteção da estrutura do solo, além de melhorar a atividade da macro, meso e microfauna, dos micro-organismos, possibilitando uma maior incorporação de carbono no solo. No momento do transplante das hortalixas, as plantas de cobertura devem ser acamadas para proteger a superfície do solo.

No SPDH recomenda-se a adição de 10 Mg ha⁻¹ ano de massa aérea seca, via plantas de cobertura, como gramíneas e leguminosas, que podem ser cultivadas sozinhas ou consorciadas nos períodos de entressafra, atuando como promotoras da saúde do solo. Essa quantidade de matéria seca depositada na superfície do solo, favorece o aumento dos estoques de carbono do solo (Sa *et al.*, 2015; Câmara, 2022) e propiciam melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Fayad *et al.*, 2019).

Este capítulo busca demonstrar como o SPDH modifica os atributos químicos, físicos, biológicos e a produtividade de hortaliças cultivadas em regiões montanhosas de Santa Catarina em longo prazo.

CULTIVANDO HORTALIÇAS EM SOLOS COM RELEVO ACIDENTADO

Cultivo de couve-flor no SPDH e SPC

A couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) é uma importante hortaliça dentro da família das Brassicaceae, com mais de 3.500 espécies dentro dessa família (Rueda, 2013). No estado de SC, a produção de couve-flor é abrangente, com destaque para a região da Grande Florianópolis (Epagri 2019).

Dentre os métodos de manejo do solo para a produção dessa hortaliça destaca-se o Sistema de Preparo Convencional (SPC), que vem sendo contestado ao longo dos anos por conta dos desequilíbrios causados a partir de sua adoção quando relacionado à sustentabilidade ambiental, visto que resulta em perda de solo, de biodiversidade, contaminação ambiental, elevados custos de produção, além de aumentar a susceptibilidade a insetos e doenças (Fayad *et al.*, 2019; Sarandón; Flores, 2009). Por outro lado, o SPDH tem se tornado uma contraposição ao SPC para reduzir os impactos ambientais (Fayad *et al.*, 2019), sendo difundido tanto como para a produção de couve-flor como para as mais diversas hortaliças, por oportunizar um escalonamento diversificado de cultivos em uma mesma área, o uso de plantas de cobertura e, conseqüentemente, o incremento de nutrientes e matéria orgânica do solo (MOS) (Müller Júnior *et al.*, 2019).

Em experimento conduzido em propriedade rural, em Angelina (SC), em área com relevo acidentado, Dutra (2023) avaliou os atributos químicos e físicos do solo e a produtividade da couve-flor cultivada no SPDH e SPC (Figura 2). No SPC, o solo foi submetido à aração, gradagem e enxada rotativa, o que resultou em aumento da germinação do banco de sementes e na flora vegetativa do solo. Já no SPDH, a couve-flor foi plantada após o cultivo de plantas de cobertura, que incluíram aveia-preta no inverno seguido de mucuna e milheto no verão, com a movimentação do solo restrito à linha de plantio. A adubação química foi realizada igualmente em ambas as áreas, com NPK (15-00-15) seguindo as recomendações para a couve-flor (CQFS-RS/SC, 2016). No estudo citado (Dutra, 2023), a produtividade de couve-flor foi 36% maior no SPDH (25,1 Mg ha⁻¹) em comparação ao SPC (18,4 Mg ha⁻¹) em função da produção da matéria seca depositada sobre o solo (com a utilização da aveia-preta seguida do consórcio milheto + mucuna nesse sistema), que favoreceu a ciclagem de nutrientes e maior conteúdo de água no solo, refletindo em melhores

condições químicas e físicas do solo em comparação ao SPC, que não faz uso de plantas de cobertura e de práticas conservacionistas de manejo do solo.



Figura 2. Área de experimento com couve-flor em sistema de preparo convencional (SPC) e em plantio direto (SPDH) conduzido no município de Angelina/SC. Fonte: Dutra (2023).

A cobertura do solo e a presença de resíduos vegetais ou de plantas vivas sobre o solo, principalmente em ambientes de montanha, melhoram o ambiente edáfico (Robacer *et al.*, 2016; Scopel *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2021) e proporcionam a redução ou mesmo a supressão do desenvolvimento de plantas espontâneas (Comin; Ferreira *et al.*, 2018; Robacer *et al.*, 2016; Scopel *et al.*, 2013). O uso de plantas de cobertura é uma alternativa à utilização de herbicidas para o eminente controle de plantas espontâneas (Souza *et al.*, 2019), pela liberação de alelopáticos ou pelo efeito físico da palhada (Khan *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2019).

Em relação aos teores de carbono (C) e nitrogênio (N), Bayer *et al.* (2011) evidenciaram que o preparo do solo e o sistema de cultivo interferem diretamente nos estoques de C e N, considerando ainda que em casos de implementação de plantio direto ou a mínima mobilização do solo no cultivo mínimo, tem-se a estabilização de C e N no solo. No experimento conduzido em Angelina, Dutra (2023) encontrou maiores teores de C no SPDH, nas camadas 0-5, 5-10 e 10-30 cm, sendo 52,7; 34,3; e 29,8 g kg⁻¹ no SPDH e 28,6; 26,8; e 27,5 g kg⁻¹ no SPC, respectivamente. Os teores de N também foram superiores no SPDH nas camadas 0-5, 5-10 e 10-30 cm, sendo 4,82; 3,02; e 2,53 g kg⁻¹ no SPDH e 2,60; 2,31; e 2,30 g kg⁻¹ no SPC, respectivamente.

Os menores valores de C e N encontrados no SPC (Dutra, 2023) são consequência do constante revolvimento do solo por meio de práticas convencionais de manejo, como aração e gradagem, que levam à ruptura dos agregados do solo, e assim

potencializam a mineralização de resíduos vegetais e as perdas de C e N para a atmosfera em forma de CO₂ e óxido nitroso (Câmara, 2022; Comin; Ferreira *et al.*, 2018; Giumbelli *et al.*, 2021).

Em relação aos atributos físicos do solo, Dutra (2023) também encontrou os menores valores de diâmetro médio geométrico (DMG) no SPC em comparação ao SPDH, em todas as camadas avaliadas. Esses valores estão associados aos processos de preparo do solo que foram utilizados no manejo desse tratamento, uma vez que tanto a aração como a gradagem promovem a quebra/rompimento dos macroagregados, causando redução significativa dos seus índices de agregação (Bayer *et al.*, 2004; Giumbelli *et al.*, 2021; Loss *et al.*, 2015).

Para a densidade do solo (Ds), os menores valores foram encontrados no SPDH (0,91 e 1,0 Mg m⁻³) nas camadas 0-5 e 5-10 cm (Dutra, 2023). Os menores valores de Ds observados no SPDH estão associados à melhoria na estrutura do solo, como observado pelos maiores valores de DMG dos agregados e maiores teores de C e N, o que promove a diminuição da Ds. Além disso, no SPDH verifica-se a presença de plantas de cobertura sobre o solo que possuem características tanto de desenvolvimento aéreo como radicular ao longo do calendário agrícola. Dessa forma, as plantas de cobertura exploram o solo e adicionam C, o que aumenta o DMG e diminui a Ds em comparação ao SPC. Menores valores de Ds são indicativos de menor compactação do solo, e dessa forma significam em aumento na aeração e na capacidade de retenção e infiltração de água nesses solos (Guedes Filho *et al.*, 2013).

Os resultados do estudo conduzido por Dutra (2023) destacam a importância do SPDH em ambientes de montanha como uma alternativa sustentável e eficaz para o cultivo da couve-flor, proporcionando benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a produtividade agrícola.

Cultivo de cebola no SPDH e SPC

Atributos químicos e físicos e produtividade de cebola

A cebola (*Allium cepa* L.) é amplamente cultivada e consumida em todo o mundo. Santa Catarina é responsável por um terço da produção nacional da hortaliça, com destaque para a região do Alto Vale do Itajaí, onde as lavouras são conduzidas majoritariamente por agricultores familiares (EPAGRI/CEPA, 2021; IBGE, 2020). Nessa região, o principal sistema de cultivo ainda é o SPC, que quando adotado para o cultivo da cebola também propicia consequências negativas para a qualidade do solo e ocasiona a desagregação intensa e perda de solo por erosão hídrica e eólica, além de favorecer a redução dos teores de nutrientes e MOS (Giumbelli *et al.*, 2021; Loss *et al.*, 2017).

Para contornar essa situação, parte dos produtores de cebola já vem utilizando o SPDH. Esse sistema impacta significativamente os estoques de C e N no solo (Câmara, 2022; Comin; Vilanova *et al.*, 2018; Giumbelli *et al.*, 2021; Loss *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2017). Em experimento de longo prazo conduzido em Ituporanga (SC), em um Cambissolo Húmico sob relevo ondulado, foi comparada a eficácia do SPDH com o SPD e SPC no cultivo dessa hortaliça após 14 anos. Os resultados indicaram que o SPDH associado à sucessão de plantas de cobertura fixadoras de nitrogênio, como a mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), em consórcio com plantas de alta produtividade de massa seca, como o milho (*Pennisetum americanum* L.), promoveu a formação de um ambiente favorável à manutenção da fertilidade do solo ao longo do tempo, o que também contribuiu para o aumento da produção de bulbos de cebola e a redução no uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Câmara, 2022). Esse estudo foi implantado em 2007 em Ituporanga e envolveu a semeadura de um mix de sementes que incluíram aveia preta (*Avena strigosa*), ervilhaca peluda (*Vicia villosa*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) cobrindo a área designada, conforme ilustrado na Figura 3.

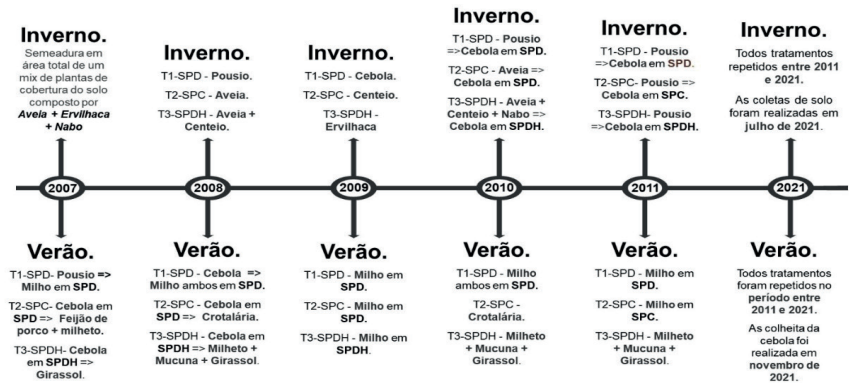


Figura 3. Linha do tempo com descrição dos cultivos ao longo de 14 anos de experimento com cebola em Ituporanga (SC). Espécies vegetais: aveia preta (*Avena strigosa*), cebola (*Allium cepa* L.), centeio (*Secale cereale* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa*), feijão de porco (*Canavalia ensiformis* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), milho (*Zea mays* L.), milho (*Pennisetum americanum* L.), mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*) e Nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). T1-SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; T2-SPC - sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas, porém a partir de 2011, em sistema de preparo de convencional do solo; e T3-SPDH - sistema de plantio direto, utilizando para produção de palhada, o consórcio de coberturas de verão (milho, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente.

A partir do ano de 2011, o sistema de rotação do tratamento T2 do experimento citado anteriormente foi modificado, sendo adotada a sucessão de culturas e introduzido o SPC, passando a receber uma aração e duas gradagens antes do transplante das mudas de cebola para efeito de comparação com os demais tratamentos em SPDH e SPD. Os tratamentos foram planejados para representar os sistemas predominantes na produção de cebola na região. Verificou-se que a produção de massa seca das plantas de cobertura nos tratamentos sob SPDH e SPD produziram 10,9 e 10,5 Mg ha⁻¹ de massa seca, respectivamente, superando as 10 Mg MS ha⁻¹ preconizadas no SPDH. Por outro lado, o tratamento sob SPC acumulou 4,2 Mg ha⁻¹. Apesar desse valor ser inferior aos demais tratamentos, isso reflete a elevada biomassa produzida pelo milho, cultivado antes da cebola, e sua capacidade de permanecer no solo por um extenso período após o corte. Nota-se que, mesmo após a incorporação realizada durante o preparo do solo, essa quantidade considerável de MS permaneceu na superfície da área.

De acordo com os resultados encontrados por Câmara (2022), após 14 anos de experimentação com a cebola, os maiores teores de carbono orgânico total (COT) foram encontrados no tratamento sob SPDH, em todas as camadas analisadas, com exceção da camada 5-10 cm, onde não houve diferença em comparação ao tratamento SPD (Tabela 1).

Tabela 1. Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) em diferentes camadas do solo nos tratamentos Sistema de Plantio Direto (SPD), Sistema de Preparo Convencional (SPC) e Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH), em experimento com cebola em Ituporanga (SC), no ano de 2021

Tratamentos	COT (g kg ⁻¹)			NT (g kg ⁻¹)		
	Camadas (cm)					
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30
SPD	28,43 b	27,57 ab	21,34 b	3,03 b	2,85 a	1,91 a
SPC	27,45 b	25,63 b	21,23 b	2,25 c	2,13 b	1,70 b
SPDH	42,63 a	30,42 a	23,23 a	4,12 a	2,81 a	1,87 ab
CV%	3,0	6,6	4,5	2,0	6,9	6,9

As médias dos tratamentos seguidas de letras iguais não diferem pelo teste t (LSD) a 5% de significância. Fonte: Câmara (2022).

Os menores teores de COT encontrados no SPC são resultantes do revolvimento periódico do solo que promove a ruptura da sua estrutura e aumenta a mineralização dos resíduos vegetais e da MOS, o que resulta em maior perda do C para a atmosfera na forma de CO₂ (Câmara, 2022; Comin; Ferreira *et al.*, 2018; Giumbelli *et al.*, 2021).

A similaridade entre os teores de COT dos tratamentos SPC e SPD é resultado das sucessivas incorporações dos resíduos vegetais do milho no SPC (de 2007 a 2021), os quais têm uma elevada relação C:N, o que favorece a imobilização de nutrientes, com decomposição lenta dos resíduos vegetais, ocorrendo o aumento dos teores de C no solo de forma similar ao verificado no SPD.

Devido à fixação de nitrogênio promovida por bactérias associadas à mucuna-preta, o tratamento SPDH recebeu uma adubação nitrogenada 25% menor que os tratamentos SPD e SPC. Ainda assim, ao longo dos anos de experimento, no SPDH foram verificados teores de nitrogênio total (NT) superiores aos demais tratamentos na camada de 0-5 cm (Tabela 1). Nas camadas de 5-10 cm e 10-30 cm, os teores de NT nos tratamentos SPDH e SPD não apresentaram diferenças, enquanto no SPC os valores foram menores em todas as profundidades. Esses resultados podem ser atribuídos à presença da leguminosa como planta de cobertura de verão no SPDH. A mucuna possui elevada capacidade de fixação biológica de nitrogênio, estimada em 185 kg ha⁻¹ ano (Alvarenga *et al.*, 2001; Silva, 2020), o que favorece a maior concentração de nitrogênio na camada superficial do solo em função da decomposição e mineralização do material vegetal (Comin; Vilanova *et al.*, 2018). Os teores mais baixos de nitrogênio, na camada superficial, observados nos tratamentos em SPD e SPC, onde a palhada de milho predomina como resíduo vegetal, são atribuídos à liberação lenta dos nutrientes da biomassa vegetal na superfície do solo (Câmara, 2022). A alta relação C:N da palhada do milho retarda a disponibilização do nitrogênio, o que promove a imobilização do nutriente na biomassa (Santos *et al.*, 2014; Siqueira-Neto *et al.*, 2010).

Ainda nesse experimento, Câmara (2022) também verificou que o tratamento sob SPDH apresentou um DMG superior ao do SPC em todas as camadas analisadas, e foi maior que o valor encontrado para o tratamento SPD na camada superficial. Quanto à Ds, os menores valores foram observados no SPDH (0-10 cm), em comparação aos tratamentos SPD e SPC, que não apresentaram diferenças entre si nessas camadas. Os menores valores de Ds e maiores de DMG no SPDH na área de cultivo de cebola em ambiente de relevo ondulado são decorrentes do manejo adotado, com consequente aporte de biomassa seca sobre o solo e ausência de revolvimento em área total. Isso aumenta os teores de COT e NT (Tabela 1), com reflexos positivos na qualidade do solo e na produtividade da cebola.

Em experimento manejado sob SPDH na cultura da cebola com sucessão ou rotação de culturas, em comparação ao SPC de cebola, Comin, Vilanova *et al.* (2018) constataram que o SPDH gera alta estabilidade de agregados no solo, com predomínio de macroagregados, independente do sistema de sucessão ou rotação de culturas utilizado. Isso gera flexibilidade ao produtor de adotar uma sucessão ou rotação de culturas que for mais interessante para ele.

Segundo Câmara (2022), a produtividade média de cebola no SPDH alcançou 40,9 Mg ha⁻¹, superando os demais tratamentos. Os tratamentos SPD e SPC apresentaram resultados similares, com 34,8 e 33,6 Mg ha⁻¹, respectivamente. O aumento na produtividade no SPDH pode ser atribuído aos benefícios de uma maior produção de MS proveniente do consórcio mucuna-milheto-girassol, assim como ao aumento nos teores de N nesse tratamento, decorrente da fixação biológica associada à mucuna. O nitrogênio é o nutriente mais exigido pela cebola (Kurtz *et al.*, 2012). Embora a aplicação de N tenha sido reduzida de 160 para 120 kg ha⁻¹ no SPDH, não houve diminuição na produtividade; pelo contrário, mesmo com uma dose de N mineral 25% menor em comparação aos outros tratamentos, o SPDH registrou uma produtividade média 20% superior à dos sistemas SPD e SPC. Isso evidencia a importância do uso de plantas fixadoras de nitrogênio, especialmente a mucuna-preta, nos cultivos de cobertura de solo.

O SPDH, empregando o consórcio de milheto, mucuna-preta e girassol para a produção de massa seca proporcionou maior eficiência na melhoria dos atributos químicos e físicos do solo. Na produção de cebola, o SPDH alcançou uma produtividade 18% superior ao SPD e 22% ao SPC, valores que ganham destaque diante da economia de 25% no uso de nitrato de amônio (Câmara, 2022). Dessa forma, destaca-se que o SPDH oferece benefícios econômicos e ambientais.

Atributos biológicos: enzimas e fungos micorrizicos arbusculares

O solo é um ambiente dinâmico e vivo que abriga diversos processos biológicos essenciais para a produção de alimentos, como a decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, controle de pragas e doenças, formação de agregados e a produção de diversos compostos químicos, e isso está relacionado aos organismos que ali residem (Moreira *et al.*, 2013). Um grama de solo abriga de 10⁷ a 10⁹ células vivas, com destaque às bactérias que representam o maior número de indivíduos, e os fungos que constituem a maior parte da biomassa microbiana do solo (Moreira; Siqueira, 2006). Compreender a atividade biológica, através de indicadores, é importante para a sustentabilidade no agroecossistema. Diante disso, a biomassa microbiana, a atividade enzimática e a diversidade de micro-organismos ganham destaque pela sensibilidade diante de modificações ambientais e representatividade da atividade biológica (Matsuoka *et al.*, 2023).

A biomassa microbiana, a maior parte da fração viva da MOS, inclui a microfauna e os micro-organismos (Dionísio *et al.*, 2016). As enzimas são proteínas catalisadoras que promovem reações químicas no meio sem alterações permanentes de sua estrutura, e no solo são produzidas pela microfauna e micro-organismos, principalmente na região rizosférica, e atuam diretamente na ciclagem de nutrientes e a decomposição

da palhada (Dick; Tabatabai, 1992). Por sua vez, o conhecimento da diversidade dos micro-organismos presentes no ambiente é importante pelas diferentes funções que exercem e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis.

A atividade enzimática no solo, derivada da ação microbiana, facilita funções cruciais, como decomposição orgânica, liberação de nutrientes e estabilização do solo (Bandyopadhyay; Maiti, 2021). Essa atividade é influenciada por fatores abióticos, como características edafoclimáticas e propriedades do solo, por práticas agrícolas, como cultivo de plantas de cobertura e rotação de cultivos, e pela matéria orgânica do solo (Falcão *et al.*, 2013; Frincu *et al.*, 2015).

As enzimas comumente utilizadas como referência de indicadores da qualidade do solo de agroecossistemas são a β -glicosidase (EC 3.2.1.21)¹, a urease (EC 3.5.1.5)¹, a fosfatase ácida (EC 3.1.3.2)¹, a arilsulfatase (EC 3.1.6.2)¹ e aquelas associadas ao diacetato de fluoresceína (209-877-6)¹ (Pandey; Agrawal; Bohra, 2014; Sherene, 2017).

A β -glicosidase, produzida por fungos e plantas, está envolvida no ciclo do carbono no solo, e essa função bioquímica traz em si uma relevante relação entre a atividade microbiológica do solo com a crise climática contemporânea de aquecimento global, visto que a eficiência do uso de carbono por micro-organismos é um fator determinante para o armazenamento do carbono orgânico do solo e assume papel fundamental como sumidouro de carbono (Tao *et al.*, 2023).

A urease, amplamente presente na natureza, catalisa a hidrólise da ureia em gás carbônico (CO_2) e amônia (NH_3), com métodos de quantificação baseados na liberação de NH_4^+ (Dick; Breakwell; Turco, 1996; Tabatabai, 1994).

As fosfatases, ácidas ou alcalinas, são produzidas por micro-organismos e plantas e estão relacionadas ao ciclo do fósforo, catalisam a quebra de ésteres de fosfato orgânico e o transformam em formas assimiláveis pelas plantas e outros organismos. Sua atividade varia conforme o pH do solo e pode ser diminuída por doses altas de fertilizantes ricos em PO_4^{3-} (Dick; Breakwell; Turco, 1996).

A arilsulfatase é comum no solo e, geralmente, é excretada por bactérias em solos com baixo teor de enxofre, realizando a mineralização do enxofre no solo e liberação de sulfato assimilável pelas plantas (Tabatabai; Bremner, 1970).

A hidrólise do Diacetato de Fluoresceína (DAF) destaca-se por indicar de maneira ampla a atividade enzimática do solo, visto que é produzida por vários micro-organismos e é hidrolisada por várias enzimas, como lipases, proteases e esterases, indicando assim, de maneira geral, a atividade microbiana do solo (Tabatabai, 1994).

¹ Classificação da enzima a partir da Comissão de Enzimas (EC), de acordo com a função enzimática (o primeiro número distingue 1-oxiredutases, 2-transferases, 3-hidrolases, 4-liases, 5-isomerases e 6-ligases) (Zheng *et al.*, 2018).

O manejo adotado no agroecossistema desempenha um papel fundamental nas alterações do solo, que pode ter impactos significativos no crescimento saudável das plantas. O redesenho de monocultivos sob SPC para sistemas de cultivo integrados com plantas de cobertura em rotação eleva os indicadores biológicos de qualidade do solo, com destaque para o SPDH.

O manejo em SPDH traz consigo diversos benefícios, principalmente à fase orgânica e solúvel do solo, reduz a amplitude da temperatura do solo, reduz escoamento superficial, erosão e lixiviação de nutrientes. Ainda, quando praticado de forma contínua, com geração de biomassa adequada (superiores a $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Fayad *et al.*, 2019), é capaz de elevar e estabilizar os teores de MOS, o que impacta diretamente na comunidade microbiológica e, consequentemente, nos indicadores do solo e na produtividade do sistema.

Esse padrão não é diferente em condições de agricultura de montanha. No município de Ituporanga, em áreas de plantio de cebola em SPDH por nove anos, foi observado o aumento no rendimento da cultura de 10 Mg ha^{-1} para $19\text{-}24 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Souza *et al.*, 2021) (Figura 4).



Figura 4. Área experimental de SPDH de cebola em Ituporanga (SC). a) Área de SPDH de cebola de longo prazo em novembro, momento da coleta da cebola e desenvolvimento do cultivo de verão (feijão), ainda observa-se a permanência da palhada produzida no inverno (aveia-preta); b) Área de SPDH de longo prazo em março, com mucuna-preta, opção de planta de cobertura de verão.

O uso de plantas de cobertura, solteiras ou consorciadas, influencia a atividade biológica do solo e isso pode ser estudado a partir dos indicadores já citados. Em área manejada com SPDH por oito anos em Ituporanga (SC), pousio e o SPC de cebola, verificou-se a redução de cerca de 20% no carbono microbiano no SPC em comparação as plantas de cobertura no inverno (Bortolini, 2022). Ao mesmo tempo, nas áreas com SPD e SPDH com pousio no inverno observou-se maiores níveis de respiração microbiana. Isso resultou em maiores quocientes de respiração (qCO_2) e a razão entre respiração e biomassa nestes últimos tratamentos foi até oito vezes maior que nos tratamentos com plantas de cobertura. O qCO_2 é um indicador de estresse da microbiota do solo, e aponta para uma maior degradação e, portanto, menor acúmulo de MOS. Nesse mesmo trabalho, a atividade de DAF avaliada no solo no período do transplante da olerácea foi reduzida a níveis entre metade e um terço pelo pousio e o SPC em comparação à presença das plantas de cobertura. Ainda nessa área experimental, após a condução da cebola por 13 anos em SPDH foi observado que a atividade da DAF nos tratamentos com presença de plantas de cobertura (aveia-preta ou nabo-forrageiro) foi superior ao pousio em até 52% (Tabela 2) no florescimento das plantas de inverno. Isso está relacionado à maior atividade biológica promovida pela presença das plantas de cobertura (Feng *et al.*, 2021).

Tabela 2. Atividade de diacetato de fluoresceína (DAF) ($mg\ g^{-1}\ solo^{-1}\ h^{-1}$) em solo coletado em diferentes períodos com distintas sucessões de plantas em SPDH de longo prazo

Sucessão de plantas em SPDH	Florescimento das Plantas de Cobertura de Inverno
	Atividade DAF ($mg\ g^{-1}\ solo^{-1}\ h^{-1}$)
Aveia-preta (AV)/Cebola/Mucuna	35,8 a
Nabo-forrageiro (NF)/ Cebola/Mucuna	41,8 a
AV/Cebola/Soja	37,9 a
Pousio/Cebola/Mucuna	27,5 b
Pousio/Cebola/Milho	27,5 b
CV(%)	27,0

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si para Scott-Knott ($p < 0,05$). Fonte: Bortolini (2022).

A diversidade microbiana é essencial para as funções biológicas do solo, e no cultivo da cebola isso é ainda mais relevante visto que essa cultura possui sistema radicular concentrado na parte superficial do solo (Fayad *et al.*, 2019), o que pode limitar a exploração do solo em busca de recursos essenciais para o seu desenvolvimento. Com isso, há uma comunidade de fungos benéficos no solo que

se associam à hortalica e promovem benefícios ao sistema, denominados fungos micorrízicos arbusculares (FMA), simbioses obrigatórios, que se relacionam com mais de 80% das famílias de vegetais (Moreira; Siqueira, 2006).

O SPDH faz uso de plantas de cobertura, rotação de cultivos e um restrito revolvimento do solo, práticas que podem beneficiar a ação dos FMA no sistema (Ventura, 2022). Entretanto, ainda é pouco conhecido como se estrutura a comunidade de FMA nos sistemas agrícolas (Powell; Rillig, 2018). Ao avaliar a diversidade desses fungos em SPDH de cebola conduzido por nove anos com o uso de centeio e nabo-forrageiro solteiros e o consórcio entre eles, Ventura (2022) identificou, respectivamente, 11 e 21 espécies distintas de FMA nos tratamentos solteiros e no consórcio, a partir da morfologia de esporos (estrutura de reprodução dos fungos). Em ambos os tratamentos foi verificada a dominância de *Glomus* sp., *Funneliformis mossae*, *F. geosporum* e *Claroideoglomus etunicatum*. No mesmo ano, após o cultivo da cebola, foram encontradas, respectivamente, 15, 16 e 13 espécies de FMA nos tratamentos com histórico de centeio, nabo-forrageiro e no consórcio entre elas, o que demonstra a ação das plantas cultivadas na comunidade fúngica do agroecossistema, e nesse momento, quando em todos os tratamentos havia o cultivo da cebola ocorreu a homogeneização das espécies de FMA.

Outro aspecto que vem se destacando nos estudos de diversidade microbiana é o uso de abordagens moleculares que permitem uma ampla identificação com precisão da comunidade presente no ambiente (Gorzelak *et al.*, 2012). Em áreas de SPDH com cultivo de cebola por treze anos com aveia-preta e nabo-forrageiro solteiros e consorciados, e o pousio no inverno foram identificadas 75 unidades taxonômicas operacionais (OTU), com predominância dos gêneros *Glomus* (76%), *Claroideoglomus* (17%), *Acaulospora* (4%), *Diversispora* (2,2%), *Gigaspora* (0,5%) e *Paraglomus* (0,3%) (Giovanetti, 2022). O trabalho citado também destaca o efeito das espécies cultivadas nessa comunidade, visto que, ao final do inverno os tratamentos com plantas de cobertura apresentaram os gêneros *Glomus*, *Claroideoglomus*, *Acaulospora*, *Diversispora* e *Paraglomus*, enquanto, na área de pousio, além desses também foi observada *Gigaspora*, provavelmente pela diversidade de espécies espontâneas. Nesse mesmo trabalho foram quantificados o número de esporos e a fração de glomalina total, observando-se que após o cultivo de aveia-preta, planta de cobertura que estimula a associação com fungos micorrízicos, o número de esporos foi duas vezes maior que o encontrado no tratamento com nabo-forrageiro, planta que não estimula a associação com micorrizas, e também na área de pousio. Com relação à glomalina, glicoproteína produzida pelos FMA que ajuda na agregação do solo, nas áreas com o uso de aveia-preta foram verificados teores 13 e 25% superiores em comparação às de nabo-forrageiro solteiro e ao pousio, o que também demonstra a importância da seleção de espécies no sistema de plantio direto para o favorecimento da atividade micorrízica no ambiente (Bortolini *et al.*, 2021; Ventura *et al.*, 2022).

Cultivo de chuchu no SPDH e SPC

O chuchu (*Sechium edule*), da família das Cucurbitaceae, está entre as dez hortaliças mais consumidas no Brasil, que é o maior produtor mundial. Em Santa Catarina o chuchu é cultivado exclusivamente por agricultores familiares, sendo que a maior parte da produção se concentra na região da Grande Florianópolis, com destaque para os municípios de Antônio Carlos e Anitápolis, em que envolve aproximadamente 120 famílias com 170 ha cultivados, com produtividade média de 30 t ha⁻¹ ano⁻¹ em áreas manejadas em SPC, que ainda é o sistema predominante para o cultivo.

A adoção do SPDH no chuchu em agricultura de montanha tem se mostrado uma estratégia eficaz para a sua produção sustentável. Essa prática ajuda a preservar a estrutura do solo, reduz a erosão e promove a retenção de água, fatores cruciais em regiões subtropicais com chuvas frequentes e, especialmente, com relevo ondulado (Figura 5). Além disso, o emprego do SPDH no cultivo do chuchu contribui para a diminuição do uso de agroquímicos, pois a cobertura vegetal da palhada funciona como uma barreira natural contra plantas espontâneas. Esse manejo mais sustentável do solo beneficia não apenas o ambiente, mas também a saúde dos agricultores e a qualidade do produto final.



Figura 5. Cultivo de chuchu de longo prazo em Anitápolis, região da Grande Florianópolis, SC em agricultura de montanha. Foto: Marcelo Zanella.

O SPDH proporciona a redução da necessidade de preparo do solo e o menor uso de insumos agrícolas, o que resulta em economia de tempo e recursos financeiros para os produtores e, com isso, proporciona vantagens econômicas significativas. Além disso, a melhoria na estrutura do solo e o maior conteúdo de água no solo ocasiona maior produtividade ao longo do tempo, garantindo colheitas mais consistentes e rentáveis. Em relação à produtividade, a adoção do SPDH no cultivo do chuchu elevou a média de produtividade para aproximadamente 70 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e já atingiu 110 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Marcelo Zanella, Comunicação Pessoal).

A adoção do SPDH nessa horta em áreas com relevo ondulado proporciona uma série de benefícios para a saúde e a qualidade do solo, como o aumento nos teores de MOS, a melhoria da estrutura, a redução da erosão e a promoção da atividade biológica. No entanto, é essencial um manejo cuidadoso e adaptado às condições locais para maximizar esses benefícios e minimizar os impactos negativos potenciais, especialmente relacionados ao relevo das áreas de cultivo de montanha.

Em área cultivada com chuchu no SPDH em Anitápolis, SC, foi observado que esse sistema favoreceu o aumento dos estoques de COT e NT, especialmente nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, quando comparado ao SPC (Tabela 3).

Tabela 3. Atributos químicos do solo em áreas manejadas sob sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) e sistema de preparo convencional (SPC), com cultivo de chuchu, e uma área de mata, em Anitápolis, SC

Atributos	SPDH (15 anos)			SPC (+ de 15 anos)			MATA		
	Camada de solo, cm								
	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30	0-5	5-10	10-30
pH ¹	5,54	5,28	5,45	5,44	5,49	5,39	4,19	4,55	4,93
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	5,44	3,25	10,79	3,47	9,69	3,27	10,93	11,99	12,91
K (mg kg ⁻¹) ²	120,00	70,00	30,00	123,33	106,67	100,00	83,33	46,67	30,00
P (mg kg ⁻¹) ²	278,18	243,01	59,61	454,32	511,16	322,56	14,58	30,70	8,36
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ³	0,06	0,11	0,26	0,08	0,09	0,11	3,81	4,86	4,42
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ³	2,27	2,08	1,32	2,31	2,30	1,89	0,06	0,01	0,01
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ³	2,26	1,78	1,16	1,55	1,40	1,48	0,09	0,09	0,06
CTC _{ef.} (cmol _c dm ⁻³) ⁴	4,89	4,15	2,82	4,26	4,06	3,73	4,17	5,07	4,56
CTC _{pH7,0} (cmol _c dm ⁻³) ⁴	10,28	7,30	13,35	7,64	13,66	6,89	11,29	12,21	13,05
COT (g kg ⁻¹) ⁵	41,94	32,82	21,75	31,92	29,93	24,00	76,22	49,92	39,59
NT (g kg ⁻¹) ⁶	4,22	3,28	2,26	3,33	3,06	2,38	6,05	4,55	3,74
DS (g cm ⁻³) ⁷	1,19	1,26	1,33	1,20	1,22	1,27	0,76	0,86	1,02
S (cmol _c dm ⁻³) ⁴	4,83	4,05	2,56	4,18	3,97	3,62	0,37	0,22	0,14

m (%) ⁴	1	3	10	2	2	3	91	96	97
V (%) ⁴	54	55	24	55	35	52	5	2	2
Est. C (ton ha ⁻¹)	24,70	19,92	54,60	18,45	17,81	57,14	26,90	18,62	76,21
Est. N (ton ha ⁻¹)	2,48	1,99	5,68	1,92	1,82	5,67	2,14	1,70	7,19

(¹)pH em água, relação solo:água de 1:1; (²)Extraídos com extrator Mehlich 1; (³)Extraídos com o extrator KCl 1 mol L⁻¹; (⁴)calculados conforme CQFS-RS/SC (2016); (⁴)S: soma de bases; (⁴)m: saturação da CTC_{ef} por Al³⁺; (⁴)V: saturação por bases na CTC_{pH7,0}; (⁴)S: soma de bases; (⁵)COT: Carbono orgânico total determindo por oxidação com dicromato de potássio; (⁵)COT: carbono orgânico total; (⁶)NT: nitrogênio total; (⁷)DS: densidade do solo.

Observam-se altos teores de P e K nas áreas manejadas sob SPC (Tabela 3), acima dos preconizados para o chuchu (CQFS-RS/SC, 2016). Isso ocorre pelo uso intensivo de fertilizantes solúveis e cama de frango, produto muito utilizado nessas áreas, e como consequência podem ocorrer desequilíbrios nutricionais na cultura, deixando-a mais vulnerável ao ataque de pragas e doenças. Quanto aos teores de P nas áreas manejadas em SPDH, esses também foram considerados muito elevados devido ao histórico de adubações anteriores à adoção do SPDH. Dessa forma, reduzir as doses ou não aplicar fertilizantes em solos com elevados teores de nutrientes é uma das principais práticas adotadas no cultivo de chuchu sob SPDH, visando maximizar a lucratividade, promover a saúde das plantas, melhorar a qualidade do solo e ambiental, além de promover a saúde do agricultor e de todos os atores envolvidos.

Cultivo da mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza* var. Bancroft)

Cultivo no SPDH na agricultura de montanha

O cultivo da mandioquinha-salsa em regiões de agricultura de montanha, principalmente na comunidade de Rio Fortuna, município de Angelina (SC), teve início no final da década de 1990 sob SPC, com intensa movimentação do solo e uso de agroquímicos, com ênfase nas doses de NPK, fungicidas e inseticidas. Tal manejo implicava elevados custos econômicos e ambientais. Diante dessa problemática, em meados da década de 2000, a equipe de extensionistas e pesquisadores da Epagri, conjuntamente com professores e alunos do Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia (NEPEA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) iniciaram trabalhos com o método do SPDH (Figura 6).

(A)



(B)



Figura 6. Áreas de mandiocinha-salsa manejadas no SPDH em fase inicial de desenvolvimento (A) e em fase de colheita (B), conduzidas em agricultura de montanha, objetivando a transição agroecológica com aumento da produtividade e baixo custo econômico e ambiental na comunidade de Rio Fortuna, Angelina, SC. Fotos: Marcelo Zanella.

Em experimentos conduzidos nos anos de 2012 e 2013 para determinar o acúmulo de matéria seca e sua partição, foi observado na produção de um total de $636 \text{ g planta}^{-1}$, que foram distribuídos nas folhas, nos perfilhos e na raiz nas quantidades de 165 g, 255 g e 216 g, respectivamente. O total de raízes comercializáveis chegou a $927 \text{ g planta}^{-1}$, colhidos aos doze meses de idade.

Resultados obtidos nas lavouras de estudos relacionando o pH com saúde de planta indicou que a mandiocinha é acidófila, desenvolvendo-se com mais saúde em pH na faixa de 5,3 a 5,8. Paralelamente, em Ituporanga, SC, foi determinada a dinâmica do acúmulo de nutrientes na mandiocinha, apresentando o total absorvido de N, P, K, Ca e Mg de 10,1; 1,64; 23,35; 1,91; e 6,41 g planta^{-1} , respectivamente. Para Fe, Mn, Zn, Cu e B os acúmulos foram de 82,8; 3,76; 11,5; 5,9; e 5,1 mg planta^{-1} , respectivamente. Observou-se que as TMA (Taxa Mensal de Absorção) acompanharam as taxas de crescimento mensais (R) e, consequentemente, as TMA_{max} também coincidiram com as máximas de acúmulo mensal de matéria seca que ocorreram no décimo mês após o plantio da muda com $258 \text{ g planta}^{-1}$. Para o N, P, K e Mg também ocorreu no décimo mês e para Ca no nono mês com os valores 3,9; 0,50; 7,48; 0,64; e 0,60 $\text{g mês}^{-1} \text{ planta}^{-1}$, respectivamente. Para Fe, Mn, Zn, Cu e B as TMA_{max} aconteceram no décimo mês, com valores de 39,5; 1,39; 5,14; 2,93; e 2,09 $\text{mg mês}^{-1} \text{ planta}^{-1}$, respectivamente (Fayad *et al.*, 2018).

Em outros dois experimentos conduzidos para uma maior compreensão da dinâmica de absorção de P pela mandiocinha-salsa em lavouras de estudos na

comunidade de Rio Fortuna, Angelina, SC, não se verificou resposta a níveis maiores que 25 mg kg^{-1} em áreas com 300 g kg^{-1} de argila (Fayad *et al.*, 2018) (Figura 7).

(A)



(B)



Figura 7. Instalação de experimentos de mandioca-salsa com doses de P em duas lavouras de estudos (A) e perfil cultural do solo manejado no SPDH por mais de dez anos (B). Fotos: Marcelo Zanella.

Nessa cultura, as plantas de cobertura são manejadas com rolo-faca a partir da fase de grão leitoso até grão farináceo. Quanto mais próximo da fase de grão farináceo mais fibrosa será a palhada, aumentando o tempo de cobertura do solo. Na Figura 8 observa-se a presença da palhada da aveia-preta cobrindo o solo com a mandioca-salsa. A utilização de herbicidas no manejo das culturas simplifica o sistema, já que elimina ou diminui a diversidade de adubos verdes cultivados e espontâneos, acelera o processo de decomposição da fitomassa e interfere na diversidade da biota do solo. As raízes e hifas são importantes agentes agregantes com ação física e biológica. A simplificação desse ambiente torna o solo vulnerável à compactação, à erosão e favorece os estresses das plantas por deficiência e/ou excesso de nutrientes e água e por variações excessivas de temperaturas.



Figura 8. Lavoura de mandioquinha-salsa conduzida em SPDH aos 120 dias de cultivo, com persistência e durabilidade na palhada de aveia manejada mecanicamente sem uso de herbicidas. Foto: Marcelo Zanella.

Para diminuir os efeitos negativos abordados anteriormente e promover gradativamente um ambiente que aumente o conforto das plantas é necessário diminuir as causas dos estresses. Assim, é recomendado reduzir ao máximo a movimentação do solo e cultivar os adubos verdes e as plantas espontâneas nas épocas de entressafra da hortaliça. No período de inverno é recomendado cultivar aveia-preta (*Avena strigosa*), centeio (*Secale cereale*), tremço azul (*Lupinus angustifolius*) ou branco (*Lupinus albus*), ervilhaca comum (*Vicia sativa*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) ou um coquetel de plantas (com três ou mais espécies), sendo a opção mais aceita e utilizada a composição com aveia preta + ervilhaca comum + nabo forrageiro. No período de verão são indicados os cultivos de milho (*Zea mays*), milheto (*Penisetum americanum*), mucuna (*Strizolobium aterrimum*), crotalária (*Crotalaria juncea*), girassol (*Helianthus annuus*) e papuã (*Brachiaria plantaginea*), sendo o seu coquetel o mais indicado, como o de girassol + milheto + mucuna. Essa prática objetiva a construção progressiva da biodiversidade na área de cultivo, evitar o estresse nutricional, diminuir fontes de inóculo de oportunistas, aumentar a diversidade de inimigos naturais e contribuir com a melhoria da estrutura do solo. Essa prática também possibilita, em longo prazo, estabilizar a produção e diminuir manchas de fertilidade horizontal e vertical do solo na área cultivada.

Com o lançamento de duas novas cultivares de mandioquinha-salsa (SCS381 Coqueiral e SCS380 Inca) pela Epagri, que superam em três vezes a produtividade da cv. tradicional Senador Amaral em SC, cultivadas em áreas manejadas no SPDH, ocorreu redução acentuada no custo econômico das lavouras, chegando a reduzir 70%, principalmente no uso de NPK, hora máquina, fungicidas, herbicidas e inseticidas. Também ocorreu a melhoria em diversos atributos do solo e o aumento do conforto no trabalho. Esses avanços possibilitaram alcançar e manter altas produtividades mesmo na ausência de irrigação. Outro ponto a salientar foi o aumento significativo na infiltração da água da chuva, sendo duas vezes superior às áreas convencionais, o que causou a eliminação dos processos de erosão nas áreas de cultivo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo de hortaliças, como chuchu, couve-flor, cebola e mandioquinha-salsa em ambiente de montanha no SPDH se mostra uma alternativa viável e rentável na busca de índices de produtividades, aliados à resiliência às mudanças climáticas e baixos impactos ambientais. Tem sido evidente a melhoria nos atributos químicos, físicos e biológicos nos solos cultivados nesse sistema e ambiente. Um ponto importante é selecionar as espécies de cobertura utilizadas com foco na promoção da saúde do solo e na melhoria dos seus atributos.

Dentre os atributos químicos, físicos e biológicos avaliados em áreas montanhosas com cultivo de hortaliças, destacam-se o carbono orgânico total, a agregação do solo, as enzimas e as micorrizas, que foram mais sensíveis para evidenciar as melhorias no solo cultivado com o SPDH em comparação ao SPC.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos números 311474/2021-7 (PQ1D), 312876/2023-8 (PQ2), 307410/2021-8 (PQ2), 305471/2023-6 (PQ2), 405026/2021-8 (Universal) e 406447/2023-3 (Universal).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.

BANDYOPADHYAY, S.; MAITI, S. K. Different Soil Factors Influencing Dehydrogenase Activity in Mine Degraded Lands - State-of-Art Review. **Water, Air, and Soil Pollution**, 232, N/A, 2021.

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. C.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSO, R. S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2011. v. 7, p. 55-117.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BORTOLINI, J. G. *et al.* Soil Carbon, Glomalin, And Aggregation in Onion Crop Under No-Tillage with Cover Crops or Conventional Tillage Systems for Eight Years. **Journal of Agricultural Studies**, v. 9, n. 2, p. 130, 2021.

BORTOLINI, J. G. **Plantas de cobertura: influência nos atributos físicos, químicos e biológicos em solo sob sistema agroecológico de cultivo de cebola (*Allium cepa* L.)**. 2022. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

BORTOLON, E. S. O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C. G.; LOPES, F.; FERNANDES, F. F. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1635-1646, 2009.

CÂMARA, P. H. S. **Influência da complexidade de diferentes sistemas de cultivo de cebola na emissão de gases de efeito estufa**. 2022. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

COMIN, J. J.; FAYAD, J. A.; KURTZ, C.; MAFRA, A. L.; CURMI, P. Guia de avaliação participativa da qualidade do solo. Porto Alegre: A Granja, n. 860, p. 47-49, 2020.

COMIN, J. J.; FERREIRA, L. B.; SANTOS, L. H.; KOUCHER, L. P.; MACHADO, L. N.; SANTOS JUNIOR, E.; MAFRA, A. L.; KURTZ, C.; SOUZA, M.; BRUNETTO, G.; LOSS, A. Carbon and nitrogen contents and aggregation index of soil cultivated with onion for seven years using crop successions and rotations. **Soil & Tillage Research**, v. 184, p. 195-202, 2018.

COMIN, J. J.; VILANOVA, C. C.; KURTZ, C.; MULLER JUNIOR, V.; VENTURA, B. S.; REIS, M. S.; BRUNETTO, G.; LOVATO, P. E.; SOUZA, M. Avaliação fitossociológica de plantas invasoras em cultivo de cebola sob sistema plantio direto sem uso de agrotóxicos. **Revista de La Facultad de Agronomía (La Plata)**, v. 117, p. 197-206, 2018.

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**. 11. ed. Porto Alegre, SBCS - NRS /UFRGS, 2016. 376 p.

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil Enzyme Activities and Biodiversity Measurements as Integrative Microbiological Indicators. *In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Methods for Assessing Soil Quality***. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1996. p. 247-271.

DICK, W. A.; TABATABAI, M. A. Significance and potential uses of soil enzymes. *In: METTING JR, F. B. (Ed.). **Soil microbial ecology**: applications in agricultural and environmental management*. New York: Marcell Dekker, Inc., 1992. p. 95-130.

DIONISIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D.; PAULA, A. M.; MACEDA, A.; MATANNA, A. L. **Guia prático de biologia do solo**. Curitiba: SBSC: NEPAR, 2016.

DUTRA, B. R. **Gases de efeito estufa e atributos edáficos em sistemas de plantio direto e convencional de couve-flor**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, 2023.

EPAGRI. Agricultor de Angelina comprova a eficiência do SPDH diante de calor excessivo e de chuva intensa em SC. 2024. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2024/02/19/agricultor-de-angelina-comprova-a-eficiencia-do-spdh-diante-de-calor-excessivo-e-de-chuva-intensa-em-sc/>

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

EPAGRI/CEPA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2019-2020**. 41. ed. Florianópolis. v. 1. 2020.

FALCÃO, J. V. *et al.* Qualidade do solo cultivado com morangueiro sob manejo convencional e orgânico. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 43, p. 450-459, 2013.

FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)**. São Paulo-SP: Editora Expressão Popular, 2019. 432 p.

FAYAD, J. A.; COMIN, J. J.; KURTZ, C.; MAFRA, A.; MADEIRA, N. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH)**: o cultivo da mandioquinha-salsa. Florianópolis: Epagri (Boletim Didático, 147), 68 p. 2018.

FENG, H.; SEKARAN, U.; WANG, T.; KUMAR, S. On-farm assessment of cover cropping effects on soil C and N pools, enzyme activities, and microbial community structure. **Journal of Agricultural Science**, 159(3-4), 216-226. 2021.

FERREIRA, A. M. C.; AQUINO, A.; LINHARES, R.; SILVA, L. L.; OLIVEIRA, L. R.; NUNES, F. A. Transição agroecológica em agricultura de montanha, estudos comparando Brasil e Argentina. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, 1-5, 2018.

FERREIRA, C. S.; LIMA, S. S.; SAMPAIO, I. U. M.; RAMOS, A. P.; COELHO, I. S.; PEREIRA, M. G. **Agricultura em ambiente de montanha, economia ecológica, território e desenvolvimento sustentável: perspectivas e desafios** - Volume 3. Editora Científica Digital, 2023, v. 1, p. 162-179.

FREIDENREICH, A. *et al.* Influence of Leguminous Cover Crops on Soil Chemical and Biological Properties in a No-Till Tropical Fruit Orchard. **Land**, v. 11, n. 6, 2022.

FRÎNCU, M.; DUMITRACHE, C.; DUMITRIU, A. C. Soil fertility assessment through enzyme activity. **Journal of Young Scientist**, v. III, 2015.

GIOVANETTI, L. K. **Diversidade de plantas espontâneas e de fungos micorrízicos arbusculares em sistema de plantio direto com cebola e culturas de cobertura micotróficas e não micotróficas**. 2022. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

GIUMBELLI, L. D.; LOSS, A.; KURTZ, C.; MAFRA, Á. L.; PICCOLO, M. C.; TORRES, J. L. R.; LOURENZI, C. R.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Combinations of Plant Species for Rotation With Onion Crops: Effects on the Light Fraction, Carbon, and Nitrogen Contents in Granulometric Fractions of the Soil Organic Matter. **Journal of Agricultural Studies**, v. 9, n. 1, p. 202, 2021.

GORZELAK, M. A.; HOLLAND, T. C.; XING, X.; HART, M. M. Molecular approaches for AM fungal community ecology: A primer. **Journal of Microbiological Methods**, v. 90, p. 108-114, 2012.

GUEDES FILHO, O.; DA SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma**, [S. l.], v. 204-205, p. 94-101, 2013.

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

KHAN, Z.; MIDEGA, C.; PITCHAR, J.; PICKETT, J. Desenvolvimento de plantas de cobertura para o manejo de plantas específicas: uma abordagem sobre a liberação de compostos alelopáticos. **Fronteiras na Ciência das Plantas**, 9, 1429, 2018.

KURTZ, C.; ERNANI, P. R.; COIMBRA, J. L. M.; PETRY, E. Rendimento e conservação de cebola alterados pela dose e parcelamento de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 865-876, 2012.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIM, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Rev Bras Cienc Solo**. 2015;39:1212-24.

LOSS, A.; JUNIOR, E. S.; SCHMITZ, D.; DA VEIGA, M.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 11, n. 1, p. 105-113, 2017.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 27, n. 3, 2023.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras. 2006. 729 p.

MÜLLER JÚNIOR, V. *et al.* Nitrous Oxide Emissions in No-Tillage Onion (*Allium cepa* L.) Crops Are Increased by Oilseed Radish Cover Crop and Poultry Manure Application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, 2019.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; BOHRA, J. S. Effects of conventional tillage and no tillage permutations on extracellular soil enzyme activities and microbial biomass under rice cultivation. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 51-60, mar. 2014.

POWELL, J. R.; RILLIG, M. C. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem function. **New Phytologist**, v. 220, n. 4, p. 1059-1075, 2018.

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

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

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; HARTMAN, D. C.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon Depletion by Plowing and its Restoration by No-Till Cropping Systems in Oxisols of Subtropical and Tropical Agro-Ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 26, p. 531-543, 2015.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; VILELA, L.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S.; VIANA, J. H. M. Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1855-1861, 2014.

SANTOS, L. H.; CANTON, L.; VENTURA, B. S.; FERREIRA, G. W.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E.; LOSS, A. Chemical Properties in Macroaggregates of a Humic Dystrudept Cultivated with Onion under No-Till and Conventional Tillage Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-13, 2017.

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

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

SHERENE, T. Role of soil enzymes in nutrient transformation: a review. **Bio Bulletin**, v. 3, n. 1, p. 109-131, 2017.

SILVA, E. M. R.; SUDO, A.; ALMEIDA, D. L.; MATOS, R. M. B.; PEREIRA, M. G.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, C. T. T. **Ocorrência e Efetividade de Fungos Micorrízicos em Plantas Cultivadas**. (Documentos, n. 83). Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 27 p.

SILVA, R. **Potencial da Mucuna Preta como adubo verde para o arroz-de-sequeiro em Latossolo Amarelo da Amazônia**. 2020. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Mineralização e desnitrificação do nitrogênio no solo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 923-936, 2010.

SOUZA, M.; LOVATO, P. E.; COMIN, J. J.; LIMA, A. P.; KUHNEN, S. Phenolic Compounds with Allelopathic Potential of *Secale cereale* L. and *Raphanus sativus* L. Grown Under an Agroecological No-Tillage System. **Planta Daninha**, v. 37, p. 1-12, 2019.

SOUZA, M.; VARGAS, M. M. M.; VENTURA, B. S.; JÚNIOR, V. M.; SOARES, C. R. F. S.; KURTZ, C.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E. Microbial activity in soil with onion grown in a no-tillage system with single or intercropped cover crops. **Ciencia Rural**, 50(12), 1-11, 2020.

SOUZA, M.; MÜLLER JÚNIOR, V.; KURTZ, C.; SANTOS, B. V.; LOURENZI, C. R.; LAZZARI, C.; FERREIRA, G. W.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; COMIN, J. J. Soil chemical properties and yield of onion crops grown for eight years under no-tillage system with cover crops. **Soil & Tillage Research**, v. 208, p. 104897, 2021.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY, P. S. (Eds.). **Methods of soil analysis. Part 2 – Microbiological and biochemical properties**. Soil Sci Soc Am, Madison, WI, 1994, p. 775-833.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulfatase activity of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v. 34, p. 225-229, 1970.

TAO, F. *et al.* Microbial carbon use efficiency promotes global soil carbon storage. **Nature**, 618(7967), 981-985, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06042-3>

VENTURA, B. S. **Efeitos da micotrofia de plantas de cobertura na ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares e na disponibilidade de fósforo para cebola em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH)**. 2022. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

VENTURA, B. S. *et al.* Soil phosphorus availability and uptake by mycorrhizal and non-mycorrhiza plants in an onion no-tillage system. **Ciência Rural**, v. 51, n. 10, e20200740, 2021.

WATTEAU, F.; VILLEMEN, G. Soil microstructures examined through transmission electron microscopy reveal soil-microorganisms interactions. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, 2018.

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

ZHENG, W. *et al.* Changes in the soil bacterial community structure and enzyme activities after intercrop mulch with cover crop for eight years in an orchard. **European Journal of Soil Biology**, v. 86, p. 34-41. 2018.