



Estoques de carbono e nitrogênio totais e propriedades químicas do solo no cultivo de cebola

Eduardo Ribeiro NAZARIAN ¹, Leonardo Khaoê GIOVANETTI ², Lucas Raimundo RAUBER ³,
Lucas Dupont GIUMBELLI ⁴, Claudinei KURTZ ⁵, Alan Carlos BATISTÃO ⁴,
Jose Luiz Rodrigues TORRES ⁶, Arcângelo LOSS ^{*5}

¹ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, São Carlos, SC, Brasil.

² Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Cerro Negro, SC, Brasil.

³ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil.

⁴ Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

⁵ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Ituporanga, SC, Brasil.

⁶ Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, Brasil.

*E-mail: arcangelo.loss@ufsc.br

Submetido: 15/01/2025; Aceito: 13/10/2025; Publicado: 18/11/2025.

RESUMO: O trabalho objetivou avaliar as propriedades químicas e os estoques de carbono (C) e de nitrogênio (N) do solo sob cultivo de cebola por 16 anos, no sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH), comparado com o sistema de preparo convencional (SPC) e o sistema de plantio direto (SPD). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições e três tratamentos: SPD - sucessão milho/cebola anual; SPC - sucessão milho/cebola anual; SPDH - consórcio mucuna+milho+girassol e cebola anual. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-30 cm para avaliação dos atributos químicos do solo e dos estoques de C e N. Não foram verificadas diferenças de pH e de densidade do solo entre os tratamentos. O SPDH apresentou maiores teores de potássio entre 10 e 30 cm. Para o fósforo, o SPDH e o SPD apresentaram os maiores valores nos intervalos de 0-5 e 5-10 cm. O SPDH tem maior potencial para armazenar C e N em comparação com os demais tratamentos. O consórcio de plantas de cobertura no SPDH é eficaz para aumentar os teores de potássio em profundidade, bem como promover maiores teores e estoques de C e N em comparação aos tratamentos SPD e SPC.

Palavras-chave: sistema de plantio direto de hortaliças; ciclagem de nutrientes; consórcio de plantas de cobertura; acúmulo de carbono.

Total carbon and nitrogen stocks and soil chemical properties in onion production

ABSTRACT: The study aimed to evaluate soil chemical properties and carbon (C) and nitrogen (N) stocks after 16 years of onion cultivation in the no-till vegetable system (SPDH) compared with the conventional tillage system (SPC) and the no-till system (SPD). The experimental design was a randomized block with four replicates and three treatments: SPD (annual maize/onion rotation), SPC (annual maize/onion rotation), and SPDH (a mix of velvet bean, pearl millet, and sunflower intercropped with annual onion). Soil samples were collected at depths of 0–5 cm, 5–10 cm, and 10–30 cm to assess chemical properties and C and N stocks. No significant differences were observed for soil pH or bulk density among treatments. The SPDH showed higher potassium levels at 10–30 cm. For phosphorus, SPDH and SPD had the highest values at 0–5 cm and 5–10 cm depths. SPDH demonstrated a greater capacity for storing C and N compared to the other treatments. The plant cover mix in SPDH proved effective in increasing potassium at deeper soil layers and enhancing C and N levels and stocks relative to SPD and SPC treatments.

Keywords: no-tillage vegetable system; nutrient cycling; cover crop consortium; carbon accumulation.

1. INTRODUÇÃO

A conservação do solo tornou-se motivo de preocupação constante da sociedade, devido à redução da produtividade dos cultivos, ao aumento do custo de produção e aos danos ao meio ambiente. A literatura reconhece o solo como o principal dreno de carbono do planeta, porém, já são estimadas perdas de 50 a 80% do conteúdo de húmus do solo decorrentes das atividades agrícolas (DER BODENATLAS, 2024).

Existem práticas de cultivo que são eficientes para combater essas perdas, como o sistema de plantio direto (SPD), no qual ocorrem menores perturbações em virtude do menor uso de máquinas e equipamentos, fundamentadas em menor revolvimento do solo, rotação de culturas e cobertura permanente do solo (SILVA et al., 2014). Além das buscas por alternativas que minimizem a degradação do solo, o ecossistema agrícola passou a ser entendido como um sumidouro biológico de gás carbônico (CO₂) e tem sido

considerado uma importante opção para o sequestro de carbono (C) (MELO et al., 2016).

O processo de estocagem de C e de nitrogênio (N) no solo ocorre a partir da biomassa depositada na superfície, que é posteriormente processada e incorporada, bem como das raízes presentes na superfície do solo. Essa prática também reduz a erosão e a amplitude térmica, além de diminuir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) (GOMES; CARDOSO, 2021). Em contrapartida, o manejo em sistema de preparo convencional (SPC) ainda predomina no cultivo da maioria das espécies comerciais, sendo responsável pela desagregação e redução da matéria orgânica do solo (PIVA et al., 2024), devido ao uso intensivo de máquinas agrícolas, revolvimento do solo e produtos químicos, acarretando na degradação física, química e biológica do solo (LOSS et al., 2015). No Brasil, o sistema de cultivo mais utilizado para produção de hortaliças ainda é o SPC. Todavia, parte das áreas cultivadas no SPC vem sendo convertida para produção no SPD e, mais recentemente, no SPD de hortaliças (SPDH) (LOSS et al., 2025; GIUMBELLI et al., 2021; SOUZA et al., 2021). Um exemplo dessa conversão do SPC para o SPD e o SPDH é o cultivo da cebola (*Allium cepa* L.), muito relevante para o Alto Vale do Itajaí, em Santa Catarina (FAYAD et al., 2019).

A cebola é uma das hortaliças mais cultivadas no mundo e é cultivada em uma ampla área. O Brasil está entre os dez maiores produtores mundiais e, nesse ranking, a cebola é a terceira hortaliça de maior importância econômica, com destaque para Santa Catarina, estado que detém um terço da produção nacional (FAYAD et al., 2019). No âmbito nacional, o país produziu, em 2024, cerca de 1,68 Mt em uma área de aproximadamente 50 mil hectares (IBGE, 2024).

Apesar de a maior parte do cultivo de cebola ocorrer no SPC, a partir da década de 90, outro sistema passou a ser utilizado em Santa Catarina, conhecido como SPDH. O SPDH consiste no revolvimento do solo restrito à linha de plantio, na rotação de culturas, em cultivos de cobertura, no parcelamento de adubações e na redução do uso de agroquímicos. Outro conceito do SPDH é a promoção da saúde da planta por meio da minimização de estresses, como salinidade, disponibilidade hídrica e temperatura, entre outros, além de favorecer o sequestro de carbono e de nitrogênio (FAYAD et al., 2019).

O uso de plantas de cobertura é uma prática essencial para este sistema, pois favorece o aumento do teor de matéria orgânica do solo (MOS) (GIUMBELLI et al., 2021). A partir de uma produção mínima de 10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca, há melhoria dos atributos edáficos, como alteração do pH na superfície, ciclagem de nutrientes, melhoria na capacidade de troca de cátions (CTC), adição de nitrogênio no sistema, entre outros (LOSS et al., 2015; FAYAD et al., 2019). As principais espécies vegetais utilizadas como cobertura são plantas da família Poaceae, devido ao seu rápido estabelecimento e à produção de matéria seca, bem como as da família Fabaceae, que têm a capacidade de formar associações com microrganismos e de fixar nitrogênio no solo (CASALI et al., 2016). Também se destaca a família Brassicaceae, usada isoladamente ou em consórcio com outras espécies vegetais, o que vem sendo amplamente utilizado no SPDH (LOSS et al., 2015, 2025).

As modificações no ambiente edáfico decorrentes do uso de plantas de cobertura dependem de diversos fatores, como o clima, o tipo de solo e o próprio manejo do sistema; por isso, o uso deste sistema pode apresentar resultados

contrastantes no cultivo da cebola. Por exemplo, após quatro pré-cultivos com plantas de cobertura, Souza; Guimarães (2013) analisaram as propriedades químicas para a produção de cebola e não encontraram diferenças nos teores de C orgânico total. Em outro estudo, Lima et al. (2016) avaliaram os teores de C orgânico total e das frações granulométricas da MOS em um Latossolo Vermelho cultivado com hortaliças (cebola, brócolis, abóbora), sob diferentes sistemas de manejo e de cultivo de plantas de cobertura. Os autores encontraram diferenças entre os sistemas de cultivo (SPC e SPD), mas não houve efeitos significativos no uso de plantas de cobertura (milho solteiro e milho consorciado com mucuna). Por outro lado, em experimento que conduziu o cultivo de cebola em SPD agroecológico por 15 anos foram encontrados aumentos nos teores de C e N total, além de aumentos dos teores de C e N das frações particuladas da MOS, quando comparadas às áreas manejadas em SPC (KUNESKI et al., 2023).

Diante das contradições, fazem-se necessários novos levantamentos entre os diferentes sistemas de produção de cebola, principalmente sistemas que utilizam plantas de cobertura por longo prazo. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades químicas e os estoques de C e N do solo, sob cultivo de cebola ao longo de 16 anos no SPDH, comparado com o SPC e o SPD.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em 2023 em um experimento de longa duração (16º ano de experimento a campo), localizado na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), em Ituporanga/SC (27°25'02.0"S, 49°38'51.9"W) (Figura 1). O solo da área foi classificado como Cambissolo Húmico Distrófico (CAMARA, 2022), com 410 g kg⁻¹ de areia, 264 g kg⁻¹ de silte e 326 g kg⁻¹ de argila, conforme Tedesco et al. (1995).

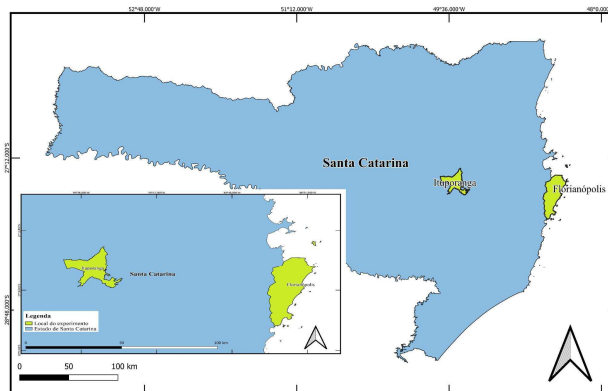


Figura 1. Localização do município de Ituporanga no estado de Santa Catarina. Fonte: elaborada pelos autores.

Figure 1. Location of the municipality of Ituporanga in the State of Santa Catarina. Source: prepared by the authors.

O clima da região é classificado como subtropical úmido mesotérmico, Cfa (Köppen), com precipitação média anual de 1.400 mm, bem distribuída, e temperatura média de 17,6 °C, com geadas pouco frequentes e verões quentes. Durante o ciclo da cebola na safra anual de 2023, foram verificados valores de precipitação total de 494,60 mm, com temperaturas máxima e mínima variando de 13,73 a 34,12 °C e de 4,3 a 23,25 °C, respectivamente (Figura 2).

Em 2007, quando o experimento foi implantado, a área recebeu a sementeira de uma mistura de sementes de aveia-preta (*Avena strigosa*), ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*) e nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.) no inverno. A partir de 2010, os três tratamentos seguem uma ordem cronológica de cultivos, conforme observado na Tabela 1.

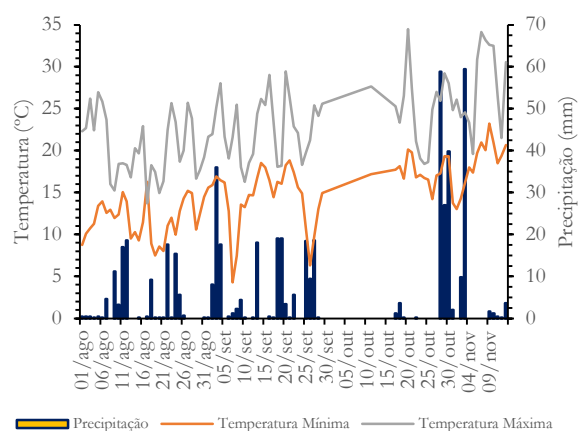


Figura 2. Precipitação e temperaturas mínimas, médias e máximas entre os dias 25/07/23 e 13/11/23. Fonte: Dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet, 2023).

Figure 2. Precipitation and minimum, average and maximum temperatures between 07/25/23 and 11/13/23. Source: Data obtained from the National Institute of Meteorology (Inmet, 2023).

Tabela 1. Descrição dos tratamentos em escala temporal.
Table 1. Description of treatments on a temporal scale.

Ano	Estação	Tratamentos		
		SPD	SPC	SPDH
2011 a	Inverno	Pousio	Pousio	Pousio
	Inverno/Primavera	Cebola	Cebola	Cebola
2023	Verão	Milho	Milho	Milheto + Mucuna + Girassol

Espécies vegetais: cebola (*Allium cepa* L.), milho (*Zea mays* L.), milheto (*Pennisetum americanum* L.), mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*), girassol (*Helianthus annuus* L.). Tratamento SPD - sistema de plantio direto de cebola, em sucessão milho/cebola anual; tratamento SPC - sucessão milho/cebola anual, com preparo convencional anual do solo desde 2011; tratamento SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, com mix de plantas de cobertura durante o verão para posterior plantio da cebola.

O delineamento adotado no experimento foi em blocos casualizados, com 5 parcelas de 3,0 metros de largura e 3,3 metros de comprimento. A cultivar de cebola utilizada foi a Empasc 352 - Bola Precoce. O espaçamento adotado foi de 0,40 m entre linhas e 0,1 m entre plantas, com sete linhas de cebola por parcela e uma borda de 0,3 m em cada lado das parcelas. O manejo do solo para o tratamento SPC foi realizado por meio de aração e de duas gradagens, antes da abertura do sulco de plantio. Já para os tratamentos SPD e SPDH, foi realizada a dessecção das plantas espontâneas e da cobertura, respectivamente, com glicina substituída. As plantas de cobertura utilizadas baseiam-se nas mais comuns em SPDH. Em seguida, foram abertos sulcos de sementeira com o auxílio de uma máquina adaptada ao plantio direto de cebola, e as mudas foram transplantadas manualmente.

A adubação de base foi feita a partir da estimativa de produtividade de 45 Mg ha⁻¹, antes do transplante das mudas, conforme a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS-RS/SC, 2016), sendo 105 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de sulfato de potássio (K₂SO₄), dos quais

60 kg ha⁻¹ aplicados no plantio e 45 kg ha⁻¹ aos 57 dias após o transplante (DAT), mesma época da segunda adubação de cobertura de nitrogênio. No momento do plantio, também foram aplicados 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato triplo, e 20 kg ha⁻¹ de nitrato de amônio. Para o nitrogênio, foram aplicadas mais três adubações de cobertura, sendo 25 kg ha⁻¹ de nitrato de amônio nos 36 DAT, 40 kg ha⁻¹ aos 57 DAT e 25 kg ha⁻¹ 85 dias após o transplante, conforme a recomendação adaptada por Kurtz et al. (2012). O tratamento SPDH, por apresentar, no seu sistema, mucuna, recebeu uma dosagem menor (25% a menos do que nos demais tratamentos) em todas as aplicações. Para o mesmo ano de análise (2023), foi realizada calagem do solo para regular o pH do solo a 6,0, de acordo com o Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016).

Na Tabela 2, apresentam-se os dados de produção de massa seca remanescente, da relação C/N e da produtividade de cebola da safra 2021/2022 (CÂMARA, 2022).

Tabela 2. Médias de massa seca (MS), teores de C e N e relação C/N da biomassa remanescente no solo e da produtividade da cebola nos tratamentos SPD, SPC e SPDH.

Table 2. Averages of dry mass (MS), C and N contents, and C/N ratio of the remaining biomass on the soil, and onion yield in the SPD, SPC, and SPDH treatments.

Tratamento	C	N	C/N	MS	Produtividade
	%			Mg ha ⁻¹	
SPD	29,34	1,08	27,58	10,51	34,78
SPC	25,62	1,09	24,34	4,22	33,55
SPDH	28,01	2,08	13,38	10,92	40,92

SPD - sistema de plantio direto de cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Fonte: Câmara (2022).

Após o ciclo e a colheita da cebola, em 13 de novembro de 2023 foram abertas trincheiras de 30 x 30 x 30 cm de largura, altura e profundidade, respectivamente, e amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0 - 5 cm; 5 - 10 cm e 10 - 30 cm para análise das propriedades químicas (amostras deformadas) e densidade do solo (amostras indeformadas) com pá de corte e anéis volumétricos, respectivamente. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Tecidos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina.

Após a secagem das amostras deformadas ao ar, o material foi passado em malha de 2 mm e, neste, determinaram-se o pH em água, K (cmolc dm⁻³), P (mg dm⁻³), Al (cmolc dm⁻³), Mg (cmolc dm⁻³) e Ca (cmolc dm⁻³), conforme Tedesco et al. (1995). Para a quantificação do carbono orgânico total (COT) e do N total (NT), as amostras foram moídas e passadas em peneira de 150 mesh, para determinação dos elementos em um analisador elementar de combustão seca PerkinElmer 2400 Series II CHNS/O Analyzer. A densidade do solo (Ds) foi avaliada por meio da secagem das amostras indeformadas (100 cm³) a 110 °C, em estufa de circulação de ar forçada, por 72 horas, e obtida pela relação entre a massa de solo seco e o volume do anel, em g cm⁻³. Com base nos teores de COT e NT e nos valores de Ds, foram obtidos os estoques de C e N (Mg ha⁻¹) do solo,

utilizando a metodologia da massa equivalente (SISTI et al., 2004). Após a obtenção dos dados, foi realizada a análise de variância (ANOVA) no programa SISVAR 5.8 e, quando significativo, as médias foram separadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS

Não foram verificadas diferenças na densidade do solo (Ds) entre os tratamentos em todas as profundidades avaliadas. Para o pH, na profundidade de 0-10 cm, não houve diferença entre os tratamentos; já na camada de 10-30 cm, o maior valor deste atributo foi observado no tratamento SPC. Para o SMP, foram observadas diferenças entre os tratamentos nas profundidades de 0-5 cm e 10-30 cm, enquanto para o P, os tratamentos diferiram nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm (Tabela 3).

Para o teor de K trocável, na camada de 0-5 cm, os maiores valores foram observados no tratamento SPD; já na camada de 10-30 cm, o tratamento SPDH apresentou os

maiores teores (Tabela 4). No SPD e no SPDH, devido ao não revolvimento do solo, o manejo realizado preserva a cobertura do solo, o que propicia aumento da MOS, principalmente no SPDH. Desta forma, a adubação potássica se torna mais eficiente, principalmente em função de sua reciclagem por meio de plantas de interesse econômico (no caso do milho no SPD) e de cobertura do solo, no caso do consórcio de milho + mucuna + girassol no SPDH.

Em relação aos estoques de COT e NT, houve diferença entre as camadas avaliadas ($p < 0,05$), e o SPDH apresentou os maiores valores entre os demais, com exceção da camada de 5-10 cm, na qual não houve diferença (Tabela 5).

Com relação ao estoque de carbono na profundidade de 0-10 cm, o SPDH apresentou 17,7% e 19,8% a mais do que os tratamentos SPD e SPC, respectivamente (Tabela 6). De certa forma, estas diferenças se mantêm quando se somam os teores dos estoques na camada de 0-30 cm, superiores em 13,4% e 18,1% em relação ao SPD e ao SPC, respectivamente.

Tabela 3. Densidade do solo (Ds), pH, índice de SMP e teor de P disponível nos tratamentos avaliados.

Table 3. Soil density (Ds), pH, SMP index, and available P content for the evaluated treatments.

Tratamento	Prof. (cm)	Ds	pH	SMP	P
		g cm ⁻³			mg dm ⁻³
SPC	0-5	1,24 ns	6,29 ns	6,97 A	31,74 C
SPD		1,21	6,30	6,32 B	52,28 A
SPDH		1,24	6,27	6,51 B	42,86 B
CV (%)		7,51	0,38	5,89	12,40
SPC	5-10	1,36 ns	6,28 ns	6,45 ns	16,07 B
SPD		1,32	6,25	6,16	22,06 A
SPDH		1,27	6,26	6,25	25,58 A
CV (%)		8,29	0,34	5,24	21,77
SPC	10-30	1,29 ns	6,32 A	6,45 A	5,65 ns
SPD		1,33	6,25 B	6,04 B	9,05
SPDH		1,31	6,24 B	6,29 A	7,10
CV (%)		5,61	0,62	3,62	33,58

SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si. ns: não significativo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). CV = coeficiente de variação.

Tabela 4. Teores trocáveis de K, H+Al, Al, Ca e Mg nos tratamentos avaliados.

Table 4. Exchangeable levels of K, H+Al, Al, Ca, and Mg for the evaluated treatments.

Tratamento	Prof. (cm)	K	H+Al	Al	Ca	Mg
		cmol _c dm ³				
SPC	0-5	0,41 B	2,79 A	0,00 ns	8,26 ns	3,73 ns
SPD		0,56 A	2,53 B	0,00	8,92	4,44
SPDH		0,40 B	2,61 B	0,00	8,98	4,70
CV (%)		15,44	5,87	0,00	12,40	24,25
SPC	5-10	0,42 ns	2,58 ns	0,00 ns	7,23 ns	2,98 ns
SPD		0,45	2,46	0,00	5,75	2,34
SPDH		0,34	2,50	0,00	5,20	2,39
CV (%)		24,77	5,22	0,00	24,18	40,85
SPC	10-30	0,17 C	2,58 A	0,00 ns	6,75 A	2,17 A
SPD		0,28 B	2,41 B	0,00	5,88 A	1,35 B
SPDH		0,42 A	2,52 A	0,00	4,53 B	1,32 B
CV (%)		23,23	3,60	0,00	19,87	20,18

SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH - sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si. ns: não significativo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). CV = coeficiente de variação.

4. DISCUSSÃO

Considerando a classe textural franco-argilosa do solo presente na área e utilizando os valores críticos de densidade do solo conforme proposto por Reichert et al. (2003), para este tipo de solo os valores críticos de densidade estão na

faixa de 1,4 a 1,5 g cm³, assim pode-se inferir que não há restrição de crescimento radicular das plantas para nenhum dos tratamentos analisados. Ao analisar os atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo do solo e por plantas de cobertura, Cunha et al. (2011), em um

Latossolo Vermelho Distrófico, verificaram que não houve diferença para os valores de pH depois de 4 anos da implantação, entre os diferentes tratamentos em SPC com cultivo de milho (pH 6,2 e 6,3) e SPD com cultivo de feijão e plantas de cobertura como mucuna (*Mucuna aterrima*) (pH

6,1 e 6,2), sorgo (*Sorghum technicum*) (pH 6,2 e 6,1) e crotalária (*Crotalaria juncea*) (pH 6,1 e 6,0) para as camadas de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm de profundidade, corroborando com os dados obtidos neste estudo.

Tabela 5. Teores de COT, NT e estoques de C e N nas profundidades de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm e de 10 a 30 cm.
Table 5. Levels of COT, NT, and stocks of C and N at depths of 0 to 5 cm, 5 to 10 cm, and 10 to 30 cm.

Tratamento	Prof. (cm)	g kg ⁻¹		Mg ha ⁻¹	
		COT	NT	Est - C	Est - N
SPC	0-5	26,50 B	24,00 B	9,59 B	0,87 B
SPD		27,52 B	26,40 B	10,16 B	0,97 B
SPDH		34,94 A	34,80 A	12,36 A	1,23 A
CV (%)		11,10	12,61	12,96	14,01
SPC	5-10	21,58 B	24,60 ns	8,08 ns	0,88 ns
SPD		22,54 B	27,80	7,99	1,03
SPDH		27,24 A	33,60	9,69	1,19
CV (%)		10,27	19,61	16,55	22,73
SPC	10-30	19,02 B	20,80 B	29,07 A	3,54 B
SPD		19,72 B	26,60 B	31,26 A	4,10 B
SPDH		25,54 A	35,60 A	35,01 A	4,99 A
CV (%)		18,25	22,06	10,60	14,55

SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH- sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si. ns = não significativo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). CV = coeficiente de variação.

Tabela 6. Estoques de carbono e de nitrogênio nas camadas 0-10 cm e 0-30 cm.

Table 6. Carbon and nitrogen stocks in the 0-10 cm and 0-30 cm layers.

Tratamento	Prof. (cm)	Mg ha ⁻¹	
		Est - C	Est - N
SPC	0 - 10	17,67 B	1,75 B
SPD		18,15 B	2,00 B
SPDH		22,05 A	2,42 A
CV (%)		12,15	13,12
SPC	0 - 30	46,74 B	5,29 B
SPD		49,41 B	6,10 B
SPDH		57,06 A	7,41 A
CV (%)		9,90	13,64

SPD - sistema de plantio direto da cebola, sendo sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de cobertura; SPC - sistema de preparo de convencional do solo com sucessão de milho/cebola anual, sem o uso de plantas de coberturas e SPDH- sistema de plantio direto de hortaliças, utilizando para produção de palhada o consórcio de coberturas de verão (milheto, mucuna e girassol), para posterior plantio da cebola anualmente. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si. ns: não significativo pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). CV = coeficiente de variação.

Os altos valores de pH e de índice SMP em todas as camadas e tratamentos analisados podem ser explicados pela aplicação de calcário realizada no mesmo ano da coleta do solo. Fato este que também explica a ausência de Al e os teores adequados de Ca e Mg trocáveis do solo (Tabela 4). A aplicação de calcário gera oxidrilas e bicarbonatos, a partir da dissolução dos carbonatos capazes de neutralizar os cátions de hidrogênio e alumínio (MEURER et al. 2012).

Com relação ao teor disponível de P, observam-se valores mais elevados nos tratamentos SPD e SPDH, o que pode decorrer de menor contato do P com os colóides organominerais protegidos nos agregados, o que provoca diminuição das reações de adsorção (ANGHINONI, 2007). Comportamento contrário ocorreu no SPC, em que a menor disponibilidade de P pode estar relacionada ao revolvimento do solo, que promove maior contato do íon fosfato com as cargas dos colóides do solo, aumentando a adsorção desse

nutriente (ANGHINONI, 2007). Resguardando os devidos teores, Santana et al. (2018) também observaram maior teor de P no tratamento de SPD em comparação ao SPC. Contudo, em sistemas sem revolvimento do solo, os fertilizantes aplicados a lanço ou no sulco elevam os teores de P apenas nas camadas mais superficiais, onde há dissolução do grânulo, sem alterar os teores nas camadas subsuperficiais (CASALI et al., 2016). Estes resultados corroboram os obtidos neste estudo, já que os maiores valores de P estão presentes nas camadas mais superficiais do SPC analisadas (Tabela 3).

Em um estudo realizado por Boer et al. (2007), ao analisarem a ciclagem de nutrientes por três plantas de cobertura na entressafra no Cerrado, verificaram que o milheto em comparação a outras espécies apresentou maior capacidade de acúmulo de potássio em sua biomassa, sendo 75,5% do K liberado pelo milheto até os 30 dias após a dessecação das plantas de cobertura. Estes resultados corroboram os maiores valores de K no SPDH na camada de 10-30 cm, que utiliza milheto no consórcio de plantas de cobertura. Cabe destacar que o revolvimento do solo, aplicado no tratamento SPC, acarreta maior diluição do K nas camadas analisadas, já que é incorporado anualmente pelo manejo (BROWN et al., 2016). Além de promover a mudança do pH e reduzir o efeito tóxico do alumínio, a calagem também fornece cálcio e magnésio e, assim, a superfície dos minerais e da matéria orgânica passa a ser ocupada por esses nutrientes, aumentando seus teores trocáveis no solo (MEURER et al., 2012).

Este fato é comprovado pela ausência de alumínio trocável e pelos elevados valores de Ca e Mg em todos os tratamentos, tanto em superfície quanto em subsuperfície (Tabela 4). Destaca-se que, no SPC, foram observados valores mais elevados de Ca e Mg na camada de 10-30 cm. Isto pode ser decorrente das práticas de aração e gradagem, que, além de revolver o solo, fragmentam os resíduos vegetais do milho; assim, podem favorecer a mobilização do Ca e Mg

para as camadas mais profundas em relação aos tratamentos sem revolvimento do solo.

Os menores teores e estoques de COT e NT encontrados no SPC são resultantes do revolvimento periódico do solo por meio das práticas de aração e gradagem, promovendo a ruptura da sua estrutura, com conseqüente aumento da mineralização dos resíduos vegetais e perda do C e N para a atmosfera em forma de CO₂ (GIUMBELLI et al., 2021; CÂMARA, 2022).

A ausência de diferenças entre os teores e estoques de COT e NT no SPC e SPD é resultado das sucessivas incorporações dos resíduos vegetais da cultura do milho no SPC (de 2011 a 2023), que, por terem uma elevada relação C/N, acarretam o aumento do C e do N no solo. Resultados semelhantes, em estudo realizado em 2016 na mesma área de avaliação, com a cultura da cebola, foram relatados por Giumbelli et al. (2021), nos quais foram obtidas menores quantidades de matéria orgânica leve, COT e NT do solo em SPC e SPD, em comparação ao SPDH, com o uso de diferentes espécies de plantas de cobertura do solo.

Em estudo realizado por Melo et al. (2016) ao avaliarem os teores de COT em SPDH e SPC com o cultivo de repolho, observaram maiores teores tanto na camada de 0 - 5 cm, como na de 5 - 10 cm, assim como nos estoques de COT. Esse resultado foi atribuído ao não revolvimento e ao acúmulo de matéria seca sob a superfície do solo no sistema SPDH, que funcionam como a principal entrada para a formação do COT (REDIN et al., 2016). Aliada a isto, a utilização de diferentes espécies vegetais promove uma exploração do perfil mais amplo, o que favorece o acúmulo de C pela rizodeposição e pela mineralização da massa microbiana de N presente na fitomassa (SOUZA et al., 2021).

Os menores valores para os estoques de C e N no SPC se explicam pela falta de proteção que a matéria orgânica recebe do revolvimento do solo, que provoca a desagregação do solo, expondo este material aos microrganismos e ao ar e desencadeando as atividades de agentes decompositores (ESTEVAN; DE MORAIS PAVÃO, 2024). Neste sentido, fazem-se necessários estudos que correlacionem a agregação do solo com a capacidade de estoque de C e de N do solo.

Verificando-se a quantidade adicionada de massa seca remanescente em superfície por cada tratamento e correlacionando com os resultados obtidos para os estoques de C e N do solo, pode-se inferir que mesmo que o SPDH tenha valores de MS semelhantes ao SPD (Tabela 2), o SPDH se mostrou superior para os estoques de C e N. Isto pode ser decorrente dos maiores teores de N na biomassa do SPDH (Tabela 2), o que favorece o maior acúmulo de carbono no solo do SPDH em relação ao SPD. Estes resultados refletem a maior produtividade da cebola no SPDH em relação ao SPD, conforme evidenciado na Tabela 2. É importante ressaltar que incrementos de N, seja por fixação biológica (leguminosas – mucuna no SPDH) ou por adubação nitrogenada, favorecem o acúmulo de carbono, pois não ocorre aumento do carbono orgânico no solo se a quantidade de N for limitante à produtividade biológica (URQUIAGA et al., 2005).

5. CONCLUSÕES

O SPDH foi eficiente em elevar os estoques de carbono e de nitrogênio em comparação ao SPC e ao SPD, evidenciando o potencial desse método de cultivo para mitigar as mudanças climáticas. O SPD e o SPDH, por não

revolverem o solo, favorecem maiores teores de P disponível no solo do que o SPC. O consórcio de plantas de coberturas no SPDH é eficaz para aumentar os teores de K disponível em profundidade, assim como promover maiores teores e estoques de C e N em comparação aos tratamentos SPD (que não faz uso de plantas de cobertura) e o SPC (que além de não utilizar plantas de cobertura, tem a mobilização periódica do solo).

6. REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 873-928.
- BOER, C. A.; ASSIS, R. L. D.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. D. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1269-1276, 2007. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2007000900008>
- BROWN, V.; BANDEIRA, D. H.; BARBOSA, F. T.; MUZEKA, L. Semeadura direta e plantio convencional na produção de três culturas: soja, milho e feijão na região Sul do Brasil. In: **Comemorações do Ano Internacional dos Solos**, Beja. Instituto Superior de Agronomia, 2016. p. 1-5.
- CÂMARA, P. H. S. **Influência da complexidade de diferentes sistemas de cultivo de cebola na emissão de gases de efeito estufa**. 105p. **Dissertação** [Mestrado em Agroecossistemas] - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.
- CASALI, C. A.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R. D.; CALEGARI, A.; PICCIN, R. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. In: TIECHER, T. (Ed.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**. Porto Alegre: [s.n.], 2016. 24p.
- CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; FERREIRA, E. P. D. B.; MOREIRA, J. A.; LEANDRO, W. M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1021-1029, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000005>
- CQFS-RS/SC_Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016. 376p.
- DER BODENATLAS 2024. Heinrich-Böll-Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V., TMG - Think Tank for Sustainability. **TMG Research** gGmbH, first ed. Bonifatius Druck, Paderborn, 2024.
- ESTEVAN, C. G.; PAVÃO, E. de M. Carbono no solo essencial no combate às mudanças climáticas. **AgroANALYSIS**, v. 44, n. 9, p. 25-27, 2024.
- GIUMBELLI, L. D.; LOSS, A.; KURTZ, C.; MAFRA, Á. L.; DE CÁSSIA PICCOLO, M.; 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, e202, 2021. <https://doi.org/10.5296/jas.v9i1.17930>
- GOMES, L. C.; CARDOSO, I. M. Papel da agricultura familiar no sequestro de carbono e na adaptação às mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 73, p. 40-43, 2021.
- FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças**. Florianópolis: Epagri, 2019. 431p.
- IBGE_Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de cebola**. 2024. <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/cebola/br>
- KUNESKI, A. C.; LOSS, A.; SANTOS, T. S. dos; GIUMBELLI, L. D.; LIMA, A. P.; PICCOLO, M. de C.; COMIN, J. J. Total carbon and nitrogen and granulometric fractions of soil organic matter under no-till system and conventional tillage with onion cultivation. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 17, n. 9, e04144, 2023. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n9-010>
- 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, p. 865-876, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300017>
- LIMA, C. E. P., FONTENELLE, M. R.; MADEIRA, N. R.; SILVA, J. da; GUEDES, Í. M. R.; SILVA, L. R. B.; SOARES, D. C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p. 378-387, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000400011>
- LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. D. P.; OLIVEIRA, R. A. D.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1212-1224, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140718>
- LOSS, A.; FERREIRA, G. W.; COMIN, J. J. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH): método de transição agroecológica como ferramenta para a conservação do solo, redução dos impactos climáticos e aumento da produtividade**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2025.
- MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F.; SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas de plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1511-1519, 2016. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900050>
- MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; CARMONA, F. C. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de Química do solo**. 5 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012. p. 155-175.
- FAOSTAT. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO). Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 12 abr. 2024.
- PIVA, B. N. da; BERTOL, I.; SANTOS, D. N.; SANTOS, V. P. dos; MUMBACH, G. L.; KAULING, A.; OLIVEIRA, M. F. de. Preparo convencional convertido para semeadura direta: efeitos nos atributos químicos do solo e no milho. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v. 42, p. 1-26, 2024.
- REDIN, M.; GIACOMINI, S. J.; FERREIRA, P. A. A.; ECKHARDT, D. P. Plantas de cobertura de solo e agricultura sustentável: espécies, matéria seca e ciclagem de carbono e nitrogênio. In: TIECHER, T. (Ed.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**. Porto Alegre: [s.n.], 2016. p. 7-22.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 27, p. 29-48, 2003.
- SANTANA, J.; LIMA, E.; KOMATSU, R.; SILVA, W.; RIBEIRO, M. I. Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, p. 22-42, 2018. https://doi.org/10.18677/encibio_2018a26
- SILVA, M. P.; ARF, O.; DE SÁ, M. E.; ABRANTES, F. L.; BERTI, C. L. F.; SOUZA, L. C. D. de; ARRUDA, N. Palhada, teores de nutrientes e cobertura do solo por plantas de cobertura semeadas no verão para semeadura direta de feijão. **Agrarian**, v. 7, p. 233-243, 2014.
- SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil Tillage**, v. 76, p. 39-58, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007>
- SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1796-1805, 2013.
- SOUZA, M.; JÚNIOR, V. M.; KURTZ, C.; DOS SANTOS VENTURA, B.; LOURENZI, C. R.; LAZZARI, C. J. R.; 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, e104897, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104897>
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Embrapa Clima Temperado, 1995. 174p.
- URQUIAGA, S.; JANTALIA, C.; ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Manejo de sistemas agrícolas para o sequestro de carbono no solo. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Eds.). **Conhecimentos e técnicas avançadas para o estudo dos processos da biota no sistema solo-planta**. Brasília: Embrapa, 2005. p. 257-273.

Agradecimentos: Os autores agradecem o apoio da Epagri, pela disponibilidade da área experimental, e ao CNPq e Capes, pelo apoio financeiro..

Contribuições dos autores: E.R.N. – conceitualização, investigação, redação (rascunho original), redação (revisão e edição); L.K.G. - conceitualização, análise estatística, redação (revisão e edição); L.R.R. – metodologia, redação (rascunho original), redação (revisão e edição); L.D.G. - redação (rascunho original), redação (revisão e edição); C.K. – supervisão, redação (revisão e edição); A.C.B. – metodologia, coleta de dados, redação (rascunho original); J.L.R.T. – validação, redação (revisão e edição); A.L. – conceitualização, obtenção de financiamento, supervisão, redação (rascunho original), redação (revisão e edição). Todos os autores leram e aprovaram a versão publicada do manuscrito.

Financiamentos: CAPES PDPG - Pós-Doutorado Estratégico n. auxpe 88881.691714/2022-01 e CNPq processo n. 311474/2021-7

Disponibilidade de dados: Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos por e-mail, mediante solicitação ao autor correspondente ou ao segundo autor.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflitos de interesses.



Copyright: © 2025 by the authors. This article is an Open-Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).