

Sistema Plantio Direto Orgânico: uma alternativa para minimizar o impacto ambiental da agricultura e fortalecer a produção de grãos orgânicos

Organic No-Tillage System: an alternative to minimize the environment impact and strengthen organic grain production

Sistema de Siembra Directa Orgánico: una alternativa para minimizar el impacto ambiental de la agricultura y fortalecer la producción de granos orgánicos

Maicon Reginatto¹, Paulo Cesar Conceição², Geovana Beatriz Mandrik³

¹ CAMP Sementes. Doutor em Agronomia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1501-2202>. E-mail: maicon.agroeco@gmail.com

² Docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dois Vizinhos, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5880-8094>. E-mail: paulocesar@utfpr.edu.br

³ Estudante de graduação em Agronomia na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-0739-1856>. E-mail: geovanamandrik@alunos.utfpr.edu.br

Recebido em: 21 mar 2025 - Aceito em: 17 jun 2025 – Publicado em: 01 out 2025

Resumo

Plantas de cobertura em rotação de culturas são alternativas para potencializar a implementação do Sistema Plantio Direto Orgânico, visando substituir o uso de agroquímicos com base nos pilares do sistema plantio direto aliado às premissas da agricultura orgânica. O estudo na Unidade de Ensino e Pesquisa Orgânica da UTFPR, campus Dois Vizinhos avaliou o desempenho de 16 rotações de culturas com foco numa safra de grãos e duas “safras” anuais de plantas de cobertura. A produtividade total de biomassa (30977,47 a 45727,50 kg.ha⁻¹) e a produtividade de grãos (7171,37 a 11599,19 kg.ha⁻¹) mostraram que a escolha da rotação é fundamental para atender pressupostos de ambientalidade e produtividade biológica. A rotação 2 – A. preta 1/Soja/C. juncea/A. preta 1/Soja/LabLab/Cons. 5 (AP1+EC+NF)/Milho/C. juncea/A. preta 1 – é estratégica pela produtividade biológica do sistema, resultando em melhoria dos atributos do solo via adição de palhada. A rotação 14 – A. preta 1/Feijão/C. juncea/Cons. 1 (NF+AP1+EP+C)/Feijão/Cons. 4 (TM+CJ+MI)/A. preta 2/Soja/C. juncea/Cons. 6 (NF+AP1+C+EC) – é uma das melhores alternativas por associar produtividade biológica de palhada com maior retorno econômico.

Palavras-chave: Adubação verde, agricultura orgânica, sustentabilidade.

Abstract

Cover crops in crop rotation are alternatives to enhance the implementation of the Organic No-Till System, aiming to replace the use of agrochemicals based on the pillars of no-till farming combined with the principles of organic agriculture. The study conducted at the Organic Teaching and Research Unit of UTFPR, Dois Vizinhos campus, evaluated the performance of 16 crop rotations, focusing on one grain crop and two annual cover crop cycles. The total biomass productivity (30977,47 to 45727,50 kg.ha⁻¹) and grain productivity (7171,37 to 11599,19 kg.ha⁻¹) showed that the choice of rotation is essential to meet the assumptions of environmental sustainability and biological productivity. Rotation 2 – B. oat 1/Soybean/S. hemp/B. oat 1/Soybean/D. bean/Cons 5 (BO1+CV+FR)/Maize/S. hemp/B. oat 1 – is strategic due to the system's biological productivity, leading to an improvement in soil attributes through straw addition. Rotation 14 – B. oat 1/Bean/S. hemp/Cons 1 (FR+BO1+CV+R)/B/CONS4 (BW+SH+MI)/BO2/S/SH/CONS6 (FR+BO1+R+CV – is one of the best alternatives as it combines high straw biological productivity with greater economic returns.

Keywords: Cover crops, organic agriculture, sustainability.

Resumen

Los abonos verdes en rotación de cultivos son alternativas para potenciar la implementación del Sistema Siembra Directa Orgánica, con el objetivo de sustituir el uso de agroquímicos basándose en los pilares del sistema de siembra directa, aliados a los principios de la agricultura orgánica. El estudio en la Unidad de Enseñanza e Investigación Orgánica de la UTFPR, campus Dois Vizinhos, evaluó el desempeño de 16 rotaciones de cultivos, enfocándose en una cosecha de granos y dos “cosechas” anuales de plantas de cobertura. La productividad total de biomasa (30977,47 a 45727,50 kg.ha⁻¹) y la productividad de granos (7171,37 a 11,599,19 kg.ha⁻¹) mostraron que la elección de la rotación es fundamental para cumplir con los supuestos de sostenibilidad ambiental y productividad biológica. La rotación 2 – A. negra 1/Soja/C. juncea/A. negra 1/Soja/Lablab/Consorcio 5 (NA 1+VC+NF)/Maíz/C. juncea/A. negra 1 – es estratégica debido a la productividad biológica del sistema, lo que resulta en la mejora de los atributos del suelo mediante la adición de rastrojos. La rotación 14 – A. negra 1/Frijol/C. juncea/Cons. 1 (NF+AN1+VV+C)/Frijol/Cons. 4 (TS+CJ+MI)/A. negra 2/Soja/C. juncea/Cons. 6 (NF+AN1+C+VC) – es una de las mejores alternativas, ya que asocia la productividad biológica del rastrojo con un mayor retorno económico.

Palabras-clave: Abono verde, agricultura orgánica, sustentabilidad.

INTRODUÇÃO

O mundo a cada dia enfrenta novas crises e, entre elas, a climática se apresenta como um dos maiores desafios globais da atualidade. A agricultura, ao mesmo tempo em que é impactada pelas mudanças climáticas, também desempenha um papel fundamental na mitigação de seus efeitos. Nesse sentido, a agricultura conservacionista sempre foi apresentada como uma estratégia ambientalmente adequada sob o ponto de vista do solo, por evitar ou reduzir o preparo do mesmo, especialmente sob condições de clima tropical.

Dessa forma, o Sistema Plantio Direto (SPD) surgiu como uma alternativa sustentável, promovendo a conservação do solo e a redução das emissões de gases de efeito estufa. No entanto, embora já com mais de meio século de adoção na agricultura brasileira, o seu uso tem sido negligenciado, seus conceitos se tornado confusos (Possamai *et al.*, 2022). Atualmente vivemos um momento em que passamos a buscar a adoção do que se convencionou chamar de agricultura regenerativa, que busca a regeneração do solo, especialmente no tocante às suas características biológicas, numa agricultura cada vez mais focada nos serviços ecossistêmicos, base do debate de qualidade do solo ou saúde do solo, iniciado nos anos de 1990 (Conceição *et al.*, 2022).

Por outro lado, a produção orgânica de alimentos nos últimos anos, no Brasil e no mundo, tem apresentado um aumento considerável tanto em área quanto em número de produtores. O FiBL Statistics (Instituto de Pesquisa de Agricultura Orgânica) (FiBL, 2025) divulgou, em fevereiro de 2025, uma série de documentos com as estatísticas relacionados à produtividade e área plantada com agricultura orgânica em todo o mundo, apontando que a produção orgânica mundial mais que dobrou sua área plantada, passando de 37 milhões de hectares em 2013, para 98,9 milhões em 2023.

No Brasil, houve um aumento de 41% entre 2013 e 2023 na área orgânica plantada, passando de 603 mil hectares para 1,02 milhões de hectares, ocupando o posto de oitavo país com maior exportação de orgânicos para a União Europeia e Estados Unidos (FiBL, 2025). Das unidades de produção orgânica no Brasil, por sua vez, aumentaram em quase cinco vezes o número de estabelecimentos certificados nos últimos 15 anos, passando de 5,4 mil em 2010 para 25.133 mil em 2025 (Brasil, 2025).

Porém, a maioria dos dados referentes às áreas de produção orgânica no Brasil ainda se referem a cultivos olerícolas ou de frutíferas (FiBL, 2025). Além do mais, na grande maioria dos sistemas de produção orgânica, o manejo do solo se dá por meio do revolvimento do solo com o uso de arados e grades (sistema denominado de preparo convencional), o que resulta na desagregação do solo, expondo o conteúdo de carbono orgânico (C) à oxidação microbiana (Cambardella; Elliott, 1993) e reduzindo o estoque de C no solo (Sá *et al.*, 2015).

Assim, a agricultura orgânica tem se baseado ao longo dos anos, basicamente, na substituição de insumos e na utilização de insumos liberados pelas normativas vigentes. Quando se trata do controle de plantas espontâneas, as práticas relacionadas ao manejo do solo passam a ser mais drásticas, uma vez que para o seu controle não são autorizados a utilização de herbicidas sintéticos. Desta forma, a maior parte dos agricultores orgânicos usam equipamentos como arados, subsoladores, grades aradoras e grades niveladoras para tentar realizar o controle das plantas espontâneas existentes na lavoura e que podem atrapalhar no desenvolvimento das culturas de interesse.

Para um adequado uso do SPD, torna-se necessário a utilização de práticas de manejos, como a rotação de culturas com a utilização de plantas de cobertura, uma vez que possibilita a melhoria nas condições químicas, físicas e biológicas no solo (Wildner, 2023, Ziech *et al.*, 2024), incrementando os níveis de C no solo por meio da conversão do CO₂ atmosférico em biomassa vegetal, criando um fluxo constante de C no solo (Sá *et al.*, 2014). Parte desse C é transferida para o solo através da deposição de resíduos vegetais, exsudação radicular e incorporação da matéria orgânica, realizada principalmente por espécies leguminosas (Bayer *et al.*, 2006).

A utilização de plantas de cobertura é uma técnica agrícola milenar que consiste na utilização de espécies, geralmente leguminosas (fabáceas) e gramíneas (poáceas) em rotação, sucessão ou consorciadas, com as culturas de interesse econômico (Monegat, 1991). A utilização de plantas de cobertura em rotação de culturas é uma das alternativas mais eficazes na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, aumentando, por consequência, a capacidade produtiva das culturas comerciais (Wildner, 2023; Wutke *et al.*, 2023; Calejari, 2023; Sá *et al.*, 2025).

Adotar o uso de plantas de cobertura em sistemas de rotação de culturas na produção orgânica, tem se tornado um elemento fundamental para trabalhar uma agricultura que busca diminuir o impacto dessa prática sobre o meio ambiente (Khatounian, 2001). A adoção dessa prática pelos agricultores, deve-se aos inúmeros benefícios que proporcionam ao solo e a cultura comercial (Wildner, 2023; Calegari, 2023).

O uso de plantas de cobertura tem demonstrado ser fundamental na consolidação do SPD. E, por conta disso, ao longo dos anos, outras vertentes foram sendo acrescentadas a partir da pesquisa, extensão e, portanto, passaram a ser adotadas pelo produtor rural. Destaca-se nessa concepção, o Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH), cujo trabalho tem se destacado em Santa Catarina a partir do final dos anos de 1990, visando a melhoria do sistema produtivo de olerícolas, em que o preparo de solo é uma prática muito agressiva (Fayad *et al.*, 2019).

Por outro lado, o SPD pode ser utilizado numa perspectiva da produção orgânica, buscando excluir o uso de herbicidas, a dependência de formulações químicas e evitar a possibilidade de contaminação das plantas, do solo e das fontes de água com agroquímicos (Darolt; Skora Neto, 2002; Bittencourt *et al.*, 2009; Altieri *et al.*, 2011).

De acordo com Darolt (2000), produtores preocupados em melhorar as condições de seu solo para o cultivo utilizam plantas de cobertura com a finalidade de suprir nutrientes para o seu solo a partir da decomposição da matéria orgânica, porém o fazem incorporando essa fitomassa ao solo com o auxílio de grades niveladoras. Esta prática, que acelera o processo de decomposição e liberação de nutrientes ao solo, acaba eliminando um dos principais pilares no sistema plantio direto e da agricultura conservacionista, que é o mínimo revolvimento do solo.

Assim, relativo à produção de grãos orgânicos, ao longo do tempo começaram a ocorrer iniciativas visando utilizar os benefícios do SPD para a produção orgânica, feita, na maioria das vezes, no preparo convencional do solo. Assim, alguns trabalhos buscaram desenvolver o SPD com um foco na produção orgânica (Anderson, 2015; Campos, 2018), uma vez que ainda existe uma série de limitantes que impossibilitam o avanço dessa tecnologia, como no tocante à fertilidade do solo e mais ainda no que compete ao controle

das plantas espontâneas (Barbéri, 2002; Anderson, 2015; Caboud *et al.*, 2019), resultando o que nesse artigo convencionamos tratar por Sistema Plantio Direto Orgânico (SPDO).

Nesse sentido, Fontaneti (2008) avaliou a dinâmica de plantas daninhas para a cultura do milho em experimento conduzido desde o ano de 2003 no município de Coimbra-MG sob plantio direto. Posteriormente outros trabalhos foram desenvolvidos (Correa, 2009; Penha, 2010; Alves, 2014; Coelho, 2014, Favarato *et al.*, 2015, Penha *et al.*, 2018; Coelho, 2018) envolvendo sistemas de produção orgânica em plantio direto. Favarato *et al.* (2016) citam a adoção desse sistema para avaliação de plantio de milho verde como uma estratégia interessante de produção visando melhorias do solo.

Percebe-se, portanto, que a avaliação de tecnologias voltadas para o manejo em áreas orgânicas e agroecológicas, sob diferentes tipos de manejo de solo, entre elas o plantio direto, vem sendo amplamente estudado desde 2012 por pesquisadores da Universidade do Oeste do Paraná – Unioeste (Seidel *et al.*, 2012; Favorito *et al.*, 2019; Herrmann *et al.*, 2020; Fey *et al.*, 2020) no entanto, ao longo desse tempo, carecendo de uma nomenclatura adequada e que faça jus a qualidade que essa nova estratégia de manejo possibilita ao solo.

Em 2017, a UTFPR-DV registrou junto ao CNPq o Grupo de Pesquisa em Sistema Plantio Direto Orgânico - GPSPDO, passando a desenvolver pesquisas nessa temática em uma área de nove hectares cedida pela coordenação da Agronomia, consolidada como Unidade de Extensão e Pesquisa – UNEPE Orgânica. O grupo de pesquisadores multidisciplinares passaram assim, a publicar trabalhos científicos voltados ao tema e áreas afins (Reginatto *et al.*, 2019; Sandrin *et al.*, 2020; Piloneto *et al.*, 2021; Rosa *et al.*, 2022; Rosa Jr. *et al.*, 2022) mencionando pela primeira vez de forma clara, a nomenclatura SPDO, debatida e publicada em trabalhos científicos (Reginatto, 2023; Reginatto *et al.*, 2024; Mandrik *et al.*, 2025).

Visando caracterizar essa nova abordagem, foi criada uma logomarca que identifica o SPDO e passou a ser utilizado em atividades do GPSPDO, bem como as entidades parceiras (Figura 1.a e 1.b). Por esse protagonismo da instituição, em 2023, quando foi criada a comissão de Sistema Plantio Direto Orgânico e Agricultura Regenerativa dentro da Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto (FEBRAPDP) a UTFPR assumiu um

papel relevante nesse debate junto com outros atores nacionais (FEBRAPDP, 2023). Essa comissão tem por foco discutir ações que possibilitem a adoção por parte dos agricultores do SPDO, bem como potencializar estudos e experimentos voltados à essa temática. Esses avanços, associados ao momento especial que vivemos em busca de pressupostos de sustentabilidade, propiciaram aprovação de projeto junto a Financiadora de Estudos (FINEP) em 2024, com foco em avanços no SPDO, mostrando o interesse pela temática no presente momento, especialmente no contexto agrobioalimentar (Jornal de Beltrao, 2025; Souza, 2025).

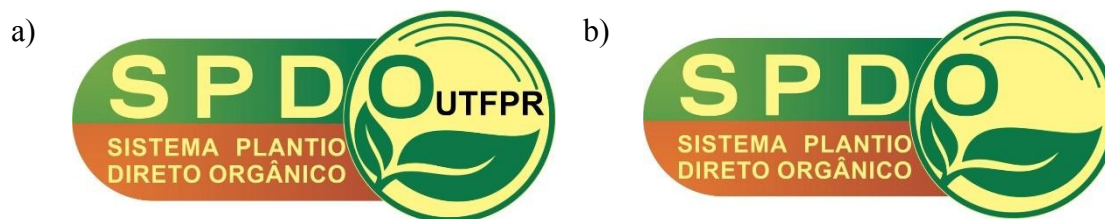


Figura 1. Logomarcas utilizadas pelo GPSPDO (a) e parceiros (b).

Fonte: Autores, 2023.

A partir de ampla revisão sobre o assunto efetuada por Reginatto (2023), uma questão que se mostrou evidente foi o fato de nenhum dos estudos até então apresentar uma definição clara do que é o SPDO. Desta forma, essas revisões permitiram analisar e propor uma definição no tocante ao que se entende por SPDO. Assim, conceituamos SPDO como “um conjunto de práticas, envolvendo plantas e solo, que buscam reduzir a utilização de adubos sintéticos e agroquímicos com base nos pilares do SPD aliado às premissas da agricultura orgânica e agroecológica”.

O SPDO se baseia em princípios agroecológicos que evitam o uso de insumos sintéticos, preservam a biodiversidade e fortalecem a resiliência dos ecossistemas agrícolas. Um dos benefícios adicionais deste sistema é a capacidade de sequestrar carbono no solo, fundamental num momento de emergências climáticas como as que vivemos. A rotação de culturas, com plantas de cobertura, favorece a ciclagem de nutrientes, melhora os serviços ecossistêmicos do solo, interrompe ciclos de pragas, doenças e plantas daninhas, e aumenta a eficiência no uso de recursos naturais, resultando em benefícios econômicos e ambientais a longo prazo (Malik *et al.*, 2024).

Com isso, este trabalho apresenta uma avaliação do desempenho das culturas comerciais e das plantas de cobertura de inverno, sobre diferentes rotações de culturas em SPDO, visando demonstrar a importância da adição da biomassa vegetal na proteção do solo, e, na atenuação dos riscos das emergências climáticas. Ao mesmo tempo, visa elucidar o papel do SPDO numa agricultura tropical emergente e que busca, cada vez mais, se aproximar da natureza, desempenhando ao mesmo tempo, papel de segurança alimentar e produtividade biológica associada com resiliência climática e sustentabilidade ambiental, mediante serviços ecossistêmicos adequados, propiciado pelas plantas de cobertura, especialmente quando utilizadas de forma simultânea via consórcios de plantas.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na Unidade Experimental de Pesquisa e Extensão (UNEPE - Orgânica) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR – Campus Dois Vizinhos), sob Latossolo Vermelho (Cabreira, 2015), com clima predominante Cfa, subtropical, com temperaturas superiores a 22°C no verão, superior a 30 mm de chuva no mês mais seco (Alvares, 2013), relevo levemente acidentado e com altitude de 520 metros do nível do mar e com regime de chuvas, temperaturas máximas e mínimas bem definidos (Figura 2).

O planejamento de rotação foi desenvolvido, inicialmente, seguindo especificidades de cada cultura e, de acordo com a época do ano, tendo como pressuposto a utilização de apenas uma cultura comercial no ano, normalmente no período do verão, sendo basicamente as culturas de milho, feijão e soja utilizados. No restante do período a lógica da rotação foi buscar ajustar o ciclo para os manejos com uma ou duas “safras” de plantas de cobertura, também denominadas de “plantas de serviço” de forma isolada ou em consórcios (duas ou mais espécies semeadas simultaneamente) conforme Figura 3, onde elencamos os dezesseis modelos de rotações, com suas combinações dentro de cada um dos quatro anos avaliados.

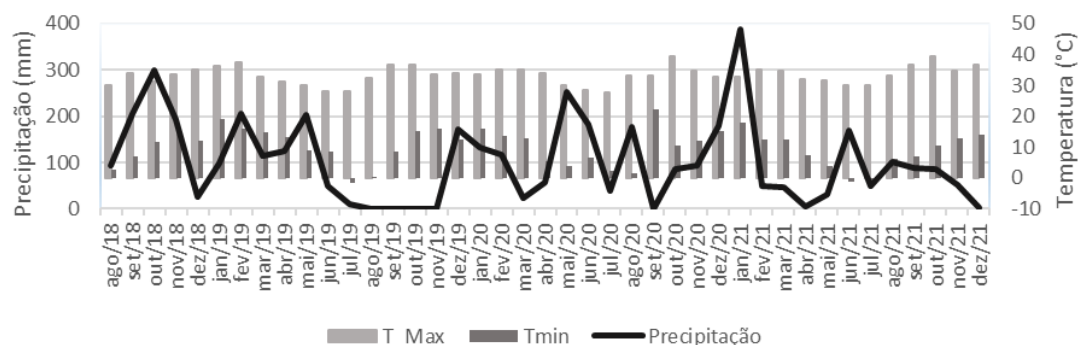


Figura 2. Regime de chuvas, temperaturas máximas e mínimas durante o período de realização do experimento.

Fonte: Inmet, 2023.

O delineamento experimental utilizado foi organizado em blocos casualizados (DBC), com dezesseis rotações de culturas, com três repetições, sendo estas representadas pelos blocos. Cada parcela totalizou uma área de 200 m² (5 x 40 m) para a avaliação das culturas de cobertura e seu efeito sobre as culturas comerciais, totalizando assim, 48 unidades experimentais.

Rotações	2018					2019					2020					2021													
	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Rotação 1							C. Juncea																						
Rotação 2	Aveia BRS 139						Milheto	Aveia BRS 139																					
Rotação 3							Lab-lab																						
Rotação 4							F. Guandu																						
Rotação 5							C. Juncea																						
Rotação 6	Aveia BRS 139						Milheto	Aveia IPR 126 + Trigo DP																					
Rotação 7							Lab-lab																						
Rotação 8							F. Guandu																						
Rotação 9							C. Juncea	Aveia IAPAR 61 + Centeio BRS Serrano																					
Rotação 10	Aveia BRS 139						Milheto																						
Rotação 11							Lab-lab																						
Rotação 12							F. Guandu																						
Rotação 13							C. Juncea																						
Rotação 14	Aveia BRS 139						Milheto																						
Rotação 15							Lab-lab																						
Rotação 16							F. Guandu																						

Figura 3. Modelo de rotações de culturas para quatro anos de manejo.

Fonte: Autores, 2023.

As plantas de cobertura semeadas de forma solteiras e em consórcio, e as culturas comerciais utilizadas na montagem das unidades experimentais foram: AP1: Aveia preta BRS 139, AP2: Aveia preta IPR 61, AB: Aveia branca IPR126, C: Centeio, CJ: Crotalaria juncea, EC: Ervilhaca comum, EP: Ervilhaca peluda, G: Guandu, LL: Lablab, MI: Milheto, NF: Nabo forrageiro, TDP: Trigo duplo propósito, TM: Trigo mourisco, S: Soja, F: Feijão, M: Milho, CONS1: NF+AP1+EP+C (10%, 40%, 20%, 30%, respectivamente), CONS2: AP2+C (50%, 50%, respectivamente), CONS3: AB+TDP (50%, 50%,

respectivamente), CONS4: TM+CJ+MI (54%, 30%, 16%, respectivamente), CONS 5: AP1+EC+NF (60%, 30% e 10%, respectivamente), CONS6: NF+AP1+C+EC (7%, 46%, 25%, 22%, respectivamente), os mix de plantas de cobertura comerciais RX330® (AP, C, Ervilhaca peluda e Ervilhaca comum) e RX610® (AP, Ervilhaca Peluda, Ervilhaca Comum e Nabo Pivotante).

A semeadura das plantas de cobertura foi realizada em diferentes épocas, verão/outono e inverno. A semeadura foi realizada em linhas com o auxílio de semeadora regulada com espaçamento de 22,5 cm para culturas de verão/outono e 17 cm entrelinhas para as culturas de inverno, sendo a densidade de semeadura colocada de acordo com a especificação técnica para cada cultura.

A semeadura das plantas de cobertura no verão de 2019 (*Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan*, *Penisetum glaucum* e *Lablab purpureus*) ocorreu no mês de fevereiro e foi realizada em faixas, com uma densidade de semeadura de 30 kg/ha para *C. juncea*, 40 kg.ha⁻¹ para *C. cajan*, 20 kg.ha⁻¹ para *P. glaucum* e 46 kg.ha⁻¹ para *L. purpureus*.

As plantas de cobertura do inverno de 2019 foram semeadas nas densidades de 90 kg.ha⁻¹ de *Avena strigosa* (variedade BRS 139), o Consórcio 1, composto de *A. strigosa* (Variedade BRS 139) + *S. cereale* (Variedade BRS Serrano) + *Vicia villosa* (Variedade ametista) + *Raphanus sativus* (Variedade IPR 116), na proporção de 40%, 30%, 20% e 10%, respectivamente, na densidade de 70 kg.ha⁻¹, o Consórcio 2, composto de *A. strigosa* (Variedade IAPAR 61) + *Secale cereale* (Variedade BRS Serrano), na proporção de 60% e 40%, respectivamente, em uma densidade de 70 kg.ha⁻¹, o Consórcio 3, composto de *Avena sativa* (variedade IAPAR 126) + *Triticum aestivum* (cultivar lenox - duplo propósito), na proporção de 50% de cada espécie com densidade de 60 kg.ha⁻¹.

Na safrinha de 2020 foi realizada a semeadura do Consórcio 4, composto de *C. juncea* + *T. mourisco* + Milheto, na proporção de 30%, 54% e 16%, e densidade de 60 kg.ha⁻¹. A semeadura do lablab foi realizada na densidade de 46 kg.ha⁻¹. A semeadura de trigo mourisco foi realizada com uma densidade de 70 kg.ha⁻¹.

As culturas de inverno do ciclo 2020 foram o mix comercial RX 330, composto das culturas de ervilhaca peluda e comum, aveia preta e centeio, o qual foi semeado com a densidade de 105 kg.ha^{-1} . Realizando também a semeadura do mix RX 610, composto das culturas ervilhaca comum e peluda, aveia preta e nabo pivotante numa densidade de 100 kg.ha^{-1} . A aveia preta IAPAR 61, foi semeada na densidade de 97 kg.ha^{-1} , enquanto que o Consórcio 5, composto de aveia preta BRS 139, ervilhaca comum e nabo forrageiro (proporção, 60%, 30% e 10%, respectivamente) foi semeado na densidade de 85 kg.ha^{-1} .

Já para a safra de verão de 2021, foram semeados *C. juncea* cv. IAC-1 na densidade de 30 kg.ha^{-1} , para *P. glaucun* cv. BRS 1501 a densidade foi de 20 kg.ha^{-1} e para *L. purpureus* cv. Rongai a densidade de semeadura foi de 46 kg.ha^{-1} , além do Consórcio 4. Devido à baixa disponibilidade hídrica registrada para o período (Gráfico 1), o desenvolvimento das plantas de cobertura foi afetado significativamente.

No ciclo de inverno 2021 foi semeado aveia preta IAPAR 61 na densidade de 60 kg.ha^{-1} e o Centeio com densidade de 80 kg.ha^{-1} . A aveia preta BRS 139 foi semeada com densidade de 80 kg.ha^{-1} e o Consórcio 6, composto de nabo forrageiro, aveia preta BRS 139, centeio e ervilhaca comum (7%, 46%, 25%, 22%, respectivamente) foi semeado com densidade de 100 kg.ha^{-1} .

O manejo das plantas de cobertura foi realizado com rolo faca com lâminas cegas helicoidais, rolinhos acoplados na semeadora e roçadeira tratorizada, de acordo com o ano e disponibilidade de equipamentos.

O controle de doenças e pragas foi realizado utilizando manejo biológico e instalação de iscas, buscando o controle de insetos-praga, já o manejo de plantas espontâneas foi realizado manualmente com enxadas e roçadeira costal juntamente com o auxílio de roçadeira tratorizada.

A massa seca da parte aérea das plantas de adubação verde foram avaliadas de acordo à metodologia utilizada por Ziech *et al.*, (2015), em que foram obtidas subamostras de $0,25\text{m}^2$, que conformaram uma amostra única. As amostras foram coletadas no período de pleno florescimento das culturas das famílias fabáceae e polygonáceae ou no momento

denominado como grão leitoso para as poáceas. O material coletado foi seco em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de $\pm 60^{\circ}\text{C}$ até atingirem peso constante e, em seguida, pesado para a obtenção da massa seca e convertido para área total.

As análises estatísticas foram realizadas por meio de análise de variância DBC, em que as médias foram comparadas utilizando o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa estatístico computacional Sisvar, versão 5.8 (Ferreira, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fase inicial das avaliações de campo foi marcada com a coleta da massa seca (MS) da aveia que se encontrava na área em agosto de 2018. Esse momento foi muito importante para os próximos períodos do desenvolvimento do trabalho, uma vez que as diferenças significativas na quantidade de massa seca entre os diferentes blocos acabou interferindo no seguimento das rotações.

Assim, o bloco 01 obteve uma quantidade média de palhada de $5,5 \text{ ton.ha}^{-1}$ de massa seca; no bloco 02 e no bloco 03, a quantidade de palhada foi de $3,8 \text{ ton.ha}^{-1}$. Essa diferença na quantidade de MS deve-se às diferentes épocas de semeadura da aveia realizada anterior ao momento de ser passado o projeto de SPDO.

As médias de produtividade de MS das plantas de cobertura de inverno no ano de 2020 (Tabela 1) não apresentaram diferenças significativas entre si. Mesmo entre os mix comerciais, consórcios realizados pelo projeto ou até mesmo pela cultura solteira de aveia preta. Isso está em linha com o histórico da safra anterior (rotação antecessora) em que o talhão foi cultivado tanto no verão quanto na safrinha com a mesma cultura, sem haver as subdivisões em faixas.

Já na avaliação correspondente à safrinha de 2021, na qual foram semeadas as plantas de cobertura outonais milheto, *C. juncea*, Lab Lab e o Consórcio 4 de TM+CJ+MI, nas proporções de 54%, 30% e 16%, respectivamente, apresentou um desenvolvimento abaixo do esperado devido à baixa disponibilidade hídrica nesse período (Figura 2).

Mesmo assim, essa variação nas combinações foi sentida na avaliação das culturas de inverno onde as culturas gramíneas (Aveia preta BRS 139 e Centeio BRS Serrano) apresentaram os piores resultados quando cultivadas numa sequência de duas gramíneas (Milho e Milheto). A presença da soja ou feijão como cultura de verão modificou essa situação, mostrando a importância da rotação de culturas.

Tabela 1. Produção de matéria seca (MS) das plantas de cobertura de inverno utilizadas na rotação para as safras 2020 e 2021.

ROTAÇÃO	CULTURAS NA ROTAÇÃO	SAFRA 2020		SAFRA 2021	
		Cultura Inverno	MS (kg.ha ⁻¹)	Cultura Inverno	MS (kg.ha ⁻¹)
1	AP1/S/MI/AP1/S/LL/CONS5/M/MI/AP1	CONS5: N+AP+EC	6880 ns	AP BRS 139	3493 b
2	AP1/S/CJ/AP1/S/LL/CONS5/M/CJ/AP1	CONS5: N+AP+EC	6466 ns	AP BRS 139	3547 b
3	AP1/S/LL/AP1/S/LL/CONS5/M/LL/AP1	CONS5: N+AP+EC	6933 ns	AP BRS 139	5293 a
4	AP1/S/G/AP1/S/LL/CONS5/M/CONS4/AP1	CONS5: N+AP+EC	6973 ns	AP BRS 139	4973 a
5	AP1/S/MI/CONS3/S/RX330/F/MI/AP2	RX 330	5250 ns	AP IAPAR 61	5880 a
6	AP1/S/CJ/CONS3/S/RX330/F/CJ/AP2	RX 330	4684 ns	AP IAPAR 61	5293 a
7	AP1/S/LL/CONS3/S/RX330/LL/CJ/AP2	RX 330	5309 ns	AP IAPAR 61	5867 a
8	AP1/S/G/CONS3/S/RX330/F/CONS4/AP2	RX 330	5281 ns	AP IAPAR 61	6773 a
9	AP1/S/MI/CONS2/F/TM/RX 610/M/MI/C	RX 610	7443 ns	C SERRANO	4573 b
10	AP1/S/CJ/CONS2/F/TM/RX 610/M/CJ/C	RX 610	6439 ns	C SERRANO	6347 a
11	AP1/S/LL/CONS2/F/TM/RX 610/M/LL/C	RX 610	6456 ns	C SERRANO	4520 b
12	AP1/S/G/CONS2/F/TM/RX 610/M/CONS4/C	RX 610	6278 ns	C SERRANO	4067 b
13	AP1/F/MI/CONS1/F/CONS4/AP2/S/MI/CONS6	AP IAPAR 61	5771 ns	CONS6: N+AP+C+EC	5547 a
14	AP1/F/CJ/CONS1/F/CONS4/AP2/S/CJ/CONS6	AP IAPAR 61	6415 ns	CONS6: N+AP+C+EC	5533 a
15	AP1/F/LL/CONS1/F/CONS4/AP2/S/LL/CONS6	AP IAPAR 61	6403 ns	CONS6: N+AP+C+EC	5600 a
16	AP1/F/G/CONS1/F/CONS4/AP2/S/CONS4/CONS6	AP IAPAR 61	5685 ns	CONS6: N+AP+C+EC	5573 a
		CV (%)	17,3		19,38

AP1: Aveia preta BRS 139, AP2: Aveia preta IAPAR 61, AB: Aveia branca IPR126, C: Centeio, CJ: Crotalaria juncea, EC: Ervilhaca comum, EP: Ervilhaca peluda, G: Guandu, LL: Lablab, MI: Milheto, NF: Nabo forrageiro, TDP: Trigo duplo propósito, TM: Trigo mourisco, S: Soja, F: Feijão, M: Milho, CONS1: NF+AP1+EP+C (10%, 40%, 20%, 30%, respectivamente), CONS2: AP2+C (60%, 40%, respectivamente), CONS3: AB+TDP (50%, 50%, respectivamente), CONS4: TM+CJ+MI (54%, 30%, 16%, respectivamente), CONS 5: AP1+EC+NF (60%, 30% e 10%, respectivamente), CONS6: NF+AP1+C+EC (7%, 46%, 25%, 22%, respectivamente), os mix de plantas de cobertura comerciais RX330® (AP, C, Ervilhaca peluda e Ervilhaca comum) e RX610® (AP, Ervilhaca Peluda, Ervilhaca Comum e Nabo Pivotalante). ns - Não significativo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Autores, 2023.

Ao analisar as quantidades de nutrientes extraídos e exportados pelas principais culturas comerciais, de acordo com manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (Pauletti e Motta, 2019), encontramos que para o milho são necessários: N - 35,9 kg.ton⁻¹; P - 7,3 kg.ton⁻¹, K - 22,5 kg.ton⁻¹, para a soja: N - 113,2 kg.ton⁻¹; P - 10,6 kg.ton⁻¹, K - 44,3 kg.ton⁻¹, e para o feijão: N - 73,0 kg.ton⁻¹; P - 9,0 kg.ton⁻¹, K - 52,0 kg.ton⁻¹.

Quando juntamos esses valores com as médias de produtividade das culturas de milho (Batista *et al.*, 2018; 2019) e soja (Oligini, 2019) com os dados de nutrientes acumulados na massa seca de diversas plantas de cobertura (Alvarenga *et al.*, 1995; Alcantara *et al.*,

2000; Silva *et al.*, 2006; Pacheco *et al.*, 2013), podemos afirmar que as plantas de cobertura conseguem fixar e/ou ciclar volumes significativamente superiores de nutrientes aos extraídos e exportados pelas culturas comerciais. Desta forma, a utilização das plantas de cobertura selecionadas conforme a exigência de cada cultura comercial, pode suprir boa parte da demanda por nutrientes, reduzindo a necessidade de uso de adubos sintéticos altamente solúveis, além de contribuir para a reposição de nutrientes e manutenção da fertilidade nos sistemas de produção.

Com essa abordagem, os custos com insumos externos diminuem, enquanto que as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo se tornam mais equilibradas. A adoção de rotações de culturas na área proporciona o fornecimento de biomassa que, ao se transformar em matéria orgânica, favorece a reorganização do ecossistema. Esse processo estabelece um maior equilíbrio na relação solo-planta e resulta em um aumento progressivo da produtividade, tanto de biomassa quanto de grãos, ao longo dos anos.

Como forma de corroborar com essas afirmações, ao final do acompanhamento das diferentes rotações de culturas, foi possível realizar um levantamento que demonstra qual das rotações apresentou maior aporte de massa seca durante todo o período de acompanhamento, ao mesmo tempo em que foi possível verificar qual das rotações apresentou maior produtividade das culturas comerciais colocadas dentro de cada sistema.

Assim, os valores de produtividade total de palhada do sistema (MS total), de produtividade de grãos (PROD) e o retorno econômico bruto (RETORNO) demonstram quais rotações apresentaram maior aporte de massa seca e produtividade das culturas comerciais durante os três anos de acompanhamento (Tabela 2).

Os dados evidenciam que as rotações 10 e 2 apresentaram maior aporte de MS, ao mesmo tempo que as rotações 1 a 4 apresentaram, também, os maiores valores de produtividade das culturas comerciais. Por outro lado, as rotações que mais deram retorno econômico bruto foram de 13 a 16, principalmente em função da presença de duas safras de feijão nessas rotações. Porém, percebe-se que a variação na biomassa entre a rotação 10 (45727 Kg.ha⁻¹) e 7 (25389 Kg.ha⁻¹) foi superior a 20 toneladas nas três safras, o que mostra a

importância da escolha certa da rotação quando se trata de aumentar o aporte de biomassa ao solo, contribuindo para o sequestro de C da atmosfera.

Tabela 2. Produtividade total de massa seca (MS) do sistema de rotações, produtividade (PROD.) total de grãos das culturas comerciais e retorno econômico dos diferentes sistemas.

ROTAÇÃO	CULTURAS NA ROTAÇÃO	MS Total (kg.ha ⁻¹)	Prod. (kg.ha ⁻¹)	RETORNO (R\$)
1	AP1/S/MI/AP1/S/LL/CONS5/M/MI/AP1	37490 b	10949 a	20.640,30 d
2	AP1/S/CJ/AP1/S/LL/CONS5/M/CJ/AP1	41686 a	10473 a	19.877,65 d
3	AP1/S/LL/AP1/S/LL/CONS5/M/LL/AP1	39678 b	11599 a	21.189,63 d
4	AP1/S/G/AP1/S/LL/CONS5/M/CONS4/AP1	38810 b	10849 a	20.462,38 d
5	AP1/S/MI/CONS3/S/RX330/F/MI/AP2	25176 d	7964 b	27.670,15 b
6	AP1/S/CJ/CONS3/S/RX330/F/CJ/AP2	30620 c	7691 b	28.076,42 b
7	AP1/S/LL/CONS3/S/RX330/LL/CJ/AP2	25389 d	7230 b	24.846,96 c
8	AP1/S/G/CONS3/S/RX330/F/CONS4/AP2	26627 d	7345 b	25.351,49 c
9	AP1/S/MI/CONS2/F/TM/RX 610/M/MI/C	38077 b	8980 b	20.918,29 d
10	AP1/S/CJ/CONS2/F/TM/RX 610/M/CJ/C	45727 a	9147 b	19.860,25 d
11	AP1/S/LL/CONS2/F/TM/RX 610/M/LL/C	36150 b	8548 b	18.768,92 d
12	AP1/S/G/CONS2/F/TM/RX 610/M/CONS4/C	37740 b	8405 b	18.666,58 d
13	AP1/F/MI/CONS1/F/CONS4/AP2/S/MI/CONS6	33936 c	7171 b	31.856,92 a
14	AP1/F/CJ/CONS1/F/CONS4/AP2/S/CJ/CONS6	39310 b	7008 b	32.641,04 a
15	AP1/F/LL/CONS1/F/CONS4/AP2/S/LL/CONS6	33559 c	7210 b	32.564,16 a
16	AP1/F/G/CONS1/F/CONS4/AP2/S/CONS4/CONS6	30977 c	7533 b	32.626,70 a
CV (%)		7,78	13,87	11,93

AP1: Aveia preta BRS 139, AP2: Aveia preta IAPAR 61, AB: Aveia branca IPR126, C: Centeio, CJ: *Crotalaria juncea*, EC: Ervilhaca comum, EP: Ervilhaca peluda, G: Guandu, LL: Lablab, MI: Milheto, NF: Nabo forrageiro, TDP: Trigo duplo propósito, TM: Trigo mourisco, S: Soja, F: Feijão, M: Milho, CONS1: NF+AP1+EP+C (10%, 40%, 20%, 30%, respectivamente), CONS2: AP2+C (60%, 40%, respectivamente), CONS3: AB+TDP (50%, 50%, respectivamente), CONS4: TM+CJ+MI (54%, 30%, 16%, respectivamente), CONS 5: AP1+EC+NF (60%, 30% e 10%, respectivamente), CONS6: NF+AP1+C+EC (7%, 46%, 25%, 22%, respectivamente), os mix de plantas de cobertura comerciais RX330® (AP, C, Ervilhaca peluda e Ervilhaca comum) e RX610® (AP, Ervilhaca Peluda, Ervilhaca Comum e Nabo Pivotante). Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Valores: Soja R\$ 136,46, Feijão R\$ 394,82, Milho R\$ 67,46, (Fonte: PARANÁ, 2023).
Fonte: Autor (2023).

A rotação 2 se apresenta como uma excelente estratégia ao aliar produtividade biológica do sistema (kg de palhada) que ao longo do tempo resultará em melhoria dos atributos do solo pela adição de palhada ao sistema, com maior produtividade biológica em quilogramas de alimento para a população representando soberania alimentar. No entanto, não remunera tão significativamente o produtor neste período de três anos, mostrando que equilíbrio ambiental (soberania alimentar e adição ambiental) nem sempre se associam com retorno econômico.

Ao mesmo tempo, a rotação 14 se apresenta como uma excelente alternativa entre as 16 testadas ao associar maior produtividade biológica de palhada com maior retorno econômico. Embora no quesito produção de grãos tenha apresentado valores abaixo dos

demais sistemas (7008 Kg.ha^{-1} versus 11599 Kg.ha^{-1} do melhor sistema), mostrando mais uma vez a dificuldade de associar os três pilares em teste: soberania alimentar, produtividade biológica do sistema e retorno econômico.

Assim, embora os sistemas com duas safras de feijão e uma de soja, no primeiro período de rotação de três anos tenham se mostrado os economicamente mais interessantes, resta saber se, ao longo de anos de adoção dessa rotação, o quanto eles efetivamente serão eficientes, principalmente pelo fato que dos quatro sistemas com plantas de cobertura testados, três se apresentaram como as rotações com baixa prioridade no quesito produtividade biológica do sistema (Kg de palhada) e soberania alimentar (kg de grãos como alimentos).

Mas, ao mesmo tempo, a rotação 14, que inclui a rotação comercial Feijão/Feijão/Soja, mostrou-se o mais interessante no sistema por aliar produção de palhada com retorno econômico. O diferencial nesse sistema, em relação aos demais, é a presença de uma leguminosa que é a *Crotalaria juncea*, cultivada na safrinha, que agrega maiores quantidades de matéria seca ao sistema e é uma excelente fixadora de nitrogênio, o que, possivelmente, tenha resultado em ganhos econômicos na segunda safra (feijão) e na terceira safra (soja), pois ela também está presente na mistura de sementes denominada como CONS4 composta por trigo mourisco, milheto e *Crotalaria Juncea*.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados reforçam o papel estratégico do Sistema Plantio Direto Orgânico (SPDO) como uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente robusta para a produção de grãos em sistemas orgânicos e agroecológicos. A escolha adequada de plantas de cobertura e a composição de rotações de culturas demonstraram impactos diretos na produtividade e na quantidade de massa seca produzida. A rotação 2 evidenciou forte capacidade de acúmulo de palhada, essencial para a melhoria dos atributos do solo, ainda que com retorno econômico mais limitado. Já a rotação 14 conseguiu aliar, de forma promissora, a produtividade de biomassa e retorno econômico, ainda que com limitações

na produção total de grãos. Essas constatações indicam que o tripé da sustentabilidade agrícola - produção, resiliência ambiental e viabilidade econômica - pode ser melhor equilibrado com o uso adequado das plantas de cobertura, além do redesenho dos sistemas produtivos a partir de uma lógica agroecológica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O SPDO não apenas melhora a sustentabilidade produtiva, mas também se destaca como um aliado estratégico na mitigação das mudanças climáticas, reforçando seu papel como um modelo viável de produção agrícola regenerativa. Diante da emergência climática, a adoção de sistemas agrícolas regenerativos, como o SPDO, deve ser incentivada por meio de políticas públicas, incentivos financeiros e programas de capacitação. Especialmente quando analisamos o impacto da catástrofe ambiental que abalou o Rio Grande do Sul em 2023, resultando em áreas com perda de 85% do estoque de matéria orgânica, sistemas mais resilientes e com maiores adições de biomassa vegetal devem ser preconizados para buscar viabilizar essas áreas que podem levar mais de meio século para se recuperarem com o uso das tecnologias tradicionais e dominantes.

AGRADECIMENTOS

Às instituições que financiaram e apoiaram este trabalho de pesquisa, incluindo o CNPq, por meio do Doutorado Acadêmico em Inovação, sob processo 23064.035594/2019-49, à Gebana Brasil, à CAPES pelo programa de pós-graduação, à Itaipu Parquetec pelo projeto de extensão vigente e à UTFPR.

Copyright (©) 2025 - Maicon Reginatto, Paulo Cesar Conceição, Geovana Beatriz Mandrik

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, F. A.; *et al.* Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.2, p. 277-288, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000200006>. Acesso em: 15 jul. 2025.

ALTIERI, M. A.; *et al.* Enhancing crop productivity via weed suppression in organic no-till cropping systems in Santa Catarina, Brazil. **Journal of Sustainable Agriculture**, v.35, n. 8, p. 855–869, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.588998>. Acesso em: 13 jun. 2025.

ALVARES, C. A.; *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, No. 6, p. 711 – 728. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 09 jul. 2025.

ALVARENGA, R. C.; *et al.* Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p.175-185, 1995. ISSN 1678-3921. Disponível em: <https://apct.sede.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4290>. Acesso em: 03 jun. 2025.

ALVES, E. M. **Produção de milho-verde e grãos consorciados com Leguminosas em sistemas de plantio direto orgânico**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFV_ce50411788b2089c0026f018e9b9a2e0 Acesso em: 15 jul. 2025.

ANDERSON, R. Integrating a complex rotation with no-till improves weed management in organic farming. A review. **Agron. Sustain. Dev.** v. 35, p. 967-974, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0292-3> Acesso em: 15 jul. 2025.

BARBÉRI, P. Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? **Weed Research**, Oxford, v. 42, p. 177- 193, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2002.00277.x> Acesso em: 15 jul. 2025.

BATISTA, V. V.; *et al.* Componentes de rendimento e produtividade de híbridos de milho cultivados em safrinha. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.11, n.2, p.67-75, 2018. Disponível em: <https://DOI:10.5935/PAeT.V11.N2.07> Acesso em: 15 jul. 2025.

BATISTA, V. V.; *et al.* Densidades de plantas e níveis de nitrogênio no desempenho de híbridos de milho em safrinha. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**. v. 7, n. 2, p. 117-125, mar/abr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6681>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BAYER, C.; *et al.* Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 86, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.023>. Acesso em: 10 jul. 2025.

BITTENCOURT, H. V. H.; *et al.* Produtividade de feijão- feijão - guará e efeito supressivo de culturas de cobertura de inverno em espontâneas de verão. **Produção Vegetal, Acta Sci.**, Agron. 31, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.988>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BRASIL. Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA), **Cadastro Nacional de Produtores Orgânicos**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/cadastro-nacional-produtores-organicos> . Acesso em: 15 mar. 2025.

CABOUD, L. V.; *et al.* Using mulch from cover crops to facilitate organic no-till soybean and maize production. A review. **Agronomy for Sustainable Development**. Vol. 39. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0590-2>. Acesso em: 10 jul. 2025.

CABREIRA, M. A. F. **Levantamento de solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Dois Vizinhos. 2015.** – Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Florestal, UTFPR, Dois Vizinhos, Paraná, 2015. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10932>. Acesso em: 19 mar. 2025.

CALEGARI, A. Perspectivas e estratégias para a sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com o uso de adubos verdes. In.: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J. ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: Fundamento e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 507 p. 2023. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1153241> Acesso em: 03 mar. 2025.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E.T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 57, p. 1071-1076, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700040032x> Acesso em: 22 mar. 2025.

CAMPOS, S. A.; *et al.* Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico sob plantio direto. **Agrarian**. V. 11. p. 230-240, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i41.6859>. Acesso em: 01 abr. 2025.

COELHO, S. P. **Coberturas vegetais no sistema de plantio direto orgânico de milho**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014. Disponível em: <https://bibliotecasemiarios.ufv.br/jspui/handle/123456789/1649>. Acesso em: 03 mar. 2025.

_____. **Azospirillum brasilense no sistema de plantio direto orgânico e convencional de milho**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/24167>. Acesso em: 03 mar. 2025.

CONCEIÇÃO, P. C.; *et al.* Plantas de cobertura e saúde do solo. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. de F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. da. (Org.). **Bioinsumos na Cultura da Soja**. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa, v. 1, p. 227-248. ISBN: 978-65-87380-96-4. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1143066/bioinsumos-na-cultura-da-soja> Acesso em: 15 jul. 2025.

CORREA, M. L. P. **Cultivo orgânico de milho em sistemas de plantio direto**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. Disponível em: <http://locus.ufv.br/handle/123456789/1122>. Acesso em: 13 abr. 2025.

DAROLT, M. R.; SKORA NETO, F. de Plantio Direto em agricultura orgânica. Passo Fundo, **Revista Plantio Direto**. N. 70, Aldeia Norte Editora: p. 28-30, 2002. Disponível em: <https://cdn.ciorganicos.com.br/wp-content/uploads/2012/07/Plantio-1>. Acesso em: 12 jul. 2025.

DAROLT, M. R. **As dimensões da sustentabilidade**: Um estudo da agricultura orgânica na região metropolitana de Curitiba-PR. Curitiba. 2000. 310 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/36219066> As dimensoes da sustentabilidade um estudo da agricultura organica na regio metropolitana de Curitiba Parana Acesso em: 12 abr. 2025.

FAYAD, J.A.; *et al.* **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças**. Epagri: Florianópolis, 331p. ISBN 978-85-7743-365-0, 2019.

FAVARATO, L. F.; *et al.* Atributos químicos do solo sobre diferentes plantas de cobertura no sistema plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 5, p. 19-28, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.21206/rbas.v5i2.312>. Acesso em: 25 abr. 2025.

FAVARATO, L. F.; *et al.* Flamethrower application time in weed control. **Planta Daninha**. v.34, n.2, p. 327-332, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340200014>. Acesso em: 12 jun. 2025.

FAVORITO, A *et al.* Application of Biofertilizers in Cover of and Its Effects on Organic Maize. **Journal of Experimental Agriculture International**. v. 39, n.6, p. 1-7, 2019. DOI:10.9734/jeai/2019/v39i630349. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/334908687> Application of Biofertilizers in Cover of and Its Effects on Organic Maize. Acesso em: 23 jul. 2025

FEBRAPDP, Federação Brasileira do Sistema Plantio Direto. FEBRAPDP aposta na capilaridade e multiplicidade para levar SPD ainda mais longe. **Notícias FEBRAPDP**. 16 mar 2023. Disponível em: <https://plantiodireto.org.br/febrapdp-aposta-na-capilaridade-e-multiplicidade-para-levar-spd-ainda-mais-longo> Acesso em: 16 jun. 2025.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec.** vol. 38, n.2, p. 109-112, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>. Acesso em: 15 mar. 2025.

FEY, E. *et al.* Relato de experiência de controle de plantas espontâneas em cultivos agroecológicos de soja, milho e feijão em sistema plantio direto. **Cadernos de Agroecologia** – ISSN 2236-7934 - Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, São Cristóvão, Sergipe - v. 15, n. 2, 2020. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/6156>. Acesso em: 23 jul. 2025.

FiBL. Research Institute of Organic Agriculture. **Key indicators on organic agriculture worldwide**. Disponível em: <https://statistics.fibl.org/world/key-indicators.html> . Acesso em: 15 mar. 2025.

HERMANN, D. R.; *et al.* Respiração microbiana em sistema de manejo orgânico e convencional com semeadura direta. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, p. 1, 2020. ISSN 2236-7934. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/5100>. Acesso em: 23 jul. 2025.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, Brasília, DF, Brasil. **Tabela de Dados das Estações**. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes>. Acesso em: 23 jul. 2025.

KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu, Agroecológica, 2001. ISBN 85-88581-26-4.

MALIK, A. I.; *et al.* Exploring the plant and soil mechanisms by which crop rotations benefit farming systems. **Plant and Soil**, v. 507, p. 1-9, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06994-z>. Acesso em: 09 mai. 2025.

MANDRIK, G. B.; REGINATTO, M.; CONCEIÇÃO, P. C. Produção de massa seca de plantas de cobertura de inverno em Sistema Plantio Direto Orgânico comparativo entre os anos de 2020 e 2021: alternativa sustentável para a produção de biomassa. **Anais da IX Reunião Paranaense de Ciência do Solo** [livro eletrônico]: diversidade, funções e usos do Solo: desafios e oportunidades / organizadores Marcelo Ricardo de Lima, Glaciela Kaschuk. - Curitiba, PR: NEPAR-SBCS: Universidade Federal do Paraná - UFPR, 2025. Disponível em: <https://sbc-s-nepar.org.br/wp-content/uploads/2025/05/Anais-IX-RPCS.pdf> Acesso em: 16 jun 2025.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó. Ed. do autor, 1991. 337 p. ISSN: 2674-9521/1413-5219.

OLIGINI, K. F. **Relação entre épocas de semeadura e grupos de maturação de cultivares de soja na viabilidade técnica e econômica do milho safrinha no sul do Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3983>. Acesso em: 24 abr. 2025.

PACHECO, L. P.; *et al.* Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura e produtividade de soja e arroz em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.48, n.9, p.1228-1236, set. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000900006>.

PARANÁ, Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Cotação Diária – SIMA**. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Pagina/Cotacao-diaria-SIMA-1875> . Acesso em: 12 abr 2023.

PAULETTI, V., MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 2 Ed. Curitiba: SBCS/NEPAR. 2019. 289 p. ISBN: 978-85-69146-07-0.

PENHA, L. A. O. **Controle cultural de plantas daninhas em soja orgânica em plantio direto**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010. Disponível em: <https://repositorio.uel.br/handle/123456789/12284>. Acesso em: 26 abr. 2025.

PENHA, L. A. O; PASSINI, T.; GOMES, H. L. L. Consórcio de canola com aveia-preta em sistema plantio direto orgânico para produção de grãos e palha e manejo de plantas daninhas. **Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 – Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF** – Vol. 13, nº 1, Jul. 2018. ISSN 2236-7934. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/1793> Acesso em: 14 jun. 2025.

PILONETO, G. L.; *et al.* Fertilizantes orgânicos, minerais e remineralizadores do solo no sistema de plantio direto orgânico de grãos. In.: **VII Reunião Paranaense de Ciência do Solo**. 2021. Evento on-line, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31007> Acesso em: 14 jun. 2025.

POSSAMAI, E. J.; *et al.* Adoption of the no-tillage system in Paraná State: A (re)view. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, p. 1-24, 2022. ISSN 1806-9657, Disponível em: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210104>. Acesso em: 24 jun. 2025.

Projeto dirigido pela UTFPR recebe investimento de quase R\$ 5 mi. **Jornal de Beltrão**, 08 janeiro 2025. Disponível em: <https://jornalbeltrao.com.br/regional/projeto-dirigido-pela-utfpr-recebe-investimento-de-quase-r-5-mi/> Acesso em: 16 jun. 2025.

REGINATTO, M.; *et al.* Aerofotogrametria de áreas em Sistema de Plantio Direto Orgânico. In.: **Semana Nacional de Ciência e Tecnologia: V Congresso de Ciência e Tecnologia da UTFPR Câmpus Dois Vizinhos (V CCT), II Mostra Científica da Pós-Graduação, IV Simpósio da Agricultura Familiar**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Dois Vizinhos, outubro 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31889>. Acesso em: 15 jun. 2025.

REGINATTO, M. Sistema Plantio Direto Orgânico: Rotações de cultura e controle mecânico de plantas espontâneas no sudoeste do Paraná. 2023. **Tese (Doutorado em Agronomia)** - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2023. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31889> Acesso em: 16 jun 2025.

REGINATTO, M. CONCEIÇÃO, P. C.; CHALLIOL, M. A. Inovação Sustentável: o Sistema Plantio Direto Orgânico como estratégia para a produção orgânica de grãos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos. **Anais do 19º Encontro Nacional do Sistema Plantio Direto**. Luis Eduardo Magalhães, BA, 2024. Disponível em: <https://plantiodireto.org.br/19enpdp/uploads/files/Trabalhos-19ENSPD.pdf> Acesso em: 16 jun 2025.

ROSA, V.; *et al.* Análise descritiva da sobrevivência de espécies vegetais em 4 densidades de plantio dentro de agrofloresta. In.: **Anais do Simpósio de Fruticultura da Região Sul**, junho de 2022. ISSN: 2526-9909. <https://portaleventos.uffs.edu.br/index.php/FRUSUL/article/view/16334> Acesso em: 15 jun. 2025.

ROSA JR., *et al.* Sobrevivência e crescimento inicial de ingazeiro em duas densidades de plantio dentro de sistema agroflorestal. In.: **Anais do Simpósio de Fruticultura da Região Sul**, junho de 2022. ISSN: 2526-9909. <https://portaleventos.uffs.edu.br/index.php/FRUSUL/article/view/16336> Acesso em: 15 jun. 2025.

SÁ, J. C. M., *et al.* Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 38-50, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.09.010>. Acesso em: 14 abr. 2025

SÁ, J. C. M.; *et al.* 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, n. 6, p. 531-543, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ldr.2218>. Acesso em: 14 abr. 2025.

SÁ, J. C. M. *et al.* No-till systems restore soil organic carbon stock in Brazilian biomes and contribute to the climate solution, **Science of The Total Environment**, v. 977, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179370>. Acesso em : 14 abr. 2025.

SANDRIN, F. L.; *et al.* Massa seca de plantas de cobertura sob sistemas de rotação em área orgânica. In.: **X Seminário de Extensão e Inovação e XXV Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica. Anais - XXV Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR**. 2020. Disponível em: <https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2020/paper/viewFile/6771/2875> Acesso em: 09 jul. 2025

SEIDEL, E. P.; *et al.* Effect of cover crops on common bean yield and soil physical properties under no-till system. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 34, p. 399-404, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v34i4.11989>. Acesso em: 27 mai. 2025.

SILVA, C.S.; *et al.* Acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura e no milho cultivado em sucessão sob diferentes doses de nitrogênio em plantio direto. **R. Bras. Milho Sorgo**, v.5, p. 202-217, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.18512/1980-6477>. Acesso em: 14 jun. 2025.

SOUZA, G. Ciência em rede por um futuro alimentar mais sustentável. **Conexão Ciência**, 15 maio 2025. Disponível em: <https://conexaociencia.com.br/ciencia-em-rede-por-um-futuro-alimentar-mais-sustentavel/> Acesso em: 16 jun. 2025.

WILDNER, L. P. Adubação Verde: conceitos e modalidades de cultivo. *In.*: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J. ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: Fundamento e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, v.2, 2023. 478 p. ISBN: 978-65-86056-63-1. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1153221/adubacao-verde-e-plantas-de-cobertura-no-brasil-fundamentos-e-pratica-volume-2> Acesso em: 15 jun. 2025.

WUTKE, E. B; *et al.* Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para uso. *In.*: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J. WUTKE, E. B.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil: Fundamento e Prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2 ed. rev. atual., v.1, 586 p. 2023. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1153241> Acesso em: 03 mar. 2025.

ZIECH, A. R. D.; *et al.* Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernar na região Sul do Brasil. Brasília, **Pesq. agropec. bras.**, v.50, n.5, p.374-382, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500004> Acesso em: 13 jmai. 2025.

ZIECH, A. R. D.; *et al.* Impact of winter coverage crops and nitrogen fertilization on soil respiration and nitrogen mineralization in no-tillage systems. **CADERNO PEDAGÓGICO (LAJEADO. ONLINE)**, v. 21, p. e 7407-19, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n9-013>. Acesso em: 25 mai. 2025.