

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL SPILLER DALLA VALLE

**RECICLAGEM E BALANÇO DE FÓSFORO A PARTIR DO USO DE PLANTAS DE
COBERTURA E FONTES DE ADUBAÇÃO FOSFATADA EM SISTEMA DE
PLANTIO DIRETO**

DOIS VIZINHOS

2026

GABRIEL SPILLER DALLA VALLE

**RECICLAGEM E BALANÇO DE FÓSFORO A PARTIR DO USO DE
PLANTAS DE COBERTURA E FONTES DE ADUBAÇÃO FOSFATADA EM
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

**Phosphorus recycling and balance from the use of cover plants and
sources of phosphate fertilizer in a direct planting system**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Agronomia, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Professor Doutor Laércio Ricardo
Sartor

DOIS VIZINHOS

2026



[4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta

GABRIEL SPILLER DALLA VALLE

**RECICLAGEM E BALANÇO DE FÓSFORO A PARTIR DO USO DE
PLANTAS DE COBERTURA E FONTES DE ADUBAÇÃO FOSFATADA EM
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Agronomia, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 25 de junho de 2026

Laércio Ricardo Sartor
Doutorado em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Taciara Zborowski Horst Heinen
Doutorado em Ciência do solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Caroline Amadori
Doutorado em Ciência do solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**DOIS VIZINHOS
2026**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por tudo que fez na minha vida, eu nunca fui uma pessoa muito culta mas acredito na existência de algo muito maior do que qualquer pessoa, e por isso entendo que sem essa força divina que nos guia nada seria possível.

Agradeço ao meu pai e mãe por tudo que fizeram por mim em toda a minha vida, sei que não sou o filho perfeito mas cada dia tento ser um pouco mais parecido com vocês, pois sei que dessa forma um dia vou me tornar uma pessoa muito boa assim como são.

Quero agradecer a minha namorada pela presença que teve nas minhas decisões e que sempre me encorajou a correr atrás do que eu almejo.

Também quero agradecer meu professor orientador Laércio pela oportunidade de estar trabalhando com ele no decorrer da minha formação, no que diz respeito ao material intelectual e conhecimentos práticos que passou para mim nesse tempo.

A fonte concedente da bolsa foi a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a Fundação Araucária.

Sou grato ao projeto de Fertilidade do solo, sobretudo às pessoas que o compõem, pois tenho certeza que o projeto só foi tão bom, descontraído e produtivo por causa deles que sempre estiveram à disposição para ajudar e para sanar minhas dúvidas.

E por fim agradeço aos meus amigos da graduação que estiveram comigo desde o início que sempre foram muito companheiros e prestativos, sobre tudo acredito que nossa amizade foi fundamental para conseguir completar esse momento da minha vida.

RESUMO

As plantas de cobertura do solo ao longo dos anos foram estudadas e elencadas por terem alta capacidade de recuperar as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, devido a isso apresentam importância para fertilidade do solo nos sistemas de cultivo. Em virtude disso, o fósforo (P) no solo, que é altamente adsorvido pelos óxidos de Ferro e Alumínio se ligando fortemente aos colóides, logo não ficando disponível para as plantas, limitando a produção vegetal, sendo esse elemento fundamental pois é responsável pela formação de energia e de estruturas na planta. Assim, este experimento desde 2009 busca conhecer a dinâmica do P e o efeito de plantas de cobertura em sistema de plantio direto com cultivo de milho e soja. O objetivo é comprovar a importância das plantas de cobertura na reciclagem e permanência do P no sistema ao longo do tempo sobre a aplicação de 100 kg de P_2O_5 via fosfato natural e superfosfato simples aplicados até 2015. Assim nas 72 parcelas em experimento bifatorial de adubação, as plantas de cobertura de inverno são: aveia, nabo, azevém, tremoço, centeio, ervilhaca, MIX de aveia, nabo e azevém e pousio, avaliando a produtividade, produção de matéria seca das plantas de cobertura e balanço de fósforo a partir da extração e exportação. Obtendo na safra 2024/2025 média produtiva no tratamento de fosfato natural com nabo e centeio valores de 14.454 e 14.560 kg ha⁻¹ respectivamente. Analisando também a produção de matéria seca em quase 9.000 kg ha⁻¹ em tremoço com adubação com fosfato natural em 2024, e médias próximas a 7.000 kg ha⁻¹ de matéria seca produzida em fosfato natural também para tremoço, aveia e MIX. Além de apresentar uma eficiência na extração/exportação de fósforo equivalente para o tratamento sem adubação em quase todas as plantas de cobertura. É possível obter altas produtividades abrindo mão da utilização recorrente da adubação fosfatada por meio da associação de plantas de cobertura e fontes de fósforo com maior índice de permanência no sistema, como fosfatos naturais, além de comprovar a eficiência nos papéis químicos das plantas de cobertura com relação a reciclagem de nutrientes.

Palavras-chave: Fertilidade do solo; Ciclagem de nutrientes; fosfato natural; Plantio Direto .

ABSTRACT

Over the years, cover crops have been studied and categorized for their high capacity to restore the physical, chemical, and biological qualities of the soil, making them crucial for soil fertility in cropping systems. Consequently, phosphorus (P) in the soil—which is highly adsorbed by iron and aluminum oxides, binding strongly to colloids and becoming unavailable to plants—limits crop production, despite being a fundamental element responsible for energy formation and plant structures. Thus, since 2009, this experiment has sought to understand P dynamics and the effect of cover crops in a no-till system with corn and soybean cultivation. The objective is to demonstrate the importance of cover crops in recycling and maintaining P in the system over time, under the application of 100 kg of P_2O_5 via reactive rock phosphate and single superphosphate applied until 2015. In the 72 plots of a bifactorial fertilization experiment, the winter cover crops evaluated are: oats, forage radish, ryegrass, white lupin, rye, vetch, a MIX of oats, forage radish, and ryegrass, and fallow. Yield, cover crop dry matter production, and phosphorus balance based on extraction and export were evaluated. In the 2024/2025 harvest, average yields in the rock phosphate treatment with forage radish and rye reached values of 14,454 and 14,560 kg ha⁻¹, respectively. Dry matter production was also analyzed, reaching nearly 9,000 kg ha⁻¹ for white lupin under rock phosphate fertilization in 2024, and averages close to 7,000 kg ha⁻¹ of dry matter produced with rock phosphate for white lupin, oats, and the MIX. Furthermore, an equivalent phosphorus extraction/export efficiency was observed for the unfertilized treatment across almost all cover crops. It is possible to achieve high yields without the recurrent use of fertilization through the combination of cover crops and phosphorus sources with a higher persistence index in the system, such as rock phosphates, in addition to proving the efficiency of cover crops' chemical roles regarding nutrient cycling.

Keywords: Soil fertility; Nutrient cycling; Rock phosphate; No-till farming.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vista aérea da área do experimento e fotografia de perfil da área.....	26
Figura 2 - Fotografias demonstrativas das parcelas em FN para as plantas de cobertura.....	31
Figura 3 - Produtividade milho (kg ha^{-1}) da safra 2024/2025 sob efeito de plantas de cobertura e resíduo da adubação fosfatada realizada entre 2009 e 2015.....	33
Figura 4 - Produtividade de matéria seca das plantas de cobertura do Inverno de 2024 (kg ha^{-1}).....	35
Figura 5 - Produtividade de matéria seca das plantas de cobertura do Inverno de 2025 (kg ha^{-1}).....	36
Figura 6 - Extração de fósforo nas plantas de cobertura em saldo de 11 ciclos e média aritmética por ano (kg ha^{-1}).....	37
Figura 7 - Exportação de fósforo nos grãos de soja e milho em saldo de 11 ciclos e média aritmética por ano (kg ha^{-1}).....	39
Figura 8 - Relação entre a extração e a exportação de fósforo.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela dos tratamentos. UTFPR, Campus Dois Vizinhos, 2026.....	27
Tabela 2 - Croqui do experimento de campo. UTFPR, Campus Dois Vizinhos, 2026...	27
Tabela 3 - Tabela de dosagem de sementes. UTFPR, Campus Dois Vizinhos, 2026...	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivos gerais.....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1. Importância do fósforo nas plantas e dinâmica no solo.....	16
3.2. Milho e sua relação com a exportação de fósforo.....	17
3.3. Plantio Direto.....	18
3.4. Plantas de Cobertura.....	19
3.4.1. Aveia preta.....	20
3.4.2. Azevém.....	21
3.4.3. Nabo Forrageiro.....	21
3.4.4. Centeio.....	22
3.4.5. Ervilhaca.....	22
3.4.6. MIX.....	23
3.4.7. Pousio.....	24
3.4.8. Tremoço branco.....	24
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1. Localização do experimento.....	26
4.2. Divisão do experimento e Croqui.....	27
4.3. Características e tratamentos do experimento.....	28
4.4. Balanço de fósforo no sistema.....	29
4.5. Avaliações.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1. Desenvolvimento das plantas de cobertura.....	31
5.2. Produtividade do milho.....	32
5.3. Produtividade da matéria seca das plantas.....	34
5.3.1. Matéria seca das plantas de cobertura 2024.....	34
5.3.2. Matéria seca das plantas de cobertura 2025.....	36
5.4. Análise do balanço de P do sistema.....	37
5.4.1. Extração de fósforo na matéria seca das plantas de cobertura.....	37
5.4.2. Exportação de P em grãos de Soja e Milho no sistema.....	38
5.4.3. Relação entre extração e exportação.....	40
6. CONCLUSÃO.....	42

1. INTRODUÇÃO

Em virtude do aumento populacional global a necessidade pela produção sustentável e eficiente de alimentos se torna cada vez mais necessária para suprir essa demanda, tornando o Brasil um país ainda mais importante no cenário da produção e exportação de commodities. O Brasil lidera as exportações globais de pelo menos sete alimentos, de acordo com um levantamento do Insper Agro Global (Cardoso et al, 2025), na ocasião se tornou o maior exportador mundial de soja, milho (31%), café (27%), açúcar (44%), suco de laranja (76%), carne bovina (24%) e frango (33%). Para obter essas produções diversos manejos nas culturas e lavouras se fazem necessárias, dentre eles as adubações de macronutrientes são indispensáveis para o crescimento e desenvolvimento das grandes culturas de valor econômico que temos no país.

Com a crescente produção alimentícia nos últimos anos, o consumo por fertilizantes acompanhou esse crescimento, tornando o Brasil o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, representando cerca de 8% do consumo mundial (MAPA, 2022). De acordo com o plano nacional de fertilizantes de 2023 (Decreto 10.991/22), as reservas são de cerca de 5,2 bilhões de toneladas, equivalentes a 60 milhões de toneladas de pentóxido de fósforo (P_2O_5). A Reserva (economicamente útil) é de 2,9 bilhões de toneladas (conteúdo médio de cerca de 10%) e contém 317 milhões de toneladas de P_2O_5 . A produção do Brasil não fornece demanda nacional por fertilizantes fosfatados que impõem requisitos de importação, os principais locais de origem foram Marrocos (25%), Rússia (14%), Estados Unidos (13%), Arábia Saudita (12%), Egito (11%) e Israel (9%).

As adubações fosfatadas, ou que possuam fósforo em sua composição são aplicadas em todo o território nacional. O fósforo é extremamente importante para o desenvolvimento da planta e opera diretamente através da fotossíntese, convertendo a luz solar em energia (glicose) e oxigênio em ATP (adenosina trifosfato). A falta deste mineral pode causar problemas com a absorção de água e outros nutrientes essenciais para as plantas (Gontijo et al, 2009)

Na região sudoeste do Paraná devido às características do solo de altos quantidades de argila na composição e óxidos de Ferro livres é evidente a dificuldade na absorção de fósforo pela planta, pois o mesmo possui a tendência de se tornar insolúvel e ser adsorvido fortemente pelos agregados e partículas de solo,

impossibilitando naquele momento a absorção deste elemento fundamental e com alto valor aquisitivo pela planta, (Lima, 2012). Além disso, o excesso de fertilizante P pode ter efeitos negativos sobre a produtividade das culturas no que diz respeito ao desenvolvimento radicular pode se desenvolver de maneira insuficiente em tamanho e volume de raízes, pois as adubações ocorrem na profundidade de 5,0 cm, que por meio da característica do mineral de baixíssima mobilidade promovendo o acúmulo do nutriente nessa camada extremamente superficial (Kaminsky , et al, 2019).

Decorrente a essa realidade ao longo dos anos diversas formas de agricultura foram desenvolvidas como a tradicional, moderna, orgânica, patronal e familiar, independente de como é chamada a agricultura brasileira é um dos pilares da economia do país. Dessa forma desenvolve incontáveis empregos em sua cadeia produtiva e sobretudo garantindo a sobrevivência da população e representando uma grande porção das exportações de alimentos aos outros países do mundo (Yara Brasil, 2022).

Sobretudo, medidas sustentáveis serão necessárias para prevenir a perda e degradação dos solos brasileiros para garantir uma longevidade na produção para as próximas gerações. Sobretudo a contaminação com poluentes e a esterificação da fertilidade natural dos solos é uma verdade absoluta que está ocorrendo de maneira crente não só no brasil mas no mundo, além do mais a última edição do relatório Estado dos Recursos Hídricos e Terrestres do Mundo para Alimentação e Agricultura (SOLAW, 2025) também remete que os recursos para desenvolvimento humano são finitos.

O Centro internacional de referenciais e informações sobre o solo (ISRIC) desenvolveu a Avaliação da Degradação do Solo Induzida pelo Homem (GLASOD 1991) que estipulou que a perda de solos agrícolas se dê a uma taxa de 6 a 7 milhões de hectares por ano, com um adicional de 1,5 milhão de hectares perdidos (Oldeman et al., 1990). Para controlar este fato a utilização de plantas de cobertura para formar uma camada verde no solo é indispensável, pois trazer a tona uma cultura que inicia seu ciclo e o finaliza no mesmo lugar, dentre muitos fatores auxilia no combate a erosão, beneficia a microfauna, eleva a matéria orgânica, diminuiu a amplitude de temperatura no solo, diminui a compactação, controla plantas daninhas e recicla nutrientes das camadas mais profundas de solo (EPAGRI, 2020).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos gerais

Avaliar o efeito de espécies e misturas de plantas de cobertura na dinâmica do fósforo com origem da deposição do elemento das adubações realizadas com superfosfato simples e fosfato natural, com ênfase no efeito para as culturas subsequentes de milho em sistema de plantio direto em análise histórica de 11 anos.

2.2. Objetivos específicos

Quantificar o efeito residual de duas fontes distintas de fósforo ao longo de uma série histórica de 11 ciclos (2015 a 2025).

Quantificar a produtividade obtida de milho na safra de 2024/2025 e de massa seca de plantas de cobertura hibernais no sistema de plantio direto nos anos de 2024 e 2025.

Verificar se diferentes plantas de cobertura alteram os níveis de P esperados a partir da ciclagem proveniente da palhada.

Realizar o levantamento do balanço de fósforo no sistema a partir da extração do elemento da matéria seca das plantas de cobertura e da exportação dele por meio dos grãos de soja e milho em 11 anos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Importância do fósforo nas plantas e dinâmica no solo

O fósforo é um dos elementos mais importantes para as plantas, estando envolvido em muitas reações bioquímicas como exemplo sendo constituinte da molécula de Trifosfato de Adenosina (ATP), responsável por armazenar e fornecer energia para as atividades da planta. Além disso, o fósforo também está presente em partes dos tecidos estruturais em forma de membranas celulares (fosfolipídios) e genéticos, sendo também necessário para o crescimento e o bom funcionamento da planta ao longo do seu ciclo (Marschner, 2012).

Esse elemento tem a característica de imobilidade no solo, logo sua absorção ocorre via radicular pela difusão nos pelos radiculares, na qual o elemento deriva para o local de menor concentração de P de maneira extremamente lenta, normalmente ocorrendo após a absorção do fosfato pelas raízes, possibilitando a movimentação micrométrica do elemento a medida que a planta desenvolve as raízes (Marschner, 2012).

Os solos tropicais sul brasileiros possuem a característica de alta intemperização devido a fatores químicos e físicos perante o tempo de existência e acúmulo de sedimentos, sendo assim o fósforo acaba sendo um dos nutrientes mais limitantes para as plantas. Isso ocorre pois ele é suscetível a se ligar aos colóides do solo fortemente por adsorção a óxidos de Alumínio e Ferro, presentes nos solos da região Sudoeste do Paraná, possivelmente tornando parte dos íons de P não lábil, ou seja com dificuldade a retornar a solução do solo de maneira absorvido pela planta (Herrera, 2014).

Em nosso país marcado em sua maioria pelo clima tropical e subtropical a decomposição da matéria orgânica ocorre de maneira acelerada pela ação dos microrganismos do solo. Sobre isso entende-se que a agricultura europeia não é eficiente no hemisfério norte, mais especificamente nas latitudes 5° Norte e 33° Sul, segundo Instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE, 2024), cortado ao sul pelo trópico de Capricórnio, apresenta 92% do território na zona intertropical (entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio); os 8% restantes estão na zona temperada do sul.

3.2. Milho e sua relação com a exportação de fósforo

O milho (*Zea mays*) é um cereal de verão cultivado em grande parte do mundo devido ao seu valor nutricional interessante principalmente na parte de energia fornecida pelos grãos. As evidências científicas indicam que a planta é originária do México, onde começou a ser cultivada na região central entre 7.500 e 12.000 anos atrás (Fancelli, 2004).

O desenvolvimento das plantas de milho se dá pelo crescimento e diferenciação dos estádios vegetativos e reprodutivos, sendo o pendoamento que marca o máximo crescimento vegetativo e início da formação de estruturas reprodutivas.

Os estádios fenológicos de desenvolvimento da planta respondem pela soma térmica da temperatura do ambiente, que pode ser determinada pela equação a seguir:

$$GD = \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} T_{base}$$

Onde (GD) significa Graus dias, (Tmax) Temperatura média do dia, (Tmin) Temperatura média do dia e (Tbase), temperatura base para o desenvolvimento da cultura, variando de 8° a 10° graus celsius. Dessa maneira o desenvolvimento do milho é dado pela soma dos graus dias ao longo do período pós emergência da cultura (Fancelli, 2004).

O milho possui grande importância socioeconômica devido à variedade de usos que oferece à alimentação humana ou animal. Em termos globais, a maior parte do milho produzido é destinada à alimentação animal, representando aproximadamente 70% do consumo mundial desse cereal. Nos Estados Unidos, cerca de 50% da produção de milho é voltada para esse fim, enquanto no Brasil essa porcentagem varia entre 60% e 80% (Duarte, et al, 2000).

Na exportação do fósforo via grãos em média se aponta que a cada 1.000,00 quilogramas de grãos cerca de 4,5 Kg é P (Lopes e Farias, 1995), logo segundo a média nacional de produtividade sendo de 5.800 kg ha⁻¹, cerca de 27 kg ha⁻¹ de fósforo é exportado por safra (CONAB, 2026).

3.3. Plantio Direto

O plantio direto foi introduzido no Brasil aliado à agricultura conservacionista para encontrar uma forma de produção mais adequada para as regiões tropicais e subtropicais baseado na mínima mobilização do solo, manutenção da palhada, sucessão e rotação de culturas agrícolas de cunho econômico direto (Alvarenga, et al, 2009).

Inicialmente a agricultura brasileira desde a década de 1960 estava concentrada no estado do Rio Grande do Sul, no qual se estendeu ao longo do seu território nos anos seguintes até o estado de São Paulo, expandindo a fronteira agrícola naquele momento devido a degradação acentuada dos solos (Araujo, et al, 2012). Conforme apontado por Guerra (2014), o avanço acelerado da fronteira agrícola entre 1969 e 1977, período em que a área cultivada aumentou de 800 mil para 4 milhões de hectares, foi sustentado pelo uso do preparo convencional do solo. Esse tipo de manejo resultou em perdas expressivas por erosão, chegando a até 10 toneladas de solo por hectare para cada tonelada de grãos produzida.

Com essa premissa diversos trabalhos para avaliar manejos de solo alternativos ao convencional foram desenvolvidos para a região sul brasileira (Araújo, et al, 2012). Mas o pioneiro do plantio direto brasileiro foi um produtor de Rolândia no Paraná, Herbert Bartz no ano de 1972. O plantio direto na época foi um divisor de águas para a nova agricultura brasileira, entretanto no momento do seu desenvolvimento apresentava problemas com relação ao controle de plantas daninhas, fungos de solo e compactação superficial recorrente ao plantio convencional (Kochhann 2000).

O plantio direto relacionado a disposição de fósforo lábil no sistema é eficiente pois todo o fósforo orgânico liberado pela decomposição lenta da matéria é absorvível ao longo do ciclo da cultura subsequente respeitando a relação de C/N e C/P individual de cada planta de cobertura (Casali et al, 2011), assim temos uma dinâmica de não incorporação da matéria orgânica no solo que provém uma decomposição uniforme apenas no horizonte O, estando também na região de maior acúmulo de raízes com capacidade de absorção nos estádios iniciais das culturas (Andreotti, 2005).

3.4. Plantas de Cobertura

Plantas de cobertura são espécies utilizadas sem objetivo produtivo em primeiro plano, mas pela capacidade de regeneração e manutenção física, química e biológica dos solos em qualquer manejo adotado de produção (EPAGRI, 2020).

As capacidades de uma planta de cobertura são variáveis dependendo de sua família e características anatômicas, podendo ser elencado conforme as vantagens da sua utilização (Albuquerque, et al, 2013). Para as plantas fabáceas a capacidade de fixação de N₂ da atmosfera a partir da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* encontrados no solo ligados às raízes destas plantas, em geral uma baixa relação carbono/nitrogênio (C/N) em sua biomassa, e, aliado a presença de compostos solúveis e baixos teores de lignina e polifenóis em seus tecidos, favorecem uma decomposição mais rápida (Cobo et al., 2002). Além disso, desenvolvem raízes profundas capazes de reciclar minerais profundos no solo e diminuir índices erosivos (Arruda, et al, 2020).

Para a família das poaceas se elenca o fato de terem alta relação C/N em sua matéria orgânica, logo se apresentam capazes de elevar os teores de matéria orgânica no solo, e auxiliar na descompactação superficial dos solos, diminuem índices de erosão e preservação em médio e longo período a microfauna do solo (Perin, et al 2004).

A família brassicaceae por outro lado, mais especificamente o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), se comporta como uma leguminosa, mas tem exigências semelhantes a uma gramínea, (Conceição, 2024), esse fato se dá pois necessita de bons teores de Nitrogênio disponível para realizar um bom desenvolvimento das suas estruturas, mas por outro lado tem uma raiz vigorosa e pivotante agressiva, que possibilita descompactação em profundidade, reciclagem de nutrientes e controle da erosão (Andreotti, 2015).

O cultivo de plantas de cobertura em sistemas de plantio direto auxiliam para a melhoria de características físicas do solo, como a porosidade, a densidade e a resistência à penetração, conforme analisado em sucessões de culturas como milho e soja (Machado, 2024).

A relação carbono e fósforo (C/P) nas plantas de cobertura usualmente respeita uma relação de quanto maior o acúmulo de matéria seca maior será o acúmulo de fósforo nos tecidos, no caso de centeio, aveia, nabo e ervilhaca (Casali,

et al, 2011), tendendo a diminuir essa relação de partes de carbono para partes de fósforo em maior quantidade de biomassa, apresentando uma possibilidade de liberação do nutriente pela decomposição da matéria orgânica de maneiras diferentes, como o caso do centeio que libera de maneira mais rápida quando comparada a ervilhaca (Casali, et al, 2011).

3.4.1. Aveia preta

A aveia (*Avena strigosa*.) é uma planta pertencente à família Poaceae, a espécie tem sua origem nas regiões de clima temperado da Europa e da Ásia, onde inicialmente surgiu como uma planta secundária nas lavouras de trigo e cevada. Com o tempo, passou a ser cultivada de forma independente, especialmente em áreas com clima mais ameno (Fontaneli, 2009).

Do ponto de vista morfológico, a aveia possui colmos eretos, e divididos por nós. Suas folhas são estreitas, com bainhas que envolvem o caule, e a inflorescência aparece em forma de panícula, composta por espiguetas. Em termos culturais, a aveia é uma planta anual, de ciclo curto e crescimento rápido, adaptando-se bem a solos de fertilidade média. Sua resistência ao frio e à acidez do solo faz dela uma cultura bem adaptada à região Sul do Brasil. Além disso, sua boa capacidade fotossintética e o rebrote vigoroso a tornam excelente para uso como cobertura vegetal e como alimento para animais (Silva, 2009).

Nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, a aveia é amplamente cultivada, seja como cultura de inverno, para alimentação animal ou como planta de cobertura no sistema de rotação de culturas. O plantio normalmente ocorre na época de inverno logo após a safrinha, período que coincide com temperaturas mais amenas e boa disponibilidade de água no solo.

A cultura também exerce papel fundamental do ponto de vista agroecológico, contribuindo para melhorar a estrutura do solo, na ajuda no controle da erosão e é uma excelente opção para rotação de culturas em sistemas de plantio direto, auxilia na questão física e biológica do solo, além de aumentar a matéria orgânica do solo (Machado, 2024).

3.4.2. Azevém

O azevém, (*Lolium multiflorum* Lam), é uma gramínea anual pertencente à família Poaceae, utilizada como forrageira nas regiões de clima temperado e subtropical. No Brasil, tem destaque na região Sul, onde encontra boas condições para seu desenvolvimento, se adaptando muito bem às condições climáticas.

Originário da Europa, o azevém foi introduzido no Brasil devido à sua excelente qualidade nutricional e rápida taxa de crescimento. É uma das principais espécies utilizadas durante o inverno, com ciclo de desenvolvimento que varia de 90 a 180 dias, dependendo das condições ambientais e do manejo. Segundo Ihara, 2021 as características do azevém apresentam-se:

O azevém é uma planta herbácea, glabra, com sistema radicular fasciculado e hábito de crescimento cespitoso ereto, com elevada capacidade de emitir perfilhos, podendo formar touceiras de 0,50 m até 1,20 m. Suas folhas são finas e laminadas, de coloração verde brilhante, e os colmos apresentam elevada cerosidade. As aurículas são desenvolvidas, abraçando o colmo. A inflorescência é uma espiga dística, isto é, com duas fileiras de espiguetas, com 15 a 25 cm de comprimento, contendo cerca de 40 espiguetas arranjadas alternadamente, com 10 a 20 flores férteis por espiga. O grão é uma cariopse. É uma espécie de polinização cruzada, e o seu pólen é disseminado pelo vento.

O azevém é bastante responsivo à adubação nitrogenada como a maioria das plantas gramíneas, o que favorece sua produção de massa verde e capacidade de recuperação após cortes ou pastejo. Por outro lado, é uma planta sensível a estresses hídricos e não tolera bem solos mal drenados ou com compactação excessiva (Machado, 2024).

3.4.3. Nabo Forrageiro

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) é uma planta da família Cruciferae, originária das regiões temperadas da Ásia, sendo utilizado como planta de cobertura, forrageira e adubo verde. No Brasil, destaca-se principalmente em sistemas de plantio direto e na rotação de culturas. É uma cultura de ciclo anual, com crescimento vigoroso e ramificado, favorecendo o controle de plantas daninhas e a proteção do solo contra processos erosivos. O plantio geralmente ocorre após a safrinha como cultura de cobertura no inverno (EMBRAPA, 2021).

Possuindo folhas grandes, lobadas e dispostas em roseta, além de uma raiz pivotante e robusta. Essa raiz é uma de suas principais características, pois

promove a descompactação do solo, melhora a infiltração de água e facilita o crescimento de raízes de culturas subsequentes. Sendo eficiente na ciclagem de nutrientes, especialmente o nitrogênio e o fósforo, que são absorvidos em profundidade e posteriormente disponibilizados na superfície durante a decomposição da matéria orgânica (Andreotti, 2005).

Sua capacidade de produzir grande volume de biomassa, associada à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, faz dele um componente essencial em sistemas de recuperação de solo e na construção de solos férteis e produtivos.

3.4.4. Centeio

O centeio (*Secale cereale* L.) é uma planta pertencente à família Poaceae. Originário do sudoeste da Ásia e do leste europeu, o centeio se desenvolveu como uma cultura de clima frio, adaptando-se especialmente a solos pobres e regiões com invernos rigorosos. Em termos morfológicos, o centeio apresenta colmos eretos, divididos por nós, com folhas estreitas e lineares, e inflorescência em forma de espigas espiguetas. Seu sistema radicular é profundo e bem desenvolvido, conferindo-lhe resistência à seca e maior capacidade de absorção de nutrientes em camadas mais profundas do solo (IAPAR, 2000).

Apresenta ciclo anual, com crescimento vigoroso no outono e inverno, sendo bastante resistente a condições adversas de solo e clima. Por essas características, é largamente utilizado como cultura de cobertura, auxiliando na recuperação da estrutura do solo, na redução da erosão, na supressão de plantas daninhas e na reciclagem de nutrientes. A planta apresenta ciclo variável entre 90 e 150 dias, dependendo da cultivar e das condições ambientais. Seu uso na rotação de culturas e como adubo verde tem crescido significativamente pelas suas características culturais.

3.4.5. Ervilhaca

A ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) é uma leguminosa anual pertencente à família Fabaceae, utilizada em sistemas agrícolas como planta de cobertura. Originária da região do Mediterrâneo e do sudoeste da Ásia, onde se adaptou bem

às condições da Região Sul brasileira, especialmente após a safrinha no outono-inverno.

Seu desenvolvimento de MS pode alcançar até 8 toneladas por hectare, dessa maneira elevando a relação C/N e C/P em quantidade, que como analisado anteriormente a presença de minerais como o fósforo está intrinsecamente ligada à quantidade de matéria seca produzida.

Além disso tem elevada capacidade de fixação biológica de nitrogênio (FBN), por aumentar sua disponibilidade no solo, pois possuem a capacidade de fixar N₂ atmosférico através da simbiose com bactérias específicas e da reciclagem de N (Silva et al., 2006).

No quesito morfológico, a ervilhaca possui hábito de crescimento em porte baixo, com caules e ramificações, folhas compostas, as flores são hermafroditas, de coloração roxa ou azulada, agrupadas em inflorescências axilares, e o fruto é uma vagem contendo sementes arredondadas. Sua raiz pivotante é bastante desenvolvida, o que contribui para a estruturação do solo e favorece a absorção de nutrientes em camadas mais profundas (Ceretta, et al, 2001).

É considerada rústica e adaptável, com boa tolerância ao frio, o que a torna apropriada para o cultivo nos meses de abril a junho na Região Sul do Brasil. Seu desenvolvimento é favorecido em solos de média a boa fertilidade, com pH levemente ácido a neutro. Em sistemas de cultivo por plantio direto, destaca-se por formar grande quantidade de biomassa e por sua baixa relação C/N, o que acelera a decomposição da palhada e a liberação de nutrientes para culturas subsequentes (Ranells, 1992). Do ponto de vista agroecológico, a ervilhaca desempenha papel fundamental como planta de cobertura em rotação de culturas e sistemas de plantio direto, promovendo a recuperação da fertilidade do solo, o aumento da matéria orgânica, a proteção contra erosão e o estímulo à vida microbiana.

3.4.6. MIX

Na Agricultura moderna diversas são as formas de se elevar a qualidade do solo nos quesitos orgânicos e físicos, logo tendo em vista essa dinâmica a utilização de diversas plantas de cobertura ao mesmo tempo na mesma área se caracteriza como utilização de MIX de coberturas (Machado et al, 2024).

Logo a junção de diferentes plantas de cobertura de diferentes classificações taxonômicas a nível de família ocasiona numa variedade comportamental e estrutural das plantas que compactuam diretamente na qualidade do solo, sendo pela decomposição delas liberando nutrientes a longo ou curto prazo pela relação carbono nitrogênio (C/N) cujas as Poaceas possuem elevada relação C/N, ou pela ação das raízes em profundidade, que pode ser o caso das raízes pivotantes das leguminosas ou Cruciferae (Alvarenga et al, 2001).

3.4.7. Pousio

O pousio neste caso se caracteriza como uma área sem a presença de qualquer planta cultural de objetivo, podendo ou não ter plantas invasoras na sua extensão ao longo do tempo, caracterizado também como época de entressafra sem presença de culturas, sendo comum na região sudoeste do Paraná apesar de estar sendo diminuída ao longo do tempo (FAEP, 2022).

Tal prática insustentável normalmente ocorre devido a uma janela de uso da terra curta ou falta de recursos financeiros por parte do produtor rural para utilizar a área no período pós safrinha ou antecedente ao período de inverno (GUIMARÃES, 2024), dessa forma o solo se mantém descoberto facilitando a erosão hídrica dos solos e ao assoreamento dos rios, além de promover a desvalorização da terra nos quesitos físicos químicos e biológicos como também facilitar o aparecimento de espécies de plantas invasoras.

3.4.8. Tremoço branco

O tremoço branco (*Lupinus albus* L.), da família Fabaceae, possui origem da região do Mediterrâneo, provavelmente no sul da Europa, norte da África e partes do Oriente Médio.

É uma planta anual, ereta, com caule robusto e ramificado, podendo atingir entre 0,5 a 1,5 metros de altura. Suas folhas são compostas na cor verde. sobre uma inflorescência alongada e ereta das flores hermafroditas, o fruto é uma vagem alongada contendo os grãos no seu interior.

O tremoço branco apresenta um sistema radicular profundo e pivotante, favorecendo a penetração no solo e a absorção de nutrientes em camadas mais profundas. Possui nodulações na região das raízes, proporcionando uma simbiose

com bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Bradyrhizobium*. essa característica fomenta a utilização da espécie nos sistemas de plantio direto como uma planta de cobertura, pois além de realizar a fixação de nitrogênio ainda é capaz de melhorar as qualidades físicas e biológicas do solo (Favarato, 2016).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização do experimento

O experimento foi feito no município de Dois Vizinhos, Paraná, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, nas dependências da área experimental da instituição ao lado da fazenda experimental.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho com valores de argila superiores a 70% , suas particularidades se dão pelo processo da ferratização proveniente da intemperização avançada do material de origem constituinte, dessa forma apresentando boa drenagem e profundidade (Cabreira, 2015).

Figura 1 - Vista aérea da área do experimento e fotografia de perfil da área.



Fonte: Adaptado de Google Earth, 25°41'33.98"S e 53°05'40.15"W 528 metros, 2026

Vem sendo conduzido desde o ano de 2009, sendo que até o ano de 2015 as adubações foram realizadas com superfosfato simples e fosfato natural. A área experimental de 1.800,00 m², possui características de plena disposição solar, declividade baixa, sem barreiras físicas de delimitação e presença de plantas daninhas como demonstrado pela fotografia, além da representação demonstrativa do croqui na área.

4.2. Divisão do experimento e Croqui

A divisão espacial do experimento se mantém desde a sua implantação em 2009, a área é dividida em 72 parcelas de 25 m² (5 x 5 metros), com 24 tratamentos em 3 repetições. O delineamento experimental é de blocos ao acaso no modelo bifatorial (3x8), sendo fator A composto por fontes fósforo mais a testemunha sem P e o Fator B composto pelas 7 plantas de cobertura mais o pousio, dessa forma a organização do experimento varia conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Tabela dos tratamentos. UTFPR, Campus Dois Vizinhos, 2026.

n.	Sem P	n.	Superfosfato Simples	n.	Fosfato Natural
1	pousio	9	pousio	17	pousio
2	ervilhaca	10	ervilhaca	18	ervilhaca
3	tremoço branco	11	tremoço branco	19	tremoço branco
4	nabo forrageiro	12	nabo forrageiro	20	nabo forrageiro
5	azevém	13	azevém	21	azevém
6	aveia preta	14	aveia preta	22	aveia preta
7	MIX	15	MIX	23	MIX
8	centeio	16	centeio	24	centeio

Fonte: O Autor, 2026

A distribuição ao acaso dos tratamentos do experimento estão apresentados no croqui (tabela 2). A divisão dos tratamentos de adubação foi representada em branco como testemunha, em azul como superfosfato simples e em amarelo como fosfato natural.

Tabela 2 - Croqui do experimento de campo. UTFPR, Campus Dois Vizinhos, 2026.

Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
3	5	2	8	23	20	22	24	16	12	13	10
4	1	6	7	17	21	18	19	11	15	9	14
10	15	9	14	6	8	1	3	18	19	17	20
12	13	11	16	5	7	2	4	24	23	22	21
19	24	21	18	14	16	12	11	7	2	3	5
22	20	17	23	15	10	9	13	1	4	8	6

Fonte: O Autor, 2026

A organização do croqui é baseada na divisão das parcelas delimitadas com cada área de 25 m² representando duas informações: a primeira seria pelo tratamento de plantas de cobertura do experimento variando pelos números e segundo pelo tratamento de adubação representado pelas cores do preenchimento da tabela.

A exemplo tendo o pousio o tratamento de plantas de cobertura de número 1 segundo a tabela 1 que se repete em três vezes uma para cada tratamento de adubação, sendo representado pelos números 1 (sem P), 9 (adubação com SFS) e 17 (adubação com FN), logo os 8 tratamentos de adubação são repetidos três vezes uma para cada tipo de adubação por bloco.

4.3. Características e tratamentos do experimento

Continuando com a mesma metodologia, as adubações com SFS e FN datam de 2009 até 2015, após essa data não houve um acréscimo de qualquer tipo de adubo fosfatado no sistema, somente a aplicação de adubos Potássicos e nitrogenados.

No experimento foi usado o Superfosfato Simples, que se caracteriza por ser uma fonte de fósforo natural extraído a partir do tratamento da Fosforita e Apatita com a utilização de ácido sulfúrico para auxiliar na solubilidade do mesmo (EuroChem, 2026).

E na utilização de fosfato natural com 5% de pentóxido de fósforo (P₂O₅). Provindo de rochas sedimentares como a fosforita, sendo assim produzido a partir da moagem dessas rochas (Stewart, 2026).

O histórico da área para as plantas de cobertura se mantém o mesmo em quase todas as plantas, se alterando no ano de 2013 de Trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.) para o MIX, e Feijão Guandú (*Cajanus cajan*) para centeio no ano de 2013. Antecedendo a cultura da safra que varia de Milho a Soja (*Glycine max*) a variar a cada ano agrícola pela rotação de culturas.

Assim foi realizado o cultivo de ervilhaca, tremoço branco, nabo forrageiro, azevém, aveia preta, o MIX e centeio próximo ao início da safra de 2024/2025 durante o inverno de 2024 e plantio da primeira safra de milho, que posteriormente estas plantas de cobertura foram coletadas pelo “método do quadrado” em cada

parcela e em sequência secas em estufas para realizar as análises a partir da matéria seca das mesmas e o processo foi repetido no inverno seguinte com as plantas de cobertura. Utilizando as dosagens para semeadura das plantas de cobertura conforme tabela 3.

Tabela 3 - Tabela de dosagem de sementes. UTFPR, Campus Dois Vizinhos, 2026.

Planta de cobertura	Dosagem por Hectare	Dosagem por parcela
aveia preta	60 kg	150 gramas
azevém	20 kg	150 gramas
nabo forrageiro	12,4 kg	31 gramas
ervilhaca	40 kg	100 gramas
centeio	60 kg	150 gramas
aveia - nabo - azevém	60 - 12 - 60 kg	150 - 30 - 150 gramas
tremoço branco	100 kg	250 gramas

Fonte: O autor, 2025

Pela análise histórica das adubações fosfatadas que ocorreram de 2009 a 2015 anualmente eram aplicados 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, (superfosfato simples com 18% de P₂O₅ solúvel e fosfato natural com 9% solúvel e total de 29% de P₂O₅), e nenhuma dosagem feita nas parcelas testemunhas.

4.4. Balanço de fósforo no sistema

O balanço de P no sistema se baseia na extração de P a partir da matéria seca das plantas de cobertura feita de 2015 a 2025 pelo método de digestão nitro-perclórica para degradação da matéria orgânica com ácidos, dessa forma a análise histórica representou os teores extraídos de P presentes no tecido vegetal das plantas de cobertura que serão disponibilizados ao longo da decomposição delas.

Em sequência foi analisada a exportação de P via grão em soja e milho de 2015 a 2025, determinada pelo mesmo método de quantificação mineral de P utilizados na MS das plantas de cobertura, desta vez feitas nos grãos. com base nos valores de P dos grãos de soja e milho fez-se estimativas para os outros anos de cada cultura.

No geral os processos para extração e determinação de P se iniciavam dentro da universidade, por meio da secagem e moagem das amostras, sendo que as mesmas foram todas enviadas para laboratórios externos à instituição para terminar o processo de análise de P no tecido vegetal.

Por fim foi formulado a relação entre a extração de P via matéria seca das plantas de cobertura sobre a exportação do elemento via grãos de soja e milho nos anos de 2015 a 2025, levantando informações acerca da atuação direta das plantas de cobertura na manutenção do fósforo de maneira absorvível no sistema para as plantas comerciais subsequentes.

4.5. Avaliações

O trabalho determinou a produtividade por hectare de milho cultivar “Agroeste 1757” na safra de verão do ano de 2024/2025 por meio de gráficos quantitativos comparando os tratamentos com a colheita das parcelas realizadas no dia 10 de fevereiro de 2025 com a planta já estava no estágio Fenológico Reprodutivo 5.75

Para avaliação do rendimento de grãos de milho foram amostrados 8 metros lineares de plantas por unidade experimental, quando as plantas atingiram R 5.75, representando 75% do grão seco, que foram debulhadas e realizou-se o rendimento de grãos a 13% de umidade para determinar a produtividade de kg de milho por hectare.

Para a coleta de informações acerca da massa seca das plantas de cobertura foi coletado em cada parcela 0,25 m² utilizando o “método do quadrado” (Salman et al, 2006), seguido pelo processo de secagem que foi feito em ambiente controlado em estufa com circulação forçada de ar a 60°C até que atingiram peso constante, e cada amostra foi pesada.

Foram coletadas no dia 19 de agosto de 2024, quando atingiram 120 dias de desenvolvimento para os dados de 2024 e para os dados de 2025 foram coletadas no dia 25 de setembro de 2025, quando atingiram 120 dias de desenvolvimento.

Os resultados foram submetidos a análises de variância pelo teste F a um nível de significância de 5% de probabilidade, as médias de efeito qualitativo foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Desenvolvimento das plantas de cobertura

As plantas de cobertura foram coletadas após o início do desenvolvimento das estruturas reprodutivas e antes do início da senescência, na figura a seguir está demonstrado 8 parcelas de plantas de cobertura no tratamento de fosfato natural, com cerca de 2 meses de desenvolvimento e no momento de coleta das parcelas para determinação de MS do ano de 2024, que estão na disposição sequência de aveia, azevém, centeio, ervilhaca, mix, nabo, tremoço branco e pousio respectivamente para as fotos da figura 02.

Figura 2 - Fotografias demonstrativas das parcelas em FN para as plantas de cobertura



Fonte: O Autor, 2024

As parcelas de aveia apresentavam uniformidade de germinação e pouca presença de plantas invasoras, e a coleta foi representativa das parcelas com replicação aceitável dentre os tratamentos de adubação.

As parcelas de azevém apresentaram uniformidade de germinação e grande capacidade de recobrimento do solo com matéria seca, dessa forma a coleta ocorreu de forma representativa para todos os tratamentos de adubação.

O centeio apresentou crescimento vertical grande e acamamento, mas não prejudicou o desenvolvimento da massa seca, pois esse fator foi presente nos estádios reprodutivos da cultura apenas, e a coleta foi representativa também com relação aos tratamentos de adubação.

A ervilhaca manteve seu hábito rasteiro no desenvolvimento mas sofreu pontualmente com a presença de plantas involuntárias com maior porte de altura, a exemplo da aveia e do azevém, entretanto a coleta também foi característica variando de cada tratamento.

O MIX foi o mais característico pois o desenvolvimento das plantas foi bem marcante com cada uma expressando seu desenvolvimento habitual, sendo assim a coleta dos quadros foi representativa para cada tratamento.

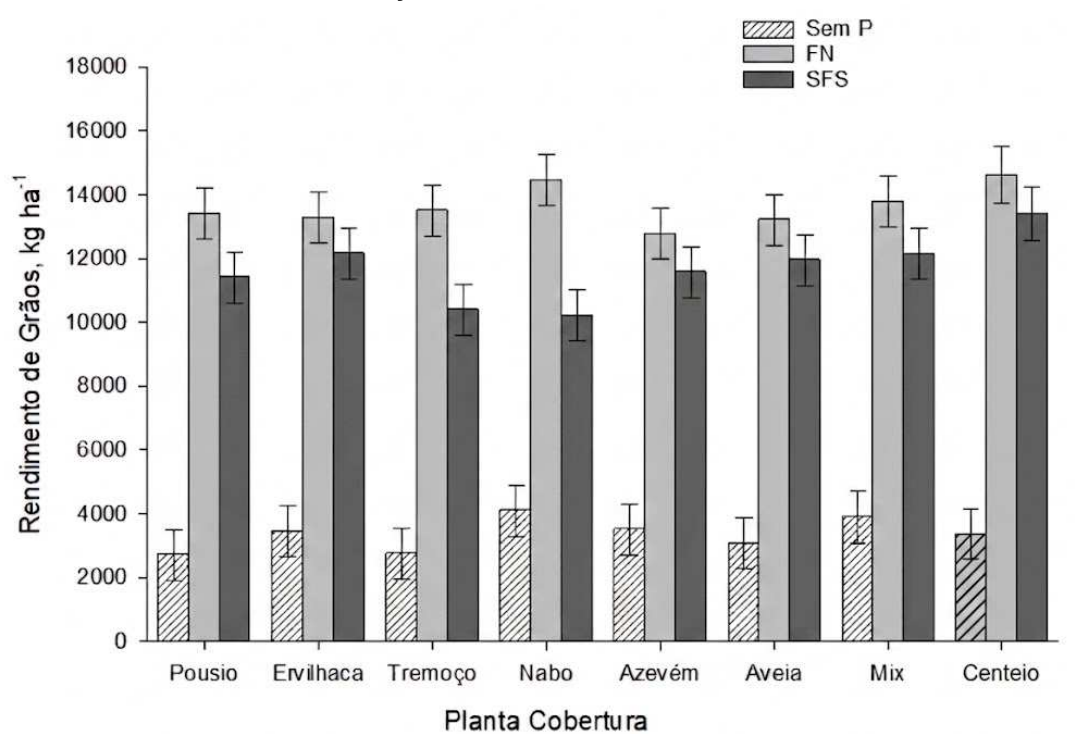
O nabo foi um pouco lento no desenvolvimento, entretanto chegando ao final do ciclo ficou mais evidente seu aparecimento, inclusive na coleta que ocorreu bem e foi representativa para cada tratamento.

O tremço Branco por seguir uma dinâmica de plantio diferente dos demais, sendo em sulco teve um arranque mais lento, mas conforme o seu desenvolvimento expressou suas características com crescimento e permanência de mais tempo sem apresentar sinais de senescência, assim a coleta foi representativa de cada tratamento.

5.2. Produtividade do milho

A produtividade do milho obtida neste experimento forma o seguinte gráfico apresentando a produtividade em quilogramas produzidos por hectare (kg ha^{-1}).

Figura 3 - Produtividade milho (kg ha^{-1}) da safra 2024/2025 sob efeito de plantas de cobertura e resíduo da adubação fosfatada realizada entre 2009 e 2015.



*Barras não coincidentes diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste Tukey.

Fonte: O autor, 2026

O gráfico 3 apresenta diferença estatística quando as barras não coincidem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Dessa forma, temos três diferentes análises a primeira sendo entre as plantas de cobertura apenas, o segundo entre as adubações apenas e o terceiro sendo entre as adubações de diferentes plantas de cobertura no rendimento de grãos de milho em kg ha^{-1} . Assim, os tratamentos de adubação com FN e SFS foram maiores tendo diferença estatística quando comparados à testemunha sem P independente das plantas de cobertura avaliadas, e quando às plantas de cobertura são comparadas no tratamento sem P não se tem diferença estatística.

Dentro do tratamento de adubação tem diferença estatística nas colunas de fósforo natural em nabo, tremoço e pousio quando comparadas às suas repetições no tratamento com superfosfato simples, os tratamentos de plantas de cobertura da ervilhaca, azevém, aveia, mix e centeio em FN não possuem diferença estatística quando comparadas às suas iguais no tratamento com adubação de SFS.

As parcelas de centeio $14.560 \text{ kg ha}^{-1}$ e nabo $14.454 \text{ kg ha}^{-1}$ atingiram as maiores médias produtivas de milho no tratamento com FN, obtendo diferença

estatística dentro do tratamento de adubação com fosfato natural pelos tratamentos de plantas de cobertura a presença de P mesmo após anos da aplicação é fundada pela solubilização lenta por meio ácido do fosfato natural no sistema e na manutenção dele em forma lábil por meio das plantas de cobertura, (Resende et al, 2004).

Comparando as plantas de cobertura do tratamento com superfosfato simples temos diferença estatística nas parcelas de centeio 13.442 kg ha⁻¹, ervilhaca 12.169 kg ha⁻¹ e MIX 12.143 kg sendo as maiores médias do tratamento, os demais tratamentos não possuem diferença estatística quando comparadas entre as plantas de cobertura.

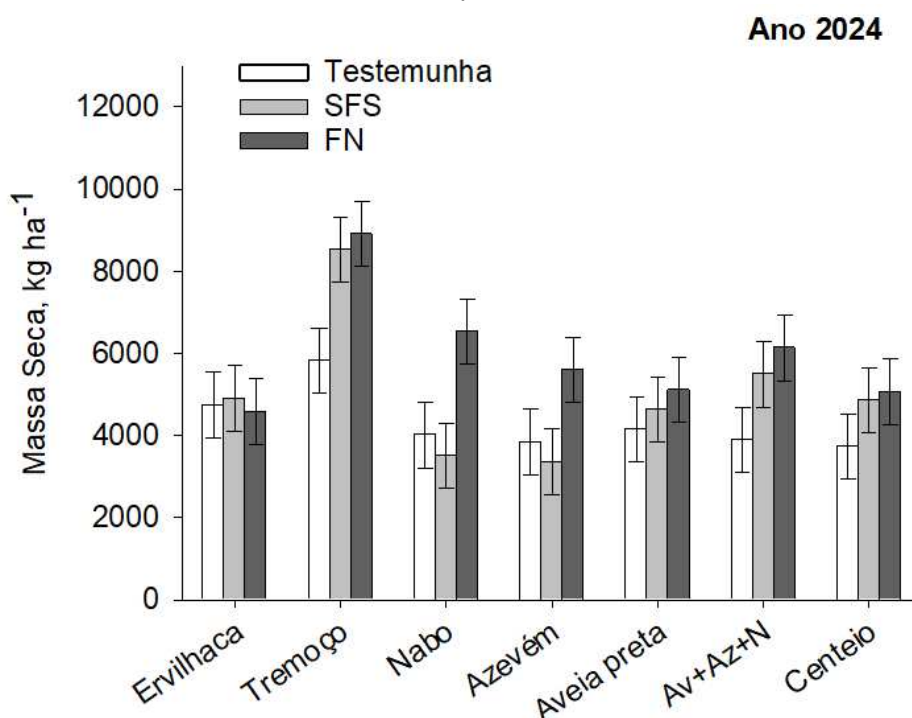
Dessa forma apresenta maiores produtividades no tratamento com fosfato natural para centeio e nabo, assim como comprovado por Resende, et al (2006) o verdadeiro potencial do Fosfato natural está na permanência do sistema e na sua eficiência de fornecimento gradual do fósforo ao solo assim como no trabalho do autor o centeio encontra a maior média produtiva dentre o tratamento com superfosfato simples e o nabo como maiores médias para o tratamento sem P.

5.3. Produtividade da matéria seca das plantas

5.3.1. Matéria seca das plantas de cobertura 2024

As plantas de cobertura do inverno de 2024 formaram o seguinte gráfico de MS das plantas de cobertura medidas em kg ha⁻¹.

Figura 4 - Produtividade de matéria seca das plantas de cobertura do Inverno de 2024 (kg ha^{-1}).



*Barras não coincidentes diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste Tukey.

Fonte: O Autor, 2026

O gráfico 4 apresenta diferença estatística quando as barras não coincidem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Dentro do tratamento de adubação com fosfato natural temos diferença estatística apenas quando comparamos as parcelas de tremoço com as demais parcelas de plantas de cobertura, esse fator se repete novamente com o tremoço em superfosfato simples comparado às demais plantas de cobertura.

Continuando com o tratamento com FN, temos diferença estatística nas parcelas de tremoço 8.906 kg ha^{-1} , nabo 6.528 kg ha^{-1} , MIX $6.133 \text{ kg kg ha}^{-1}$ e azevém 5.600 kg ha^{-1} quando comparadas as suas repetições no tratamento de adubação sem P. Com relação aos tratamentos de tremoço 8.533 kg ha^{-1} e MIX 5.493 kg ha^{-1} se tem diferença estatística em SFS apenas quando comparados aos seus iguais no tratamento sem adubação de P.

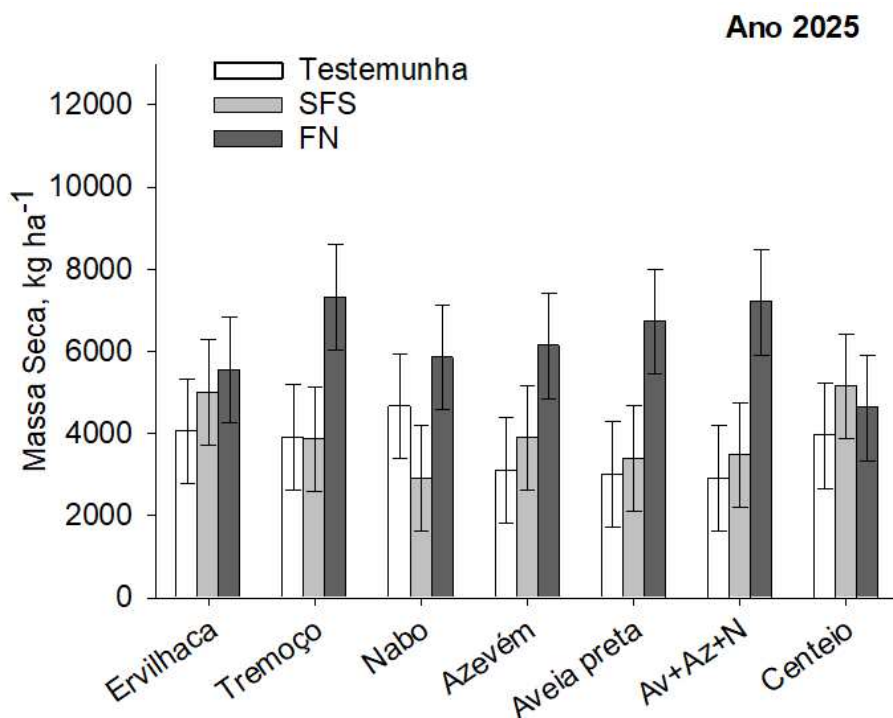
As maiores médias de produção de matéria seca por hectare são obtidas quase que exclusivamente pelo tratamento com adubação com fosfato natural com exceção do Tratamento com ervilhaca em superfosfato simples que o SFS supera o FN no mesmo tratamento de planta de cobertura, possui diferença estatística apenas no nabo e no azevém quando comparados em adubação.

Assim, o tratamento do tremoço encontra as duas maiores produtividades de matéria seca tanto para FN igual ao trabalho desenvolvido por Silva, et al (2011), onde o tremoço em fonte de fosfato natural obteve maior acúmulo de biomassa em parte aérea. Quanto para SFS sendo também as maiores médias de produção de biomassa seca de todo o experimento no ciclo de 2 anos.

5.3.2. Matéria seca das plantas de cobertura 2025

As plantas de cobertura do inverno de 2025 formaram o seguinte gráfico de M.S. das plantas de cobertura, que foram medidas em kg ha^{-1} .

Figura 5 - Produtividade de matéria seca das plantas de cobertura do Inverno de 2025 (kg ha^{-1}).



*Barras não coincidentes diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste Tukey.

Fonte: O Autor, 2026

O gráfico 5 apresenta diferença estatística quando as barras não coincidem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Inicialmente temos diferença estatística nos tratamentos com plantas de cobertura em fosfato natural do tremoço 7.320 kg ha^{-1} , MIX 7.200 kg ha^{-1} aveia 6.720 kg ha^{-1} e nabo 5.853 kg ha^{-1} quando comparadas as suas repetições no superfosfato simples. quando comparado o tratamento de FN com o tratamento de

adubação sem P se obtém diferença estatística apenas no tremoço, azevém 6.133 kg ha⁻¹, aveia e MIX.

Neste ano as plantas de cobertura apresentaram maior acúmulo de biomassa para o tremoço que assim como descrito também por Silva, et al (2011), que o desenvolvimento do tremoço em matéria seca é superior a outras plantas de cobertura em adubação por fosfato natural, e também com o MIX e a aveia obtidas no tratamento do fosfato natural comparativamente como descritos por Wolschick, et al (2016), que observou maiores formações de matéria seca pela aveia, e MIX, a relação do MIX é mais explicada pela formação de dossel em competição com fosfato natural.

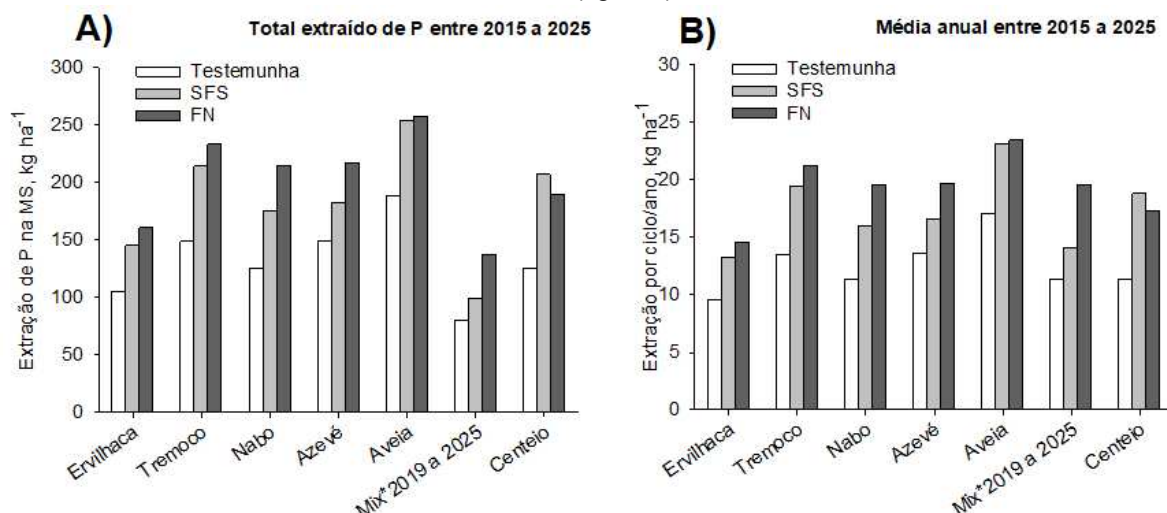
5.4. Análise do balanço de P do sistema

O balanço de P no sistema está baseado na relação entre a extração e a exportação de fósforo no sistema ao longo dos anos de 2015 a 2025, determinando a atuação das plantas de cobertura no balanço deste saldo.

5.4.1. Extração de fósforo na matéria seca das plantas de cobertura

A extração de fósforo feita na matéria seca possibilitou a formulação de dois gráficos, um deles apresenta a quantidade acumulada de 2015 a 2025 e o outro uma média de cada ano.

Figura 6 - Extração de fósforo nas plantas de cobertura em saldo de 11 ciclos e média aritmética por ano (kg ha⁻¹).



Fonte: O Autor, 2026

Desta maneira os maiores valores de P na matéria seca das plantas de cobertura são obtidos na aveia, apresentando cerca de 250 kg ha^{-1} de P acumulado ao longo de 11 ciclos, tanto para o tratamento do fosfato natural quanto para o tratamento do superfosfato simples.

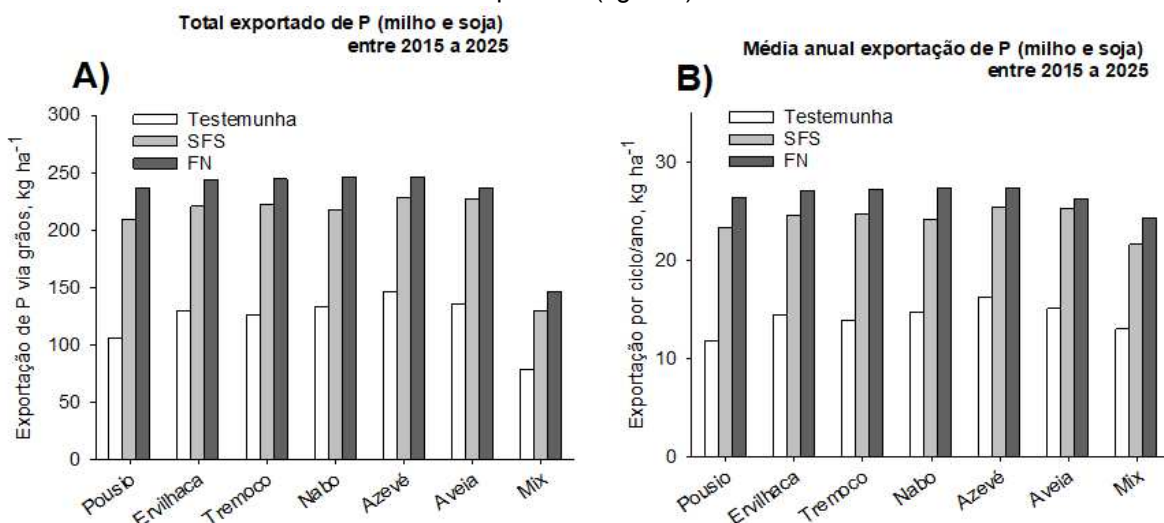
Seguidos pelos destaques entre os tratamentos de plantas de cobertura na análise histórica do tremoço 230 kg ha^{-1} , Assim segundo Casali, et al (2016) demonstrou que as plantas de aveia e tremoço teriam maiores teores de P orgânico em MS, seguidos pelo azevém 225 kg ha^{-1} , nabo 220 kg ha^{-1} , ervilhaca com 160 kg ha^{-1} , e MIX (acúmulo de 2019 a 2025) com valores de 135 kg/ha para o tratamento de FN, sendo superiores quando comparados ao SFS tendo valores de 10 a 30% menores, com exceção do centeio que apresenta maiores valores no superfosfato simples com 205 kg ha^{-1} do que no fosfato natural com 185 kg ha^{-1} .

Analisando de ciclo em ciclo o padrão se repete da análise histórica com atenção ao MIX que elevou seus valores ficando próximo como um dos tratamentos com maiores quantidades de P obtidos anualmente na média com 20 kg ha^{-1} em FN e $14,5 \text{ kg ha}^{-1}$ em SFS, apresentando maior extração para aveia, com cerca de 23 kg ha^{-1} em FN e no SFS, tremoço com 21 kg ha^{-1} em FN e 19 kg ha^{-1} em SFS, azevém com cerca de 20 kg ha^{-1} em FN e 17 kg ha^{-1} em SFS, nabo com $19,5 \text{ kg ha}^{-1}$ em FN e 16 kg ha^{-1} em SFS, MIX seguido pelo centeio com 18 kg ha^{-1} em SFS e 16 kg ha^{-1} em FN e ervilhaca com os menores valores com 14 kg ha^{-1} em FN e $12,5$ em SFS.

5.4.2. Exportação de P em grãos de Soja e Milho no sistema

Pela extração do P nas amostras de grãos se obteve os gráficos de exportação deste nutriente pelas plantas de Soja e Milho, tanto em maneira acumulativa ao longo dos ciclos quanto de ano em ano por média.

Figura 7 - Exportação de fósforo nos grãos de soja e milho em saldo de 11 ciclos e média aritmética por ano (kg ha^{-1}).



Fonte: O Autor, 2026

Em todas as plantas de cobertura o tratamento com adubação de fosfato natural foi maior do que o de superfosfato simples, com valores de 230 a 240 kg ha^{-1} exportados no pousio, ervilhaca, tremoço, nabo, azevem e aveia, quando comparadas no tratamento de SFS as exportações são de 10 a 20% menores nestes casos, com exceção ao MIX com acúmulo desde 2019 a 2025 com valores de FN em 140 kg ha^{-1} e 130 kg ha^{-1} em SFS.

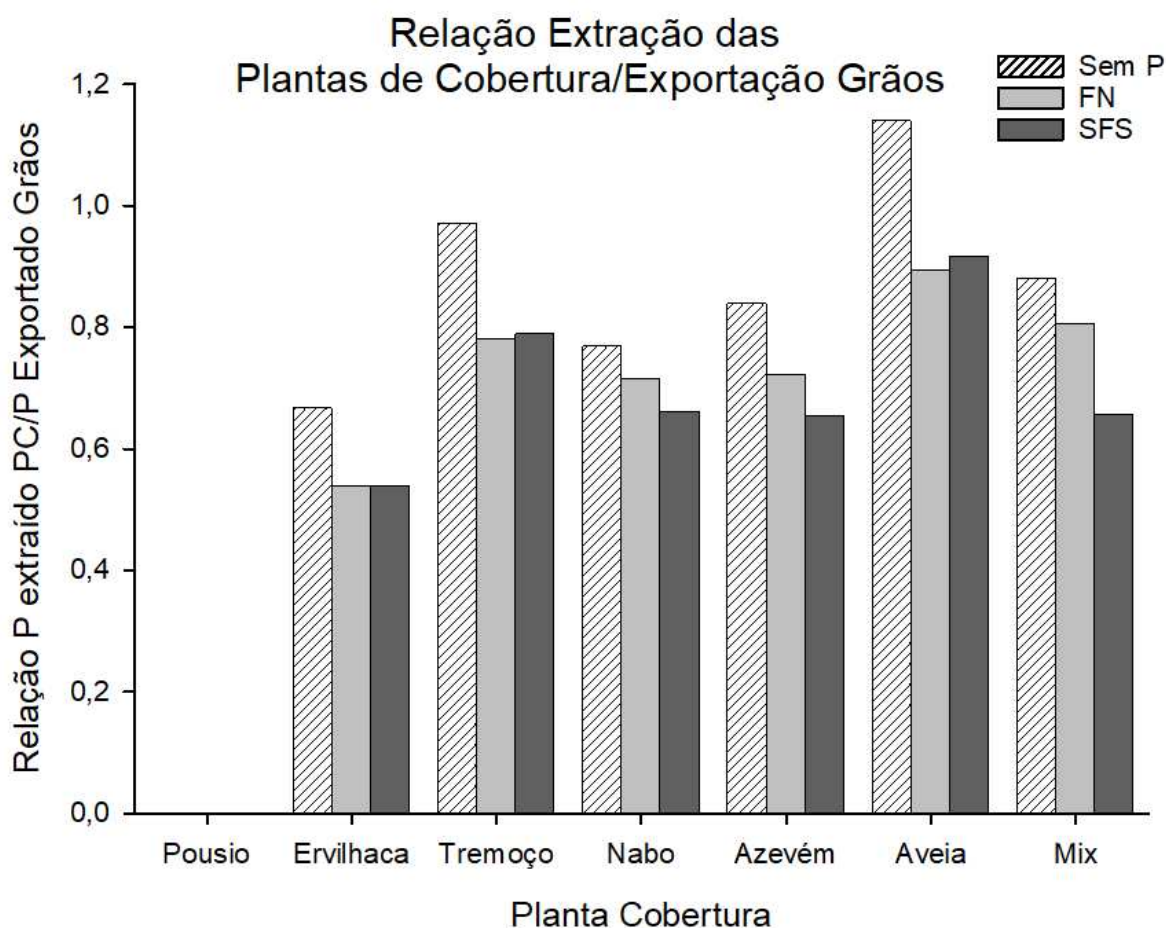
De safra em safra estes valores se mantêm em patamares mais estáveis e respeitando em todos os tratamentos maiores valores de exportação no fosfato natural, seguindo a sequência de nabo, aveia, azevém, ervilhaca, pousio e tremoço com valores que giram de 27 a 25 kg ha^{-1} em FN e 25 a 23 kg ha^{-1} em SFS, já o MIX mais se distancia desta relação com 24 kg ha^{-1} em FN e 22 kg ha^{-1} em SFS, assim como analisado por Resende, et al (2013), valores de adubação 0 em P_2O_5 Em superfosfato simples e fosfato natural a exportação do elemento se mantêm em 23 e 29 kg ha^{-1} , valores muito próximos aos descritos neste trabalho.

Uma relação é expressa por estes dados, onde quanto mais fósforo disponível no sistema maior será a exportação quantitativamente, representado pela maior concentração de P nos tratamentos com fosfato natural.

5.4.3. Relação entre extração e exportação

Aqui foi estabelecido uma relação entre a extração do fósforo presente nas plantas de cobertura nas análises quantitativas de ciclo em ciclo e na exportação do P pelos grãos de Soja e Milho de safra em safra, apresentando um gráfico que apresenta dados de suficiência na dinâmica do fósforo, onde valores mais próximos a 1,0 demonstram que a extração de P das plantas de cobertura serviu para suprir a necessidade de P pelas comerciais a nível de exportação do element, logo aqueles que apresentarem valores próximos ou iguais a 1,0, se apresentam eficientes na extração de P do solo e manutenção na porção absorvível e com menores valores de P disponível no solo, apresentando apenas a reciclagem como fonte do nutriente.

Figura 8 - Relação entre a extração e a exportação de fósforo.



Fonte: O Autor, 2026

Inicialmente valores próximos a 1,0 representam a maior eficiência na reciclagem de nutrientes, logo em todos os casos o tratamento sem P apresenta os maiores valores sendo de 10 a 30% maior, isso se pois quase todo o P disponível ele está presente na matéria vegetal das plantas de cobertura e eventualmente será

disposto para as plantas subsequentes na safra, dessa forma quanto mais longe de 1,0 menor é a eficiência de ciclagem, que coincide com os tratamentos com SFS e FN, que possuem maiores teores de P no solo quando comparado ao tratamento sem adubação, por isso comprova que as plantas de cobertura tem papel fundamental na reciclagem e permanência do P no sistema, estando ele disponível para a absorção das plantas.

Contudo, somente a planta de cobertura não condiciona extração de P do solo para determinar as maiores produtividades da cultura da soja e/ou milho, necessitando de entrada de nutrientes via fertilizantes fosfatados. Uma vez que a exportação de P via grãos no tratamento sem P está em valores próximos a 10 kg ha⁻¹ enquanto que com FN ou SFS a exportação está entre 25 a 30 kg ha⁻¹, 2,5 e 3,0 vezes maior, refletindo em maior produtividade por área, maiores produtividades requerem maiores quantidades de P disponível, algo que somente adubação correta e associação de plantas de cobertura pode fornecer de maneira sustentável ao longo do tempo (Coelho e Alves, 2003).

Já quando temos nos outros dois tratamentos o mais eficiente nesta dinâmica é a aveia que tem eficiência próxima de 0,9, seguido pelo MIX com 0,8 para FN e 0,65 para SFS, tremoço com 0,8 para SFS e 0,78 para FN, nabo e azevém com 0,7 para FN e 0,67 para SFS e ervilhaca com 0,55 para ambos os tratamentos.

6. CONCLUSÃO

A manutenção da produtividade está associada à atuação das plantas de cobertura na reciclagem de nutrientes e ao efeito residual do fosfato natural, cuja liberação gradual proporcionou desempenho superior aos demais tratamentos ao longo de quase duas décadas.

As espécies aveia e tremoço apresentaram maior capacidade de manter o fósforo em forma absorvível no sistema, acumulando aproximadamente 250 kg ha⁻¹ e 230 kg ha⁻¹ de P em 11 ciclos, respectivamente.

Os resultados confirmam que a combinação entre plantas de cobertura eficientes na ciclagem de P e fontes fosfatadas de liberação lenta constitui estratégia agronomicamente sustentável para sistemas tropicais.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Ramon Costa; CABEZAS, Waldo Alejandro Lara; CRUZ, José Carlos; SANTANA, Derli Prudente. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, jan. 2001. Acesso em: 25 de maio de 2025.

ALVARENGA, Ramon Costa; CRUZ, José Carlos; NOVOTNY, Etelvino Henrique. Manejo de solos: plantas de cobertura. Sistema de Produção, 1. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27351/1/Manejo-de-solos-Plantas-cobertura.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

ARRUDA, Viviane; JÚNIOR, Antônio Santos; MIRANDA, Liany Divina Lima. Forragicultura: Pesquisa e Ensino. Atena Editora, 3 dez. 2021. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/643653/1/Forragicultura%20Pesquisa%20e%20Ensino.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

Anais da Feira de Ciência, Tecnologia, Arte e Cultura do Instituto Federal Catarinense do Campus Concórdia, Concórdia, v. X, n. Y, p. Z–W, ano. Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/fecitac/article/view/4312>. Acesso em: 5 jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Plano Nacional de Fertilizantes. Brasília, DF: MAPA, [ano de publicação ou atualização, ex: 2022]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes>. Acesso em: 28 jun. 2026.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC). Plano Nacional de Fertilizantes (PNF): Conselho Nacional de Fertilizantes e Nutrição de Plantas (CONFERT). Brasília: MDIC, [202-]. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/sdic/confert/pnf>. Acesso em: 29 jun. 2026.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Fósforo: o mineral estratégico importante para segurança alimentar nacional. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/fosforo-o-mineral-estrategico-importante-para-seguranca-alimentar-nacional>. Acesso em: 5 jun. 2025.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Estudo Estratégico: Fertilizantes. Versão 10. Brasília: SAE/PR, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudo-s-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf. Acesso em: 5 jun. 2025.

CABREIRA, Mariana Aparecida Fontana. Levantamento de solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos. 2015. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Câmpus Dois Vizinhos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2015. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10932/2/DV_COENF_2015_2_016.pdf. Acesso em: 28 jun. 2026.

CASALI, Carlos Alberto et al. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. In: TIECHER, Tales (org.). Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS, 2016. cap. 2, p. 23-33. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/149123/001005239.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2026.

CASALI, C. A.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S. Mineralização das formas de fósforo do tecido de plantas de cobertura. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 135, p. 21-24, set. 2011. Disponível em: [https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3007/\\$File/Page21-24-135.pdf](https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3007/$File/Page21-24-135.pdf). Acesso em: 15 jun. 2026.

COELHO, Antônio Marcos; ALVES, Vera Maria Carvalho. Adubação fosfatada na cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, [2013?]. Palestra disponibilizada pelo NPCT. 40 slides. Disponível em: [https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/de2da84e7376676083257b080045a415/\\$FILE/Palestra%20Antonio%20Coelho.pdf](https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/de2da84e7376676083257b080045a415/$FILE/Palestra%20Antonio%20Coelho.pdf). Acesso em: 16 jun. 2026.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: v. 13, safra 2025/26, n. 9 – nono levantamento, junho 2026. Brasília, DF: Conab, 2026. 137 p. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/9o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safras-9o-levantamento_2026.pdf. Acesso em: 29 jun. 2026.

EMBRAPA. Importância socioeconômica. Portal Embrapa – Agência de Informação Tecnológica: cultivo do milho. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica>. Acesso em: 5 jun. 2025.

EPAGRI/SC. O que são plantas de cobertura ou adubos verdes: conheça as vantagens. Epagri, 4 set. 2020. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/o-que-sao-plantas-de-cobertura-ou-adubos-verdes-conheca-as-vantagens/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

FAVARATO, Luiz Fernando; SOUZA, Jacimar Luis; GALVÃO, João Carlos Cardoso; SOUZA, Caetano Marciano de; GUARCONI, Rogério Carvalho; BALBINO, José Mauro de Souza. Crescimento e produtividade do milho-verde sobre diferentes coberturas de solo no sistema plantio direto orgânico. Bragantia, Campinas, v. 75, n. 4, p. 497–506, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/wHm4YRDR5WnRTZvKYhnDnZS/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

FANCELLI, Antônio Luiz e DOURADO NETO, Durval. Produção de milho. . Guaíba: Agropecuária. . Acesso em: 29 jun. 2026. , 2004

GONTIJO NETO, M. M.; SIMEONE, M. L. F.; GUIMARÃES, C. C.; VASCONCELOS, F. V.; UBA, M. A. Predição de proteína, matéria seca e fósforo em grãos de milho

pela espectroscopia de reflectância no infravermelho próximo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 9). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/659820/1/Bol9.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2026.

GUERRA, Antonio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira (organizadores). Degradação dos solos no Brasil. Rio de Janeiro: Editora (não informado), 2014. Disponível em: <https://www.bibliotecaagpatea.org.br/agricultura/solos/livros/DEGRADACAO%20DOS%20SOLOS%20NO%20BRASIL.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

GUIMARÃES, N. N. et al. Interferência do pousio no manejo de plantas daninhas: um estudo teórico. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 17, n. 3, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1164083/interferencia-do-pousio-no-manejo-de-plantas-daninhas-um-estudo-teorico>. Acesso em: 16 mar. 2026.

HERRERA, Wilfrand Ferney Bejarano. Disponibilidade de fósforo no solo e eficiência agronômica de fontes fosfatadas solúvel e complexada com substâncias húmicas. 2014. 126 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11112014-095753/publico/Wilfrand_Ferney_Bejarano_Herrera_versao_revisada.pdf. Acesso em: 5 jun. 2025.

IHARA. Ficha técnica – azevém (*Lolium multiflorum*). Sorocaba: IHARA, mar. 2021. Disponível em: <https://ihara.com.br/wp-content/uploads/sites/96/2021/03/ficha-tecnica-azevem-ihara.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Anuário Estatístico do Brasil: Posição e Extensão do Território. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://anuario.ibge.gov.br/2024/territorio/posicao-e-extensao.html>. Acesso em: 28 jun. 2026.

INTERNATIONAL SOIL REFERENCE AND INFORMATION CENTRE (ISRIC). Global Assessment of Human-induced Soil Degradation (GLASOD). Wageningen: ISRIC, [202-]. Disponível em: <https://isric.org/projects/global-assessment-human-induced-soil-degradation-glasod>. Acesso em: 29 jun. 2026.

JANK, Marcos Sawaya et al. A evolução do agronegócio no Brasil e nos Estados Unidos (2000-2024): commodities versus especialidades. São Paulo: Insper Agro Global, 2025. 17 p. (Working Paper, n. 2/2025). Disponível em: <https://agro.insper.edu.br/storage/papers/February2025/EUA%20x%20Brasil.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2026.

KAMINSKY, Laura M.; THOMPSON, Grant L.; TREXLER, Ryan V.; BELL, Terrence H.; KAO-KNIFFIN, Jenny. Uso excessivo de fertilizantes fosfatados pode reduzir as

funções microbianas críticas para a saúde das culturas. EcoDebate, 20 mar. 2019. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2019/03/20/uso-excessivo-de-fertilizantes-fosfatados-pode-reduzir-as-funcoes-microbianas-criticas-para-a-saude-das-culturas/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

KOCHHANN, Rainoldo Alberto; DENARDIN, José Eloir. Implantação e manejo do sistema plantio direto. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 36 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 20). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/850206/1/CNPTDOCU MENTOS20IMPLANTACAOEMANEJODOSISTEMAPLANTIODIRETOFL13398.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

LIMA, Valmiqui Costa; BOGNOLA, Oromar João; PINTO, Jane Maria de Carvalho (org.). Conhecendo os principais solos do Paraná. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual Paraná, 2013. 52 p. Disponível em: <http://www.sbcs-nepar.org.br>. Acesso em: 29 jun. 2026.

LOPES, Luiz Henrique de Oliveira; FARIA, Clementino Marcos Batista de. Recomendações técnicas para os cultivos do milho e feijão-de-corda. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1995. 37 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/132477>. Acesso em: 29 jun. 2026.

MACHADO, Anderson Wolf. Fósforo nas plantas: função, comportamento no solo e principais adubos fosfatados. Agrolink, 2024. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes/fertilizantes-minerais-com-fosforo_361445.html. Acesso em: 5 jun. 2025.

MACHADO, Anderson Wolf. O que são e como funcionam o superfosfato simples (SSP) e o superfosfato triplo (TSP). Agrolink, 2 jul. 2024. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/adubacao-mineral/adubo---superfosfato-simples--ssp--e-superfosfato-triplo--tsp-_465018.html. Acesso em: 5 jun. 2025.

MACHADO, Anderson Wolf. Quais os problemas gerados pelo excesso na fertilização e como resolvê-los. FertiSystem, 2024. Disponível em: <https://www.fertisystem.com.br/m/blog/60d4b0525639c367d906d5d4/quais-os-problemas-gerados-pelo-excesso-na-fertilizacao-e-como-resolve-los>. Acesso em: 5 jun. 2025.

MARSCHNER, Petra (ed.). Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3. ed. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2012. 651 p. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/edited-volume/9780123849052/marschners-mineral-nutrition-of-higher-plants>. Acesso em: 29 jun. 2026.

MARQUES, Vinícius. Coordenadas geográficas: como ler e localizar. Toda Matéria. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/coordenadas-geograficas/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

NASCIMENTO JUNIOR, Alfredo do. Cultivo de centeio. 3. ed. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2014. 21 p. Sistema de Produção, n. 1. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1155365/1/Cultivo-de-Centeio.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2025: the potential to produce more and better. Roma: FAO, 2025. 148 p. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/feba76d0-dc7e-4ad3-b287-39426f3822fd>. Acesso em: 29 jun. 2026.

TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B. de; SALDANHA, M. F. C. Fósforo disponível. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. pt. 2, cap. 2, p. 203-208. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087319/1/Pt2Cap2Fosforodisponivel.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2026.

RESENDE, Álvaro Vilela de et al. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do Cerrado. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n. 3, p. 458-466, maio/jun. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/sZzcQYzb5c4DxRCn3fgrrJC/>. Acesso em: 16 jun. 2026.

RESENDE, Álvaro Vilela de et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 453-466, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/VnvLmfZ8y4JrJ7FsdbC4wGx/>. Acesso em: 16 jun. 2026.

RESENDE, Álvaro Vilela de et al. Exportação de fósforo pelo milho influenciada por doses de manutenção e efeito residual de fosfatos naturais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 19., 2014, Lages. Anais [...]. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2014. 1 arquivo eletrônico. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/986627/1/Exportacaodefoso ropelomilhoinfluenciadapordosesdemanutencaoeeefeitoresidualdefosfatosnaturais.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2026.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O.; HERMAN, J. C. How a corn plant develops. Special Report 48. Ames, IA: Iowa State University Cooperative Extension Service, 1986. Disponível em: <https://publications.iowa.gov/18027/1/How%20a%20corn%20plant%20develops001.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2025.

RITTNER, Daniel. Brasil virou "celeiro do mundo" e já lidera exportações mundiais de sete alimentos, diz BTG. CNN Brasil, 4 mar. 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/brasil-virou-celeiro-do-mundo-e-ja-lidera-exportacoes-mundiais-de-sete-alimentos-diz-btg/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

SEMENTES RENASCER. Centeio IPR 89. Disponível em: <https://www.sementesrenascer.com.br/sementes/centeio-ipr-89-2/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

SISTEMA FAEP. Sudoeste tem estudo raro sobre solos com 36 anos de dados. 14 set. 2022. Disponível em: <https://www.sistemafaep.org.br/sudoeste-tem-estudo-raro-sobre-solos-com-36-anos-de-dados/>. Acesso em: 16 mar. 2026. (O estudo acompanha há mais de três décadas os efeitos de sistemas de manejo do solo, comparando plantio direto e plantio convencional)

Silva, T. O., Furtini Neto, A. E., Carneiro, L. F., & Paludo, V. (2011). Cover crops under different sources of phosphorus in different soils. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(4), 1315–1326. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n4p1315>

SILVA, Paulo Regis Ferreira da; SILVA, Adriano Alves da; ARGENTA, Gilber; STRIEDER, Mércio Luiz; FORSTHOFER, Everton Leonardo. Manejo da ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) para cultivo do milho in sucessão, sob adubação nitrogenada.

SILVA, K. S. G. da; MARANGONI, B. S.; VILLAS BOAS, P. R.; BENITES, V. de M.; MILORI, D. M. B. P. Desenvolvimento de metodologia para quantificação de fósforo e potássio em fertilizantes minerais orgânicos utilizando LIBS. In: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA SÃO CARLOS, 6., 2014, São Carlos. Anais... São Carlos: Embrapa Instrumentação; Embrapa Pecuária Sudeste, 2014. p. 42. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1006096/1/42COMPLETOVIJornada.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2026.

VIEIRA, E. C.; NOGUEIRA, A. R de A. Determinação de espécies de fósforo em amostras de cereais e derivados empregando sistema por injeção em fluxo. In: WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO, 8., 2002, São Carlos. Resumos... São Carlos: USP-IQSC, 2002. p. 81. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/45049/1/PROCIARAN2003.00195.PDF>. Acesso em: 15 jun. 2026.

WOLSCHICK, Neuro Hilton; BARBOSA, Fabrício Tondello; BERTOL, Ildegardis; SANTOS, Kristiana Fiorentin dos; WERNER, Romeu de Souza; BAGIO, Bárbara. Canopy cover, biomass production and nutrient accumulation by cover crops. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 15, n. 2, p. 134–143, 2016. DOI: 10.5965/223811711522016134. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/223811711522016134>. Acesso em: 16 jun. 2026.

YARA BRASIL. Tipos de agricultura — Conheça os 5 principais. Blog YaraNutre, 8 jul. 2022. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/tipos-de-agricultura/>. Acesso em: 5 jun. 2025.

anexo A - Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998



**Presidência da República
Casa Civil
Subchefia para Assuntos Jurídicos**

LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998¹.

Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Título I - Disposições Preliminares

Art. 1º Esta Lei regula os direitos autorais, entendendo-se sob esta denominação os direitos de autor e os que lhes são conexos.

Art. 2º Os estrangeiros domiciliados no exterior gozarão da proteção assegurada nos acordos, convenções e tratados em vigor no Brasil.

Parágrafo único. Aplica-se o disposto nesta Lei aos nacionais ou pessoas domiciliadas em país que assegure aos brasileiros ou pessoas domiciliadas no Brasil a reciprocidade na proteção aos direitos autorais ou equivalentes.

Art. 3º Os direitos autorais reputam-se, para os efeitos legais, bens móveis.

Art. 4º Interpretam-se restritivamente os negócios jurídicos sobre os direitos autorais.

Art. 5º Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - publicação - o oferecimento de obra literária, artística ou científica ao conhecimento do público, com o consentimento do autor, ou de qualquer outro titular de direito de autor, por qualquer forma ou processo;

II - transmissão ou emissão - a difusão de sons ou de sons e imagens, por meio de ondas radioelétricas; sinais de satélite; fio, cabo ou outro condutor; meios óticos ou qualquer outro processo eletromagnético;

III - retransmissão - a emissão simultânea da transmissão de uma empresa por outra;

IV - distribuição - a colocação à disposição do público do original ou cópia de obras literárias, artísticas ou científicas, interpretações ou execuções fixadas e fonogramas, mediante a venda, locação ou qualquer outra forma de transferência de propriedade ou posse;

V - comunicação ao público - ato mediante o qual a obra é colocada ao alcance do público, por qualquer meio ou procedimento e que não consista na distribuição de exemplares;

VI - reprodução - a cópia de um ou vários exemplares de uma obra literária, artística ou científica ou de um fonograma, de qualquer forma tangível, incluindo qualquer armazenamento permanente ou temporário por meios eletrônicos ou qualquer outro meio de fixação que venha a ser desenvolvido;

VII - contrafação - a reprodução não autorizada;

VIII - obra:

a) em co-autoria - quando é criada em comum, por dois ou mais autores;

b) anônima - quando não se indica o nome do autor, por sua vontade ou por ser desconhecido;

c) pseudônima - quando o autor se oculta sob nome suposto;

d) inédita - a que não haja sido objeto de publicação;

e) póstuma - a que se publique após a morte do autor;

f) originária - a criação primígena;

g) derivada - a que, constituindo criação intelectual nova, resulta da transformação de obra originária;

h) coletiva - a criada por iniciativa, organização e responsabilidade de uma pessoa física ou jurídica, que a publica sob seu nome ou marca e que é constituída pela participação de diferentes autores, cujas contribuições se fundem numa criação autônoma;

i) audiovisual - a que resulta da fixação de imagens com ou sem som, que tenha a finalidade de criar, por meio de sua reprodução, a impressão de movimento, independentemente dos processos de sua captação, do suporte usado inicial ou posteriormente para fixá-lo, bem como dos meios utilizados para sua veiculação;

IX - fonograma - toda fixação de sons de uma execução ou interpretação ou de outros sons, ou de uma representação de sons que não seja uma fixação incluída em uma obra audiovisual;

X - editor - a pessoa física ou jurídica à qual se atribui o direito exclusivo de reprodução da obra e o dever de divulgá-la, nos limites previstos no contrato de edição;

XI - produtor - a pessoa física ou jurídica que toma a iniciativa e tem a responsabilidade econômica da primeira fixação do fonograma ou da obra audiovisual, qualquer que seja a natureza do suporte utilizado;

XII - radiodifusão - a transmissão sem fio, inclusive por satélites, de sons ou imagens e sons ou das representações desses, para recepção ao público e a transmissão de sinais codificados, quando os meios de decodificação sejam oferecidos ao público pelo organismo de radiodifusão ou com seu consentimento;

XIII - artistas intérpretes ou executantes - todos os atores, cantores, músicos, bailarinos ou outras pessoas que representem um papel, cantem, recitem, declamem, interpretem ou executem em qualquer forma obras literárias ou artísticas ou expressões do folclore.

Art. 6º Não serão de domínio da União, dos Estados, do Distrito Federal ou dos Municípios as obras por eles simplesmente subvencionadas.

¹ Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9610.htm.