



Centro Vocacional Tecnológico de Agroecologia, Mandioca  
e Agricultura Sustentável do Oeste do Paraná

# PLANTAS DE COBERTURA

*Importância na produção de grãos em  
sistema agroecológico*



*Edleusa P. Seidel*

*Emerson Fey*

*Neumárcio V. da Costa*

*Vanda Pietrowski*



**unioeste**  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná





**Universidade Estadual do Oeste do Paraná**  
**Campus de Marechal Cândido Rondon**  
**Centro de Ciências Agrárias**

**PLANTAS DE COBERTURA**  
*Importância na produção de grãos em  
sistema agroecológico*

Edleusa Pereira Seidel  
Emerson Fey  
Neumarcio Vilanova da Costa  
Vanda Pietrowski  
**Autores**

Centro Vocacional Tecnológico em Agroecologia, Mandioca e  
Agricultura Sustentável do Oeste do Paraná

2020

## **Autores**

### **Edleusa Pereira Seidel**

Engenheira Agrônoma, Doutora, Professora da área de Física do Solo.

### **Emerson Fey**

Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor da área de Mecanização Agrícola.

### **Neumárcio Vilanova da Costa**

Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor da área de Ciência das Plantas Daninhas.

### **Vanda Pietrowski**

Bióloga, Doutora, Professora da área de Entomologia e Controle Biológico de Pragas.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Plantas de cobertura : importância na produção de  
grãos em sistema agroecológico / Edleusa  
Pereira Seidel ... [et al.]. -- 1. ed. --  
Marechal Cândido Rondon, PR : Ed. do Autor, 2020.

Bibliografia.  
ISBN 978-65-00-07943-2

1. Adubos orgânicos. 2. Agricultura e tecnologias  
relacionadas. 3. Agroecologia 4. Plantas -  
Melhoramento genético I. Fey, Emerson. II. Costa,  
Neumarcio Vilanova da. III. Pietrowski, Vanda.

20-42627

CDD-637.181

#### **Índices para catálogo sistemático:**

1. Agricultura : Engenharia de produção : Tecnologia  
agrícola 637.181

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

## APRESENTAÇÃO

O uso das plantas de coberturas para melhoria da qualidade do solo não é algo novo, mas por muito tempo foi negligenciada pela maioria dos produtores. Entretanto, com os problemas advindos de cultivos intensivos e mal manejados, com sinais de degradação, seu cultivo tornou-se uma necessidade na agricultura.

Aliado a este fato, surge uma demanda por produtos cultivados de maneira sustentável, pressionada por consumidores cada vez mais exigentes. Uma agricultura que prioriza a produção de alimentos que seja econômica, social e ambientalmente correta.

Diante da necessidade de ampliar as pesquisas e a divulgação de informações técnico-científicas para estes sistemas de produção de base agroecológica, na Unioeste, campus de Marechal Cândido Rondon, criou-se um setor na Estação Experimental Prof. Alcibiades Luiz Orlando de Entre Rios do Oeste para o cultivo de grãos em sistema agroecológico. São mais de 10 anos em que se cultiva soja, milho, feijão e mandioca. Dentre as técnicas de manejo, adota-se o sistema plantio direto, rotação de culturas, adubação orgânica com cama de aviário, uso de pó de rocha, controle biológico de pragas e doenças, controle de plantas espontâneas sem uso de herbicidas sintéticos, entre outras técnicas adequadas ao sistema.

A utilização de plantas de cobertura na produção agroecológica é peça chave para garantir a sustentabilidade do sistema. Elas promovem melhorias químicas, físicas e biológicas para o solo. Entretanto, a escolha das espécies a serem utilizadas e a época de manejo das mesmas, torna-se fundamental para a nutrição e o desenvolvimento da cultura de grãos em sucessão. A adubação nos sistemas agroecológicos não pode ser negligenciada em nenhum momento pois, refletirá no aumento do teor de matéria orgânica, maior retenção de água no solo e sanidade das plantas; consequentemente, incremento na produtividade dos grãos.

O objetivo dessa publicação é apresentar os benefícios das plantas de cobertura para a produção de grãos, em especial para a nutrição e o desenvolvimento das culturas de soja e milho. Buscou-se fazer uma sistematização das informações disponíveis com foco no fornecimento do nitrogênio, fósforo e potássio. Sua abordagem é destinada a estudantes, técnicos e agricultores interessados em fazer uma agricultura sustentável.

***Autores***



## SUMÁRIO

1. Introdução
  2. Sistema de cultivo de base agroecológica - breve histórico
  3. Sistema plantio direto e como as plantas de cobertura aumentam sua qualidade
  4. Espécies mais utilizadas como plantas de cobertura no Oeste do Paraná.
  5. Recuperação de nutrientes com as plantas de cobertura
    - 5.1. Decomposição da palhada de plantas de cobertura
    - 5.2. Disponibilização de nitrogênio (N) pelos adubos verdes
    - 5.3. Disponibilização de fósforo (P) pelos adubos verdes
    - 5.4. Disponibilização de potássio (K) pelos adubos verdes
  6. Manejo Integrado de Plantas Espontâneas (MIPE)
  7. Influência das plantas de cobertura sobre a biota do solo
  8. Considerações finais
- Referências



## **1. INTRODUÇÃO**

Este Boletim Técnico visa atender uma demanda do grupo de agroecologia da Universidade do Oeste do Paraná - UNIOESTE. Na Estação Experimental Professor Alcibíades Luíz Orlando, temos uma área agroecológica de dez hectares onde se cultiva grãos a mais de 5 anos. Todavia, manter sua produtividade tem sido um desafio. Dentre muitas técnicas utilizadas para manutenção da fertilidade do solo, o uso de plantas de cobertura associado ao sistema plantio direto certamente se destaca. Por isso, não hesitamos em escrever sobre o uso de plantas de cobertura para a produção de grãos agroecológicos.

Acreditamos que se queremos melhorar a qualidade do solo temos que manejá-lo corretamente sendo fundamental o sistema plantio direto com rotação de culturas e uso de plantas de cobertura. Mas, houve uma dúvida, como abordar este tema para despertar nos leitores sua importância? Como torná-lo atual? Afinal, falar a respeito de plantas de cobertura não é algo novo, pelo contrário, é milenar. Espera-se que ao término desta publicação consiga-se atender suas expectativas.

Sabe-se que a agricultura moderna vem enfrentando inúmeros problemas, como compactação, conservação de solos, fertilidade, armazenamento de água, dentre outros. Sendo assim, o cultivo de plantas de cobertura ganha ainda mais destaque; principalmente nos sistemas de cultivos sustentáveis

## **2. SISTEMA DE CULTIVO DE BASE AGROECOLÓGICA - BREVE HISTÓRICO**

Na década de 70 surge um movimento na agricultura que tinha como objetivo mudar elementos na produção de alimentos com a finalidade de combater os impactos negativos da revolução verde. Ela ficou conhecida como agricultura alternativa. Com base nesses princípios, no Brasil, foram desenvolvidas diferentes correntes de produção, tais como: Agricultura Natural, Agricultura Biológica, Agricultura Biodinâmica, Agricultura Orgânica, Permacultura. Sendo que a agricultura orgânica é que ficou mais identificada pelos consumidores.

De acordo com Assis (2002), apesar da origem imbricada, agroecologia e agricultura orgânica não devem ser vistas como sinônimos. A agroecologia possui limites teóricos bem definidos, propondo um encaminhamento para a agricultura que respeite as condicionantes ambientais impostas pela natureza a essa atividade econômica. Leva em consideração experiências de agricultura locais.

A agroecologia é um campo do conhecimento que busca contribuir na construção de uma agricultura sustentável, do ponto social, cultural, econômico, ambiental, político e ético. Teve seu conhecimento construído principalmente pelos autores: Altieri, Hecht e Gleissmann.

Ela se consolidou como ciência em 2006, com uma publicação do Marco Referencial da Agroecologia pela Embrapa e depois, na União com a criação da Lei de Ater número 12.188/2010 e em dezembro de 2003 aprovou-se a Lei 10.831 que regulamenta a produção e comercialização de produtos agroecológicos.

### **3. SISTEMA PLANTIO DIRETO E COMO AS PLANTAS DE COBERTURA AUMENTAM A SUA QUALIDADE**

O Estado do Paraná é o 3º maior produtor de grãos do Brasil; e vem sofrendo demandas externas de importadores para aumentar ainda mais sua produção. Entretanto, esse aumento deverá ocorrer em função do uso de novas tecnologias e mudanças de manejos, pois a possibilidade de serem incorporadas novas áreas ao processo produtivo é pequena.

Sendo assim, a manutenção do solo, que é um recurso natural e que sustenta a agricultura, ganha importância. A manutenção da qualidade do solo através do manejo sustentável do solo é fundamental para manter sua qualidade. Esta qualidade pode ser mantida mediante o uso de máquinas com capacidade operacional adequada ao solo, rotação de culturas, práticas conservacionistas como terraceamento e o sistema plantio direto.

Dentre as técnicas de manejo sustentável do solo o sistema plantio direto (SPD) ganhou destaque e rapidamente conquistou os agricultores.

Atualmente o SPD é considerado a segunda grande revolução verde da agricultura brasileira.

O SPD é o sistema de manejo de solo predominante na agricultura brasileira e sua eficiência está no manejo adequado do solo, com práticas agrícolas conservacionistas (mecânica, edáfica e vegetativa), tendo como destaque a rotação de culturas com a utilização de plantas de cobertura do solo (MERTEN et al., 2015, CARVALHO et al., 2015, MOTTIN, 2019).

Neste sistema de manejo preconiza-se o não revolvimento do solo e há redução no número de operações e uma menor demanda energética quando comparado ao preparo convencional. Por isso, o SPD deve ser adotado em sistemas de cultivos conservacionistas.

Entre as vantagens do SPD está a redução significativa das perdas de solo por erosão, o que resulta em menor perda de nutrientes e eutrofização de rios. Segundo Merten et al. (2015), as perdas de solo no SPD com manejo adequado são de  $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ; enquanto, no sistema de cultivo convencional são de  $20 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

A adoção do SPD consiste em utilizar alguns princípios básicos como a rotação de culturas, cobertura permanente do solo e o revolvimento mínimo ou ausência deste. A ausência de um desses princípios pode desequilibrar o sistema, gerando problemas de ordem física, química e biológica no solo. Esse desequilíbrio pode comprometer a estabilidade do sistema de cultivo e gerar um conjunto de problemas que aliados a estresses bióticos e abióticos, irão refletir na instabilidade da produção das culturas e aumento dos custos de produção (FRANCHINI et al., 2011).

No Oeste do Paraná é possível o cultivo de duas safras, uma de verão e uma de outono/inverno; sendo que o milho de segunda safra ganha destaque nos cultivos de outono/inverno. O que se observa predominantemente é a sucessão de culturas entre soja e milho segunda safra. Nessa sucessão a produção de matéria seca é baixa e ao longo dos anos prejudica a qualidade do solo.

A rotação de culturas no SPD deve ser prioridade para manter e/ ou aumentar os teores de matéria orgânica no solo; e conseqüentemente, favorecer o desenvolvimento da microbiota e a qualidade física do solo.

Dentro da rotação de culturas as plantas de cobertura ou adubos verdes são fundamentais.

O uso de plantas de cobertura no SPD é essencial para manter o sistema produtivo em equilíbrio. Através de suas raízes as plantas conseguem absorver os nutrientes das camadas onde a cultura principal não consegue mais e trazê-los a superfície após sua decomposição. Elas afetam a fertilidade do solo ao longo dos anos; seja pelo aumento do teor de matéria orgânica, pelo aumento da disponibilidade de macronutrientes e micronutrientes, ou pelo aumento de solubilidade de minerais em função da produção de ácidos orgânicos.

O cultivo de grãos de base sustentável em sistema plantio direto exige um planejamento ainda maior. O sistema de rotação de culturas deve ser bem diversificado e planejado, sendo que a inclusão de plantas de cobertura, prática obrigatória. Por isso, o uso de plantas de cobertura tornou-se uma prática importante não apenas no inverno, ou nas entressafas, mas também durante o cultivo de verão.

#### **4. ESPÉCIES MAIS UTILIZADAS COMO PLANTAS DE COBERTURA NO OESTE DO PARANÁ**

Muitas são as espécies que podem ser cultivadas como plantas de cobertura, o que torna difícil a melhor escolha. Não existe uma planta ideal, cada uma possui vantagens e desvantagens inerentes a cada espécie (FONSECA et al., 2007). No momento da escolha deve-se fazer um levantamento das espécies que atendam às necessidades de cada produtor.

Deve-se optar por espécies que apresentam boa adaptação as condições locais, com rápido estabelecimento, boa produção de biomassa, disponibilidade de sementes e que não prejudique a cultura em sucessão. Também devem ser capazes de melhorar as características físicas, químicas e biológicas dos solos.

No Oeste do Paraná são utilizadas principalmente plantas da família *Fabaceae* (leguminosas), *Poaceae* (gramíneas) e *Brassicaceae*. As plantas da família *Poaceae* se destacam por apresentarem o sistema

radicular do tipo fasciculado e denso (BRANCALIÃO et al., 2015), com grande aporte de massa seca. São persistentes na superfície do solo, devido à alta relação carbono/nitrogênio (C/N), e por isso protegem o solo por mais tempo (CALVO et al., 2010).

Entretanto, as *Poaceae* por possuírem maior relação carbono/nitrogênio (C/N); muitas vezes, quando cultivada em monocultivo geram indisponibilidade parcial de nitrogênio mineral do solo para a cultura em sucessão, principalmente se esta for outra gramínea (KONDO et al., 2012).

Para minimizar esse efeito é possível fazer uso do consórcio entre espécies. O consórcio mais utilizado é entre as espécies das gramíneas (*Poaceae*) com leguminosas (*Fabaceae*) e/ou Crucíferas (*Brassicaceae*) que tendem a proporcionar maior equilíbrio na liberação de nutrientes. Nas leguminosas e crucíferas a decomposição dos resíduos é mais rápida; enquanto nas gramíneas é mais lenta, o que deixa a decomposição mais equilibrada. Além disso, as leguminosas liberam boa quantidade de nitrogênio para a cultura em sucessão (KLIEMANN; SILVEIRA, BRAZ, 2006).

Quando se busca uma relação de plantas cultivadas como adubos verdes ou de cobertura, um grande número de espécies aparece. Entretanto, poucas espécies são cultivadas no Oeste do Paraná (Tabela 1). A preferência são as espécies de inverno.

Algumas espécies de plantas de cobertura que normalmente são culturas de primavera/verão, se semeadas logo após a colheita da soja, no mês de janeiro/fevereiro (verão/outono), podem ser uma boa alternativa de plantas para proteção do solo e formação de palhada. Pois, quando chega o inverno elas já tiveram um bom desenvolvimento da parte aérea.

Dentre as espécies de outono/inverno cultivadas no Oeste do Paraná a principal é a aveia preta pertencente à família *Poaceae*. Ela possui rusticidade e facilidade de adaptação nessa região. Outra vantagem é que ela é resistente a doenças, possui um sistema radicular profundo e também apresenta grande quantidade de produção de biomassa (FONTANELI; SANTOS; FONTANELI, 2012).

A aveia preta (*Avena strigosa*) é mais cultivada em relação a aveia branca (*Avena sativa* L.). Ela possui menor incidência de doenças, como ferrugem e um bom potencial de produção (FEROLLA et al. (2007). Seu sistema radicular é abundante e auxilia na descompactação de solos argilosos. Por isso, a aveia é comumente utilizada antecedendo os cultivos de soja e milho de verão em áreas que fazem uso do sistema plantio direto (SPD) (Figura1).

TABELA 1. Principais espécies de plantas de cobertura de solo de primavera/verão e outono/inverno utilizadas no Oeste do Paraná

| <b>Nome comum</b>      | <b>Nome Científico</b>        | <b>Família</b>      |
|------------------------|-------------------------------|---------------------|
| <b>Primavera/verão</b> |                               |                     |
| Crotalária juncea      | <i>Sunn hemp</i>              | <i>Fabaceae</i>     |
| Crotalária spectabilis | <i>Crotalaria spectabilis</i> | <i>Fabaceae</i>     |
| Feijão-de-porco        | <i>Canavalia ensiformis</i>   | <i>Fabaceae</i>     |
| Feijão Guandu anão     | <i>Canjanus cajan</i>         | <i>Fabaceae</i>     |
| Lablab                 | <i>Lablab purpureus</i>       | <i>Fabaceae</i>     |
| Milheto                | <i>Pennisetum glaucum</i>     | <i>Poaceae</i>      |
| Mucuna cinza           | <i>Stizolobium niveum</i>     | <i>Fabaceae</i>     |
| Mucuna Preta           | <i>Mucuna aterrima</i>        | <i>Fabaceae</i>     |
| <b>Outono/inverno</b>  |                               |                     |
| Aveia preta            | <i>Avena strigosa</i>         | <i>Poaceae</i>      |
| Centeio                | <i>Secale cereale</i>         | <i>Poaceae</i>      |
| Ervilha forrageira     | <i>Pisum sativum</i>          | <i>Fabaceae</i>     |
| Ervilhaca              | <i>Vicia sativa</i>           | <i>Fabaceae</i>     |
| Nabo forrageiro        | <i>Raphanus sativus</i>       | <i>Brassicaceae</i> |
| Tremoço branco         | <i>Lupinus alba</i>           | <i>Fabaceae</i>     |

Já as plantas da família *Fabaceae* (mucuna, lab-lab, feijão-de-porco, ervilha forrageira, etc.) tem boa produtividade e são capazes de adicionar nitrogênio ao solo pelo processo de fixação biológica (Figura 2). Além disso, apresentam uma relação C/N mais baixa, favorecendo à rápida decomposição, o que pode ser uma vantagem quando se precisa de grande quantidade de nitrogênio para a cultura em sucessão (SANTOS; SEDIYAMA; PEDROSA, 2013; BRANCALIÃO et al., 2015)



**Figura 1** - Aveia preta (A) em pleno florescimento e no momento do seu manejo (B) na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando de Entre Rios do Oeste



**Figura 2** - Plantas fixadoras de N. (A) Lab-lab e (B) mucuna preta cultivadas na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando de Entre Rios do Oeste.

A ervilha forrageira (*Pisum sativum* L.) é uma leguminosa utilizada para alimentação animal, produção de grãos e como adubo verde. Quando em consórcio com as culturas de aveia, nabo, centeio, entre outras, seus benefícios ao solo são potencializados pelo maior aporte de matéria seca e nitrogênio (SANTOS et al., 2012) (Figura 3A).

O cultivo desta planta é capaz de reduzir a dependência das culturas subsequentes em termos de fertilizantes, especialmente o N, bem como reduzir os custos de produção e impactos ambientais. O cultivo da ervilha forrageira pode aumentar a produtividade da cultura sucessora devido a adição de N, além de melhorar a qualidade do solo (GAZOLA; CAVARIANI, 2011).

O tremçoço branco (*Lupinus albus*), pertencente à família das *Fabaceae* e seu uso como adubo verde é bastante comum, principalmente em regiões mais frias, isso porque a temperatura ótima para seu pleno desenvolvimento varia entre 10 e 14°C (ALMEIDA; BRANDÃO, ROSSETO, 2014). O tremçoço branco favorece o melhor aproveitamento de fósforo para a cultura sucessora. Isso porque elas são capazes de reduzir a adsorção de fósforo no solo (GEORGE et al., 2006) (Figura 3B).

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), pertence à família *Brassicaceae* e seu sistema radicular é agressivo e profundo, sendo considerado excelente descompactador natural do solo além de proporcionar elevada ciclagem de nutrientes e favorecer o desenvolvimento da cultura sucessora (CRUSCIOL et al., 2005).

Sua importância aumentou ao longo dos anos devido, principalmente, a boa produção de matéria seca e a capacidade de descompactar o solo, melhorando sua estrutura. Em trabalho realizado no Oeste do Paraná em Latossolo Vermelho Eutroférico, Anschau et al. (2018) obteve uma produção de massa seca do nabo-forrageiro de 6,24 t ha<sup>-1</sup>. Importante ressaltar que variações no rendimento de fitomassa para uma mesma espécie de cobertura são comuns, uma vez que esta característica é dependente das condições climáticas, edáficas e fitossanitárias (AMADO et al., 2002).

As plantas de cobertura, além da produção de matéria seca pela parte aérea, possuem uma boa produção de matéria seca por suas raízes. Ao se decomporem elas contribuirão para elevar o teor de matéria orgânica do solo.

De acordo com Redin et al. (2016), a produção de matéria seca das raízes das plantas da família *Fabaceae* é aproximadamente 15% da

produção de matéria seca da parte aérea. Os autores observaram que as raízes da ervilhaca produziram 36% de matéria seca em relação a produzida na parte aérea; algo em torno de 1.330 kg ha<sup>-1</sup>. A produção de matéria seca das raízes das plantas da família *Poaceae* (gramíneas) é 1,6 vezes maior do que a produzida pelas plantas da família *Fabaceae* (leguminosas).



**Figura 3** – Plantas da família Fabaceae, (A) - Ervilha forrageira e (B) - tremoço branco

O consórcio entre espécies de plantas de cobertura é uma boa opção para obter os benefícios de ambas as espécies utilizadas no consórcio. No consórcio são cultivadas duas, três ou mesmo várias espécies (mix) simultaneamente. Na escolha das espécies deve-se consorciar plantas

que tenham características diferentes; seja pela capacidade de fixação de nitrogênio, pelo sistema radicular diferente ou pela sua capacidade de suprimir plantas espontâneas. De acordo com Giacomini et al. (2003), as principais vantagens dessa modalidade de cultivo em relação ao monocultivo são:

- a) maior rendimento de matéria seca e maior acúmulo de nutrientes;
- b) a gramínea no consórcio irá reduzir o N disponível do solo e estimulará a fixação biológica de  $N_2$  pela leguminosa;
- c) a água e os nutrientes do solo podem ser mais eficientemente utilizados mediante a exploração de diferentes volumes de solo por sistemas radiculares com distribuição distinta,
- d) a presença de gramíneas na mistura com leguminosas adiciona ao solo uma fitomassa com relação C/N intermediária àquelas das culturas isoladas, proporcionando simultaneamente, proteção do solo e fornecimento de N à cultura em sucessão.

A maior produção de matéria seca pelo consórcio também foi observada por Souza e Guimarães (2013). Os autores, avaliando a produção de tremoço branco e aveia preta em monocultivo, obtiveram uma produção de  $11,1 \text{ t ha}^{-1}$  e  $9,1 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente. Quando cultivadas em consórcio a produção de matéria seca foi de  $13,3 \text{ t ha}^{-1}$ .

Maiores produções no consórcio entre espécies também foram observadas por Anschau et al. (2018) ao trabalhar com consórcio de aveia+nabo-forrageiro e aveia+ervilha-forrageira. A produção de matéria seca nos consórcios foi de 41 e 35% a mais em relação ao monocultivo das espécies.

As plantas de cobertura também podem ser consorciadas com a cultura principal. Como exemplo, temos o consórcio de milho com as espécies: mucuna, crotalária, feijão-de-porco e braquiária (Figura 4). O consórcio pode ser uma alternativa para aumentar a massa seca aportada ao solo e ao mesmo tempo melhorar as propriedades físicas do solo, bem como aumentar a produtividade da cultura principal. Para isso, é necessário a conciliação de forma adequada entre a cultura do milho e as plantas de cobertura do solo, afim de evitar a competição interespecífica

e conseqüentemente afetar a produtividade da cultura principal o que irá reduzir a renda do produtor rural.

## **5. RECUPERAÇÃO DE NUTRIENTES COM AS PLANTAS DE COBERTURA**

A necessidade de aumentar a oferta de alimentos levou a uma busca por incrementos na produtividade; ou então, na sua manutenção. Desta forma o consumo de fertilizantes aumentou e pode a longo prazo trazer desequilíbrio ao meio ambiente.

Nos sistemas orgânicos onde o uso de fertilizantes solúveis não é permitido há necessidade de um bom planejamento para garantir a manutenção da fertilidade. Por isso, o cultivo de plantas de cobertura ganha relevância, pois a mesmas podem complementar as necessidades nutricionais da cultura principal, bem como trazer benefícios físicos e biológicos.

As plantas de cobertura também favorecem a ciclagem de nutrientes. Plantas com sistema radicular profundo, absorvem nutrientes em subsuperfície que não estava mais acessível para as culturas, liberando-os gradualmente na superfície durante o processo de decomposição (MENDONÇA et al., 2013).

Existem espécies que possuem alta densidade de raízes, como as gramíneas e sua renovação periódica é importante para a ciclagem de nutrientes e sustentabilidade do sistema de produção agrícola. Além disso, as plantas de cobertura do solo promovem a maior diversidade e abundância da fauna edáfica (BALIN et al., 2017).

O conhecimento da dinâmica da decomposição dos resíduos das plantas de cobertura é fundamental para compreender a biodisponibilidade de nutrientes para a cultura em sucessão. Nos sistemas orgânicos este conhecimento é ainda mais importante, pois não há aplicação de adubos solúveis. Portanto, o agricultor tem que saber quanto de nutrientes estão disponíveis em cada safra, e se necessário, buscar complementar com outras fontes.

## 5.1. Decomposição da palhada de plantas de cobertura

A dinâmica de liberação de nutrientes pela fitomassa de diferentes espécies de adubos verdes assume importância na tomada de decisão de quanto será necessário complementar com outras fontes de nutrientes para que as exigências nutricionais da cultura em sucessão sejam supridas.

No sistema orgânico de produção de grãos há necessidade de utilizar plantas com elevada produtividade de fitomassa e, que garantam uma boa liberação de nutrientes e proteção do solo. Quanto mais rápida for sua decomposição, maior será a velocidade de liberação dos nutrientes; entretanto, maiores poderão ser as perdas por lixiviação e menor a proteção do solo dos raios solares e chuva (KLIEMANN et al.,2006).

De acordo com Lima Filho et al. (2014), o tempo necessário para que os resíduos das culturas se decomponham está diretamente ligada à sua composição química e orgânica; sobretudo os teores de celulose, hemicelulose, lignina, polifenóis e a relação de carbono com nitrogênio (C/N). Quanto mais altos forem os conteúdos de lignina e a relação C/N nos resíduos, mais lenta será sua decomposição. Outro fator que regula a decomposição dos resíduos é a umidade e temperatura.

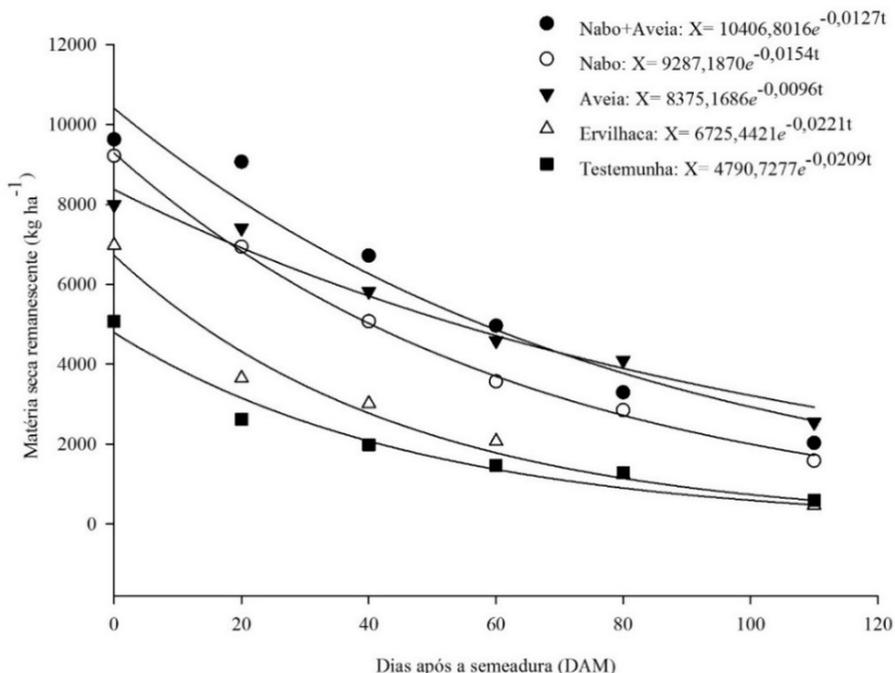
Por isso, para um bom manejo das plantas de cobertura, a separação entre espécies de rápida decomposição e de lenta decomposição é muito importante. Esta separação está baseada na atividade microbiológica que depende da relação C/N para decompor o material vegetal.

Quando esta relação está acima de 25 os resíduos têm baixa taxa decomposição, como é o caso das *poaceas* (gramíneas). Quando a relação C/N está abaixo de 25 sua decomposição é rápida; como as plantas da família *fabaceae* (leguminosas). Por isso, é interessante o consórcio entre espécies. No consórcio o produtor pode alterar a relação C/N e obter os benefícios de ambas, ou seja, rápida disponibilidade de nutrientes e proteção do solo.

Esta relação C/N intermediária dos consórcios foi demonstrada nos trabalhos realizados por Giacomini et al. (2003a) durante três anos. Nos monocultivos de aveia, ervilhaca e nabo os autores obtiveram uma

relação C/N de 36, 14 e 23, respectivamente. Enquanto, nos cultivos consorciados de aveia + ervilhaca e aveia + nabo esta relação foi de 21 e 26.

É importante se conhecer a taxa de decomposição das plantas de cobertura no decorrer do tempo. Assim, o produtor pode manejá-las no momento adequado para evitar perdas. Na Figura 4 são apresentadas a produção de matéria seca inicial e a remanescente aos 30, 60, 90 e 110 dias após seu manejo. As plantas de cobertura foram: nabo, nabo+aveia, aveia, ervilhaca e a testemunha (plantas espontâneas). Dentre as espécies cultivadas constatou-se que a ervilhaca apresentou a menor quantidade de matéria seca inicial e a maior taxa de decomposição (Figura 4).



**Figura 4** - Matéria seca remanescente das plantas de cobertura de inverno ao longo do período avaliado (0-110 dias).

Fonte: Ribeiro, (2019).

Nos sistemas orgânicos o uso de espécies de plantas de cobertura da família *Fabaceae* (leguminosas) são fundamentais, pois as leguminosas possuem elevada capacidade de fixar nitrogênio através de simbiose com bactérias e rápida liberação para a cultura em sucessão.

O nitrogênio é o nutriente mais crítico no cultivo do milho orgânico, pois sua exigência é alta. Portanto, para não haver deficiência deste elemento o cultivo de espécies da família *Fabaceae* (leguminosas) deverá anteceder-lo e deverá ter um bom sincronismo entre a liberação do nutriente dos resíduos vegetais e a exigência do milho.

Na maioria das vezes a liberação do nitrogênio ocorre quando a cultura tem menor demanda; ou então, sua disponibilidade não é suficiente para manter a produtividade em níveis elevados. Por isso, ela não deve ser a única fonte deste nutriente.

Depois de compreender bem a dinâmica da decomposição dos resíduos há necessidade de saber quanto cada planta possui de nutrientes na sua biomassa. Em posse destes dados, saber qual será o provável teor disponível no primeiro cultivo. Na Tabela 2 são apresentados os teores médios de macronutrientes encontrados em algumas plantas da família *Fabaceae* (leguminosas) cultivadas no Oeste do Paraná. Seu conhecimento, juntamente com a taxa de decomposição torna-se essencial no manejo da fertilidade do solo.

Tabela 2- Acúmulo de macronutrientes da parte aérea das espécies de adubos verdes

| Plantas de Cobertura            | N             | P             | K             | Ca            | Mg            | Autor/fonte             |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|
| ..... kg ha <sup>-1</sup> ..... |               |               |               |               |               |                         |
| Crotalária                      | 252,90        | 12,90         | 140,00        | 83,10         | 30,70         | Alvarenga et al. (1995) |
|                                 | 130,00        | 5,40          | 95,00         | 26,00         | 22,00         | Calegari (1995)         |
|                                 | 196,90        | 20,00         | 232,30        | 54,60         | 26,90         | Silva et al. (2011)     |
|                                 | 106,49        | 19,49         | 61,49         | 45,63         | 28,47         | Togo Côte (2015)        |
|                                 | <b>Média</b>  | <b>171,57</b> | <b>14,44</b>  | <b>132,19</b> | <b>52,33</b>  | <b>27,00</b>            |
| Feijão guandu                   | 196,56        | 16,10         | 58,59         | 42,96         | 12,69         | Almeida e Camara (2011) |
|                                 | 336,20        | 20,90         | 180,70        | 61,60         | 22,60         | Alvarenga et al. (1995) |
|                                 | 325,17        | 26,83         | 222,00        | 92,83         | 26,83         | Pereira et al. (2017)   |
|                                 | 142,90        | 15,30         | 139,90        | 40,00         | 14,40         | Silva et al. (2011)     |
|                                 | 86,68         | 9,61          | 36,40         | 21,87         | 10,40         | Togo Côte (2015)        |
| <b>Média</b>                    | <b>217,50</b> | <b>17,74</b>  | <b>127,51</b> | <b>51,85</b>  | <b>17,38</b>  |                         |
| Feijão de porco                 | 476,46        | 30,18         | 73,84         | 117,90        | 187,91        | Almeida e Camara (2011) |
|                                 | 146,20        | 10,30         | 113,00        | 62,70         | 11,70         | Alvarenga et al. (1995) |
|                                 | 737,17        | 55,00         | 537,17        | 674,50        | 57,50         | Pereira et al. (2017)   |
|                                 | 176,06        | 26,70         | 66,25         | 104,82        | 30,87         | Togo Côte (2015)        |
|                                 | <b>Média</b>  | <b>383,97</b> | <b>30,54</b>  | <b>197,56</b> | <b>239,98</b> | <b>71,99</b>            |
| Mucuna preta                    | 241,08        | 16,88         | 61,50         | 45,93         | 153,00        | Almeida e Camara (2011) |
|                                 | 191,50        | 12,80         | 125,50        | 91,00         | 17,00         | Alvarenga et al. (1995) |
|                                 | 219,50        | 20,17         | 153,67        | 80,67         | 17,00         | Pereira et al. (2017)   |
|                                 | 109,50*       | 11,40         | 10,35         | 33,00         | 12,50         | Silva et al. (2011)     |
|                                 | 89,04         | 8,84          | 35,96         | 31,62         | 13,84         | Togo Côte (2015)        |
| <b>Média</b>                    | <b>170,12</b> | <b>14,02</b>  | <b>77,39</b>  | <b>56,44</b>  | <b>42,66</b>  |                         |

\*Mucuna verde (*Mucuna pruriens*)

## 5.2. Disponibilização de nitrogênio (N) pelos adubos verdes

O nitrogênio (N) é um nutriente essencial para as plantas e um dos mais requeridos para seu desenvolvimento. Sua dinâmica é complexa e seu manejo essencial para o bom funcionamento dos agroecossistemas. Entretanto, em solos tropicais sua disponibilidade é baixa e se não estiver na quantidade suficiente pode comprometer a produção de grãos.

Algumas plantas de cobertura são capazes de realizar eficientemente a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e contribuir com a nutrição das culturas subsequentes. Estas plantas são capazes de fixar nitrogênio atmosférico mediante associações com bactérias fixadoras de nitrogênio, principalmente do gênero *Rhizobium* e disponibilizá-lo para a cultura subsequente (PERIN et al., 2004). Este processo é muito importante, pois uma grande quantidade de N pode ser incorporada ao sistema.

As principais plantas capazes de fixar nitrogênio atmosférico são as leguminosas (*Fabaceae*). Elas são capazes de fixar grande quantidade de nitrogênio atmosférico que após sua decomposição libera para a cultura em sucessão. Outra característica importante das leguminosas é sua baixa relação C/N, quando comparada as gramíneas; ou seja, sua decomposição é rápida. Por isso, o consórcio entre leguminosas e gramíneas é benéfico pois o resíduo que fica no solo pode resultar em relação C/N intermediária e com características mais favoráveis para a proteção do solo e o fornecimento de nutrientes.

A quantidade real de N que será aproveitada pela cultura sucessora dependerá de vários fatores tais como: relação C/N, já discutido anteriormente, temperatura, umidade e principalmente, das perdas que podem ocorrer no sistema. As perdas de N podem ser por erosão, volatilização, lixiviação e desnitrificação.

Dentre as plantas de cobertura, o feijão-de-porco e a crotalária se destacam pelos teores de nitrogênio que acumulam em sua biomassa que chega a mais de 300 kg ha<sup>-1</sup>; portanto, são plantas com grande potencial de fornecer este elemento. Todavia, do total acumulado na parte aérea das plantas de cobertura, apenas uma parte fica disponível no primeiro cultivo subsequente. De acordo com Silva et al. (2014), as plantas de cobertura: feijão-de-porco, guandu-anão, mucuna preta e crotalária *espectabilis* podem disponibilizam entre 80 a 130 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Para Ambrosano et al. (2009), o aproveitamento do N das leguminosas pela primeira cultura em sucessão foi em média de 40%. Enquanto, para Lima Filho et al. (2014) a recuperação de N é baixa, raramente superior a 20%. O restante do N não aproveitado no primeiro cultivo em sucessão ficará no solo sob formas orgânicas; ou então, perdido por volatilização, lixiviação ou desnitrificação. Na Tabela 3 é apresentada a disponibilidade média de nitrogênio da crotalária e mucuna preta para a cultura em sucessão.

Tabela 3 - Aproveitamento do nitrogênio de duas espécies de adubos verdes para a cultura do milho determinados com o uso de <sup>15</sup>N

| <b>Plantas de cobertura</b>  | <b>Aproveitamento (%)</b> | <b>Autor/fonte</b>       |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Crotalária                   | 26,1                      | Silva et al. (2009)      |
| ( <i>Crotalaria juncea</i> ) | 13,0                      | Silva et al. (2006)      |
|                              | 22,0                      | Ambrosano et al. (2009)  |
| <b>Média</b>                 | <b>20,36</b>              |                          |
| Mucuna-preta                 | 12                        | Scivittaro et al. (2003) |
| ( <i>Mucuna aterrina</i> )   | 19                        | Ambrosano et al. (2009)  |
|                              | 18                        | Ambrosano et al. (2009)  |
| <b>Média</b>                 | <b>16,33</b>              |                          |

Obs. Parte dos dados extraídos de LIMA FILHO et al., 2014

A eficiência da adubação nitrogenada proveniente das plantas de cobertura está condicionada ao conhecimento das espécies; sua produção de matéria seca, sua capacidade de acumular N, e o tempo de permanência dos nutrientes estocados na fitomassa. Em geral, a velocidade de decomposição varia em função dos teores de lignina ou compostos fenólicos presentes. Ela será rápida quando os resíduos possuem baixo teor de lignina ou compostos fenólicos, alto teor de materiais solúveis e de nitrogênio.

O tempo em que 50% da matéria seca é decomposta é chamado de tempo de meia vida. Este tempo permite ao agricultor ter uma ideia da disponibilidade dos nutrientes provenientes dos adubos verdes. Estudos tem demonstrado que em 30 dias mais de 60% do N das plantas da família Fabaceae já foram liberados da matéria seca. Na Tabela 4 são apresentadas o tempo de meia vida de algumas espécies de plantas de cobertura cultivadas na Estação Experimental da Unioeste.

A eficiência do N disponível pelas plantas antecessoras depende que este N esteja disponível no momento em que exista maior demanda da planta pelo nutriente. Deverá haver uma sincronia entre o manejo e o tempo de maior necessidade da cultura em sucessão. Se manejar muito cedo aumentam as perdas de N, pois a cultura ainda não absorve na velocidade de disponibilização e se a decomposição for lenta haverá falta do nutriente para a planta.

Na Figura 5 são apresentados os estádios fenológicos e a curva de absorção do nitrogênio do milho durante seu desenvolvimento. A absorção de N pelo milho é intensa no período que vai de 15 a 20 dias após a emergência no momento de alongação (estádio V4) até o florescimento masculino. Constata-se que a planta absorve mais de 70% de sua necessidade total de N até o florescimento (emissão do pendão).

**Tabela 4.** Parâmetros dos modelos ajustados ( $X = X_0 \cdot e^{-kt}$ ) aos valores de matéria seca remanescente, tempo de meia vida ( $T^{1/2}$ ) e Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) das plantas de cobertura de outono/inverno

| COBERTURAS      | $X_0^{(1)}$ | $k^{(2)}$ | $T^{1/2} \text{ (}^{(3)} \text{ Dias)}$ | $R^2$  |
|-----------------|-------------|-----------|---|--------|
| Nabo+Aveia      | 10406,8016  | 0,0127    | 55                                      | 0,95** |
| Nabo forrageiro | 9287,1870   | 0,0154    | 45                                      | 0,99** |
| Aveia preta     | 8375,1686   | 0,0096    | 72                                      | 0,97** |
| Ervilhaca comum | 6725,4421   | 0,0221    | 31                                      | 0,97** |
| Testemunha      | 4790,7277   | 0,0209    | 33                                      | 0,95** |
| MANEJOS         | $X_0^{(1)}$ | $k^{(2)}$ | $T^{1/2} \text{ (}^{(3)} \text{ Dias)}$ | $R^2$  |
| Rolo-faca       | 6956,6004   | 0,0130    | 53                                      | 0,99** |
| Triturador      | 8730,9148   | 0,0154    | 45                                      | 0,99** |

<sup>(1)</sup>Constante de decomposição( $\text{kg ha}^{-1}$ ); <sup>(2)</sup> Constante de decomposição;

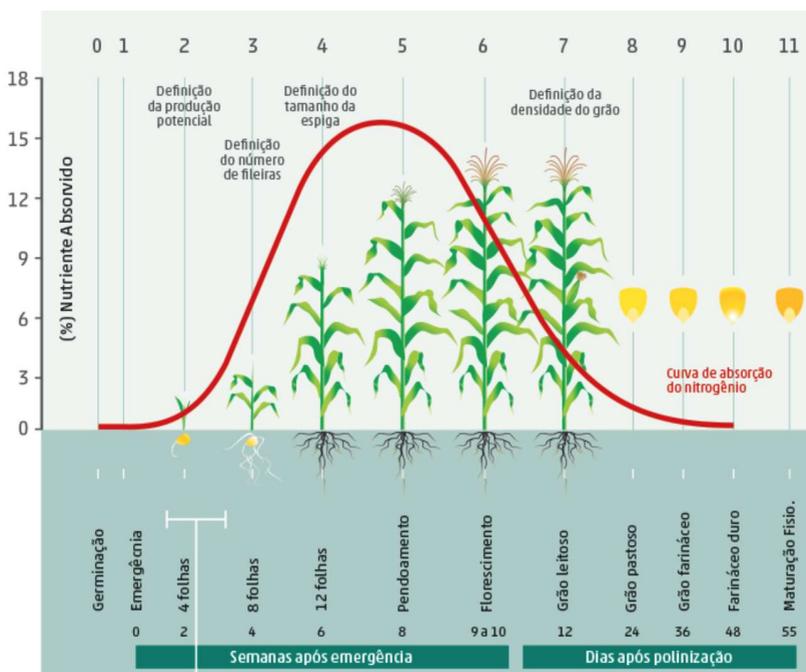
<sup>(3)</sup> Tempo de meia vida. \*\*Significativo ( $p < 0,01$ )

Portanto, deve haver uma sincronia na disponibilidade de N das plantas de cobertura e de sua absorção pela cultura sucessora. Uma maneira de aproximar a liberação de N quando a planta mais necessita é manejá-la na época certa; ou seja, as plantas devem ser manejadas e em seguida, semear a cultura seguinte.

Teixeira e Malta (2012) estudando a liberação de nutrientes pelos adubos verdes: milheto, crotalária juncea e feijão-de-porco verificaram que não houve diferença significativa na velocidade de liberação de N por essas culturas. Também observaram que quando o milho pipoca foi cultivado em sucessão a estes adubos verdes, tendo como fonte de N

apenas estas plantas, o milho pipoca apresentou teores de nitrogênio foliar abaixo de sua necessidade.

O manejo da adubação nitrogenada em milho cultivado no sistema orgânico é, sem dúvida, o mais difícil pela alta demanda deste elemento que é de 120 a 150 kg ha<sup>-1</sup>, dependendo da produtividade almejada. Diversas fontes estão disponíveis para complementar o N necessário como: resíduos das plantas de cobertura, o uso de cama de aviário, detritos de suínos, compostagem, húmus, biofertilizantes, etc.



**Figura 5** – Estádios fenológicos e curva de absorção do nitrogênio do milho. Fonte: FANCELLI, 1986, adaptada de Hanway 1966 e NEL & SMIT, 1978. In: <https://www.forseedsementes.com.br/tecnologias/roundup-ready-milho-2/>

Quando o cultivo orgânico está em equilíbrio a necessidade de complementar a adubação nitrogenada é menor. Para aumentar a

eficiência do N que chega no solo, outras medidas podem ser utilizadas tais como: rotação de culturas, o cultivo no sistema plantio direto e a integração lavoura-pecuária. Estas medidas reduzem perdas e melhoram o aproveitamento de N pelas culturas.

### **5.3. Disponibilização de fósforo (P) pelos adubos verdes**

Os solos brasileiros possuem naturalmente baixa disponibilidade de fósforo (P) e aliado a isso, eles possuem alta adsorção pelos argilominerais, em função de na sua mineralogia predominar a caulinita e óxidos de ferro e alumínio.

Em sistemas orgânicos a adubação fosfatada ocorre pela aplicação de fontes não solúveis de fósforo como os fosfatos naturais. Uma das formas de reduzir a aplicação de fosfatos naturais é o uso de adubos orgânicos como cama de aviário e dejetos de suínos; além de cultivar plantas de cobertura com maior habilidade para ciclar o P.

A matéria orgânica contém cerca de 0,5% deste nutriente (LOPES et al., 2004). O P-orgânico representa de 30% a 70% do P-total presente no solo. Em solos mais intemperizados, o P associado a compostos orgânicos representa de 25% a 35% do P total (OLIVEIRA et al., 2002). Para que o P associado à matéria orgânica do solo seja aproveitado pelas plantas, é preciso que haja a conversão do P-orgânico a inorgânico, via mineralização, cujas reações em solo são mediadas por enzimas denominadas fitases e fosfatases.

A mineralização do P contido nas plantas de cobertura ou em esterco é feita por microrganismos (bactérias, fungos e actinomicetos) que liberam enzimas que aceleram a liberação do fosfato dos compostos orgânicos (TURNER, 2008). As plantas de cobertura também produzem enzimas fosfatases (fitases, fosfolipases, nucleases) em exsudatos radiculares que aumentam a mineralização de P (CARNEIRO et al., 2004; KUNZE et al., 2011).

Os ácidos orgânicos liberados durante a decomposição das plantas de cobertura podem aumentar o fósforo disponível para as plantas, pois estes bloqueiam os sítios de fixação de fosfato pelos argilominerais. De

acordo com Meurer (2004), as plantas de cobertura liberam ácidos orgânicos de baixo peso molecular, tais como: ácidos cítrico, málico e t-aconítico que podem competir pelos sítios de adsorção com o P, o que deixa o nutriente mais disponível na solução do solo.

De acordo com Casali et al. (2016), a ciclagem do P pelas plantas de cobertura é muito importante. As plantas possuem diferentes graus de adaptação para acessar o P do solo. Há aquelas que aproveitam o fósforo inorgânico (Pi) aumentando o número de raízes, a espessura dos pelos radiculares ou formando associações com micorrizas.

Elas também são capazes de utilizar fósforo orgânico (Po) por mecanismos enzimáticos especializados para cada tipo de ésteres de fosfatos, que são utilizados como fontes do nutriente (TURNER, 2008). Sendo que cada espécie tem maior ou menor eficiência em otimizar o uso do P do solo.

As raízes das plantas de cobertura podem também alterar a rizosfera pelos exsudatos. Algumas espécies liberam ácidos orgânicos como oxálico, malônico e piscídico, estes exsudatos são capazes de deslocar o P associado a ferro e alumínio do solo.

Trabalhos demonstram que as plantas de cobertura possuem capacidade de ciclar P diferenciada. Em estudos com espécies de primavera/verão Silva et al. (2014 a) constatou maior ciclagem de P no feijão guandu. Enquanto, Pereira et al. (2017) verificou maior acúmulo na parte aérea de P em crotalária, seguido do feijão-de-porco. Para as espécies de outono/inverno, Casali (2012) observou que a ervilhaca comum apresentou a maior concentração de P em sua parte aérea.

Outro fator que contribui para a dinâmica do P é o manejo do solo adotado. Segundo Casali et al. (2016) e Tiecher *et al.* (2012) sistemas de manejo com menor revolvimento, como por exemplo o sistema plantio direto, aumentam a quantidade de fósforo orgânico, e este fica protegido dentro dos macroagregados do solo.

No sistema plantio direto, que a movimentação do solo é mínima, há maior concentração de fósforo, principalmente na superfície. Incrementos

mesmo que muito baixos nos teores de matéria orgânica em sistemas sem revolvimento do solo podem favorecer a maior adsorção de P.

Na agricultura orgânica, onde não há aplicação de fosfato solúvel, o uso de plantas de cobertura e o sistema plantio direto é uma estratégia interessante para aumentar a disponibilidade de P no solo. De acordo com Giacomini et al. (2003), nos primeiros 30 dias após o manejo das plantas de cobertura 64% do P da ervilhaca e 30% da aveia já foram liberados.

#### **5.4. Disponibilização de potássio (K) pelos adubos verdes**

O Potássio (K) é o segundo nutriente mineral em quantidade absorvido pelas plantas. Encontra-se disponível no solo na forma de íon ( $K^+$ ) e não faz parte de nenhum composto celular. É prontamente disponível após a decomposição da palhada (COSTA et al., 2012; SORATTO et al., 2012), o que aumenta consideravelmente suas perdas por lixiviação (SILVA e LAZARINI, 2014).

O potássio tem papel funcional nos processos fisiológicos da cultura, bem como, transporte energético e de nutrientes, armazenamento de assimilados, manutenção dos tecidos, processos enzimáticos, absorção de água, entre outros (MEURER, 2006).

Em sistemas orgânicos a manutenção ou sua adição se dá pelo uso de cinzas, adubos orgânicos (esterco bovino, dejetos de suínos), biofertilizantes e compostos orgânicos. Os fertilizantes minerais de origem natural e de baixa solubilidade são permitidos como o pó de rocha. Em situações específicas, com autorização da certificadora poderá ser utilizado o sulfato de potássio e sulfato duplo de potássio (origem mineral natural).

Algumas plantas de cobertura têm alta eficiência na ciclagem do K, seja pela capacidade de absorver mais K de formas consideradas não trocáveis, ou na capacidade de acumular K (MENEZES e LEANDRO, 2004). Essa diferença entre espécies tem sido associada à capacidade de exsudação de ácidos orgânicos de cadeia leve, como citrato, malato, oxalato pelas raízes, além de aminoácidos de baixo peso molecular (ROSOLEM et al. 2019).

A quantidade de K disponibilizado pelas plantas de cobertura depende dos fatores climáticos e da espécie. Uma vez na solução pode se transformar em formas menos disponíveis, ser absorvido pelas plantas do cultivo sucessivo, perdido por escoamento superficial ou lixiviado. Portanto, utilizar no sistema de rotação de culturas espécies que tem alto potencial de acúmulo de K, como as braquiárias resulta em menores perdas deste elemento.

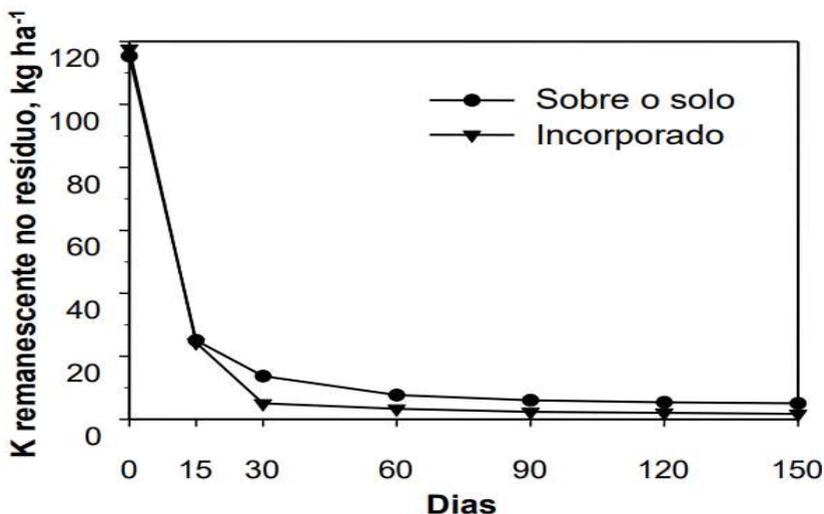
Miranda et al. (2010), ao avaliar sete espécies de adubos verdes (*Mucuna* preta, feijão-de-porco, guandu, lab-lab, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis* e caupi), mais um coquetel delas com milho, sorgo e girassol e vegetação espontânea, observaram maior produção de matéria seca e acúmulo de K na cultura do lab-lab. Bem como, maiores teores de K no solo por ocasião da semeadura do sorgo em sucessão.

Pereira et al. (2017), não observou diferença no teor de K no tecido das plantas (capim-sudão, crotalária, feijão-de-porco, guandu-anão, trigo-mourisco, mucuna-preta). Entretanto, houve diferença para o acúmulo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), pois houve maior produção de matéria seca do feijão de porco.

Da mesma forma que o nitrogênio, a sincronia entre a liberação de K das plantas e a sua demanda em sistemas de produção é muito importante, pois a lixiviação deste elemento é alta. A taxa de liberação de K da palhada é afetada principalmente pela quantidade de chuva e a espécie.

De acordo com Rosolem et al. (2019), até 60% do K acumulado na palhada de várias espécies é retirado dentro de 40 a 45 dias a partir de seu manejo; e para Mielniczuk (2005), em estudo realizado por dois anos, mais de 80% do K contido nos resíduos de aveia, ervilhaca e aveia+ervilhaca é liberado em menos de 30 dias. Por isso, é interessante rolar o material e semear em seguida.

A inclusão de aveia como planta de cobertura de solo antes do milho, pode representar uma adubação (K) de aproximadamente  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  presente na massa seca. Embora não seja adequado, sua liberação pode ser acelerada quando o material vegetal é incorporado (Figura 6).



**Figura 6** - Potássio remanescente em tecido de plantas de cobertura.  
 Fonte: Mielniczuk, 2005

## 6. COMO AS PLANTAS DE COBERTURA PODEM MELHORAR AS PROPRIEDADES FÍSICAS

As plantas de cobertura podem melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo; aumentando sua qualidade. As melhorias físicas ocorrem em função do aumento de matéria orgânica e agregação do solo que favorecerá a aeração, a infiltração de água e a condutividade hidráulica. Outro benefício das plantas de cobertura é a proteção da superfície do solo dos impactos diretos das gotas de chuvas, diminuindo o processo erosivo.

A união entre as partículas primárias de areia, silte e argila formam os microagregados e a união deste formam os macroagregados. Solos com agregados maiores possuem melhor qualidade física. As plantas de cobertura podem afetar a agregação da seguinte forma:

**a) Penetração das raízes:** a pressão exercida pelas raízes em crescimento produz uma aproximação das partículas primárias do solo (areia, silte e argila), contribuindo para a formação dos microagregados.

**b) Exsudação das raízes:** As raízes das plantas liberam material orgânico na rizosfera, que diretamente e indiretamente, estimula a microbiota afetando a estrutura do solo. Essas substâncias orgânicas (exsudatos), enzimas, mucilagem e vários metabólitos primários e secundários podem unir as partículas primárias do solo.

Salton et al. (2008), observaram que as raízes estabilizam os agregados mediante a liberação de exsudatos (polissacarídeos). O grau de influência das raízes sobre a estrutura do solo devido aos exsudatos das raízes é muito variável; tanto na produção, como na composição das mucilagens, e estão na dependência de:

- ✓ Regime de água - solos com baixa umidade estimulam a produção de mucilagens
- ✓ Espécies das plantas - raízes de milho exsudam mais do que raízes de trigo; e o exsudato de tremoço estimula o crescimento de fungos mais que exsudatos de trigo. As plantas de cobertura da família *Poaceae* são consideradas mais eficientes em promover a estruturação do solo em relação às plantas de cobertura da família *Fabaceae* (LOSS et al., 2015). Porém, nos primeiros anos da implantação de plantas de cobertura, a maior estruturação do solo pode ocorrer com o cultivo de plantas da família *Fabaceae* capazes de incrementar de nitrogênio no solo (COUTINHO et al., 2010), através de fixação biológica de nitrogênio (FBN).
- ✓ Estádio de desenvolvimento da cultura - maior produção de exsudatos tem sido observada no início do desenvolvimento (estádios iniciais) das culturas.
- ✓ Profundidades dos solos - a maior produção dos exsudatos ocorre próximo a superfície onde se concentram as raízes.

**c) Decomposição:** A decomposição dos resíduos das plantas de cobertura aumenta a matéria orgânica e favorece o desenvolvimento de microrganismos. Estes microrganismos liberam substâncias que favorecem a cimentação dos agregados. Após a matéria orgânica se decompor formam-se as substâncias húmicas que são eficientes na estabilidade dos agregados. A magnitude deste processo depende da quantidade de biomassa adicionada e da velocidade da decomposição. A contribuição do carbono derivado do tecido e dos exsudatos das raízes para o aumento da matéria orgânica do solo pode exceder a contribuição da parte aérea em 1,5 vezes.

**d) Emaranhamento de raízes:** muitos estudos têm enfatizado a importância do enraizamento das plantas no emaranhamento das partículas do solo para formar e estabilizar macroagregados. Todavia, fica difícil separar o efeito do carbono orgânico das raízes, dos efeitos dos fungos micorrízicos arbusculares; pois estes fatores estão intimamente ligados. Os fungos excretam uma glicoproteína chamada glomalina, que tem ação na estabilização dos agregados; principalmente nos microagregados.

As plantas de cobertura também são eficientes em diminuir problemas de manejo inadequado do sistema de produção. Um destes problemas é a compactação. A compactação é o adensamento das partículas do solo em função da desestruturação. Um solo compactado possui redução do volume de poros, redução da taxa de infiltração, difusão de oxigênio e aumento da energia com que a água fica retida no solo, diminuindo sua disponibilidade (MÜLLER et al., 2001).

A compactação do solo pode ocorrer pelo uso de equipamentos agrícolas na umidade inadequada ou com peso acima da capacidade de suporte deste solo; pela redução na adição de matéria orgânica e falta de rotação de culturas. Algumas plantas de cobertura, como o nabo forrageiro, possuem raízes vigorosas, profundas e são eficientes para o rompimento de camadas compactadas do solo.

Quando as raízes das plantas de cobertura se decompõem deixam espaços vazios chamados de bioporos, com ampla variação no tamanho e forma. Os bioporos aumentam a porosidade e conseqüentemente aumentam a aeração e a capacidade de infiltração de água no perfil do solo (LIMA et al., 2012).

## **7. INFLUÊNCIA DAS PLANTAS DE COBERTURA SOBRE A BIOTA DO SOLO**

As plantas de cobertura afetam diretamente a biota do solo; seja estimulando seu desenvolvimento ou então, reduzindo sua população. Esta redução se dá pela liberação de substâncias alelopáticas que afetam a qualidade e a quantidade destas populações (TEASDALE, et al., 2007).

Os microrganismos são importantes pois exercem diversas atividades no solo como a mineralização, ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, além do papel que desempenham na formação do solo (MOREIRA et al., 2013). Os fungos micorrízicos aumentam a disponibilidade de nutrientes, principalmente o fósforo, potencializam a absorção de água e garantem maior resistência à seca nas plantas hospedeiras (BERUDE et al., 2015).

Esses fungos são microrganismos que se associam às raízes de cerca de 80% das plantas terrestres. Essa associação ocorre através de simbiose, onde os dois organismos obtêm vantagens adaptativas. No caso dos fungos micorrízicos a simbiose é complexa, denominada micorriza, onde o fungo produz uma variedade de estruturas dentro da raiz da planta hospedeira (KOIDE; MOSSE, 2004).

A microbiota, em especial os fungos micorrízicos arbusculares, atuam na formação dos agregados, pois através de suas hifas englobam os componentes primários do solo aproximando-os. Também produzem substâncias que promovem sua união aumentando sua estabilidade. Os fungos estão em primeiro lugar por seus efeitos estabilizantes, mas algumas bactérias possuem efeito semelhante aos fungos.

Estima-se que 50% do efeito estabilizante dos fungos é devido à ação mecânica promovida pelas hifas e 50% devido a produtos de síntese do seu metabolismo (polissacarídeos) e de sua decomposição. Para as bactérias, 80% do efeito estabilizante são devido a produtos de seu metabolismo e somente 20% de sua decomposição. Os polissacarídeos excretados pelos microrganismos formam um filme em torno dos minerais, que quando o solo seca, é irreversivelmente desidratado e cimenta esta partícula em agregados estáveis.

Fungos e bactérias exercem papel fundamental na agregação do solo. As hifas dos fungos são temporárias e substituídas anualmente. Quando fazemos uma calagem ou o revolvimento do solo seu efeito agregante pode desaparecer. Isso porque as condições ácidas favorecem seu desenvolvimento o que é alterado pela calagem.

Os fungos micorrízicos arbusculares são membros importantes do sistema solo-planta, sendo vitais para a sustentabilidade da agricultura em regiões tropicais, estando diretamente ligados a diversidade e a produtividade de comunidades vegetais (BERBARA et al., 2006). Além disso, são excelentes na absorção de nutrientes como o fósforo e na translocação e disponibilização desses nutrientes (RAMOS, et al. 2012, VANELLI, et al. 2018).

Além disso, podem aumentar a resistência das plantas ao ataque de patógenos do sistema radicular e melhorar a capacidade de absorção de água. Adicionalmente, contribuem com o acúmulo de estoques de carbono através da biomassa microbiana e favorecem a estabilidade dos agregados do solo (SIQUEIRA et al., 2010).

Estudos têm reportado a importância desses fungos micorrízicos na recuperação de solos degradados nas mais diversas situações de degradação do solo. A aplicação das micorrizas arbusculares na recuperação desses solos concentram-se na reintrodução de propágulos selecionados e na busca de espécies nativas adaptadas às condições de degradação (COLODETE; DOBBSS; RAMOS, 2014).

Para Mergulhão et al. (2014), o estabelecimento, desenvolvimento e a conservação dos ecossistemas são dependentes de associações micorrízicas, que propiciam aos vegetais estratégias nutricionais superiores à de plantas não micorrizadas, beneficiando a sobrevivência em condições de estresse.

Os nematoides fazem parte da microfauna presente no solo e são considerados os organismos mais abundantes e diversificados do planeta, com valores estimados de 200 a 400 mil espécies, das quais apenas 12 mil foram descritas (SIQUEIRA et al., 2010). Uma das principais funções dos nematoides de solo no sistema produtivo é a liberação de nutrientes, que serão absorvidos pelas raízes das plantas (CARES; HUANG, 2008). Enquanto algumas comunidades de nematoides de solo contribuem para a ciclagem de nutrientes, outras são

parasitas de plantas e podem levar a grandes perdas na produção das culturas.

Por isso, parâmetros microbianos têm sido utilizados com sucesso na avaliação da qualidade ambiental dos solos, como por exemplo, a biomassa microbiana do solo e a produção de enzimas (BALOTA et al., 2015, HERRMANN, 2020).

## **8. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Nesta publicação foi considerada em especial, a importância das plantas de cobertura para o manejo da fertilidade do solo. A escolha da espécie a ser utilizada em cada talhão deve levar em consideração sua produção de fitomassa e a época de seu manejo. Deve haver uma sincronia entre sua máxima decomposição e a época de maior necessidade de nutrientes da cultura de grãos. Para isso, um planejamento a longo prazo da propriedade é fundamental.

O uso de plantas de cobertura em sistema de produção de grãos agroecológicos deve ser uma prática obrigatória, pois representa uma das mais eficientes estratégias para aumentar o teor de matéria orgânica e a solubilidade de pó de rocha e fosfatos naturais. Além de melhorar as propriedades físicas do solo, refletindo em aumento de infiltração e retenção de água; bem como amplia a diversidade biológica do solo.

Deve-se dar prioridade a rotação de culturas com plantas de cobertura cultivadas em sistema plantio direto; principalmente com leguminosas que fornecem nitrogênio para a cultura em sucessão. Garantindo desta forma, a qualidade e os benefícios econômicos e ambientais do sistema de produção grãos.

Por isso, o nosso desafio como pesquisadores é estimular seu uso como uma prática rotineira pelos agricultores, contribuindo para uma produção econômica e ambientalmente equilibrada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v.30, n.2, 1995.

ALMEIDA, K. de; CAMARA, F. L. A. Produtividade de biomassa e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão, em cultivos solteiros e consorciados. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 6, n.2, 2011.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de coberturas do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, 2002.

AMBROSANO, E.J.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H. AMBROSANO, G.M.B; SHAMMASS, E.A.; MURAOKA, T.; GUIRADO, N.; ROSSI, F. Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. **Scientia Agricola**, v. 66, n.3, 2009.

ANSCHAU, K. A.; SEIDEL, E. P. MOTTIN, M. C.; LERNER, K. L.; FRANZISKOWSKI, M. A.; HERRMANN, D. da R. Propriedades físicas do solo, características agronômicas e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 3, 2018.

ASSIS, R. L. de; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e agricultura orgânica: controvérsias e tendências. Desenvolvimento e meio ambiente: caminhos da agricultura ecológica, n. 6, p. 67-80, 2002.

BALIN, N. M.; ZIECH, A. R. D.; OLIVEIRA, J. P. M.; GIRARDELLO, V. C.; STUMPF, L.; CONCEIÇÃO, P. C. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 3, 2017.

BALOTA, E. L; YADA, I. F. U; AMARAL, H. A; NAKATANI, A. S; HUNGRIA, M; DICK, R. P; COYNE, M. S. Soil Quality in Relation to Forest Conversion to Perennial or Annual Cropping in Southern Brazil. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.39, p. 1003-1014, 2015.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A. de; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. In: FERNANDES, M.

S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.

BERUDE, M. C; ALMEIDA, D. S; RIVA, M. M; CABANÉZ, P. A; AMARAL, A. A. Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.22; 2015.

BRANCALIÃO, S. R.; AGUIAR, A. T. E.; BRANCALIÃO, E. M.; LIMONTA, C. R.; ROSSI, C. E.; CRISTOVÃO, N. N. Produtividade e composição dos grãos de soja após o aporte de nitrogênio com o uso de culturas de cobertura em sistema de semeadura direta. **Revista Nucleus**, v. 12, n. 1, 2015.

CALEGARI, A. **Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná**. Londrina:Iapar, 1995. 117 p. (IAPAR. Circular Técnica,80).

CARES, J. E.; HUANG, S. P. Soil nematodes. In: MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J; BIGNALL, D. E. (Ed.) **A handbook of tropical soil biology: sampling and characterization of below-ground biodiversity**. London: Earhscan, 2008. p.97-106.

CASALI C. A. **Sistemas de culturas sob diferentes manejos em longa duração alteram as formas de fósforo do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2012.

CASALI, C.A.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R. dos; CALEGARI, A.; PICCIN, R. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. In: TIECHER, T. (Ed.) **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre, RS: UFRGS, 2016. p. 23–33.

CARNEIRO, R.G.; MENDES, I.C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M.de; VIVALDI, L. J. (2004). Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39(7), 661-669. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700007>

CARVALHO, A. M.; COSER, T. R.; REIN, T. A.; DANTAS, R. de A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W. Manejo de plantas de cobertura em duas épocas e efeito no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 01-11, 2015.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação c/n de monocultivos e consórcios de guandu anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v.69, p.77- 86, 2010.

COLODETE C. M.; DOBBS L. B.; RAMOS, A. C. Aplicação das Micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. **Natureza on line**, v. 12, n. 1, p. 31-37, 2014.

COSTA, C. H. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; FERRANI NETO, J. Persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa de crotalaria em função da fragmentação. **Bioscience Journal**, v. 28 (3): 384-394, 2012.

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JÚNIOR, D. J.; TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 2, p. 100-105, 2010.

CRUSCIOL, C.A.C; COTTICA, R.L.; LIMA, E.V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.40, n.2. p161-168, 2005.

FANCELLI, A. L. Plantas alimentícias: guia para aula, estudos e discussão. Piracicaba: ESALQ, 1986.131 p. In: **flexibilidade para adubação nitrogenada em cobertura. Estágios fenológicos e curva de absorção do nitrogênio**. Acessado em: <https://www.forseedsementes.com.br/tecnologias/roundup-ready-milho-2/>

FEROLLA, F. S. et al. Produção de matéria seca, composição da massa de forragem e relação lâmina foliar/ caule + bainha de aveia-preta e triticale nos sistemas de corte e de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1512-1517, 2007.

FONSECA, M. F. de A. C. **Agricultura orgânica: regulamentos técnicos para acesso aos mercados dos produtos orgânicos no Brasil**. Niterói: PESAGRO-RIO, 2009, 121 p.

FONTANELI, R. S. et al. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região Sul-brasileira**. Brasília: Embrapa Trigo, 2012.

FRANCHINI, J. C; COSTA, J. M; TORRES, H. D. E. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Soja, Ministério

da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Documentos 327**. ISSN 2176-2937 Jun. 2011.

GAZOLA, E.; CAVARIANI, C. Desempenho de cultivares transgênicas de soja em sucessão a culturas de inverno em semeadura direta. **Bioscience Journal**., Uberlândia, v.27, n.5, p.748-763, 2011.

GEORGE, T.S.; TURNER, B.L.; GREGORY, P.J.; CADE-MENUN, B.J.; RICHARDSON, A.E. Depletion of organic phosphorus from Oxisols in relation to phosphatase activities in the rhizosphere. **European Journal of Soil Science**, v.57, p.47-57, 2006.

GIACOMINI, S. J. AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S.; FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 325-334, 2003a.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; HUBNER, A.P.; LUNKES, A. GUIDINI, E.; AMARAL, E.B. do. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.38. n. 9, 2003.

GIACOMINI, S. J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2003, vol.27, n.2 [cited. 2020-05-18], pp.325-334. Available from: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832003000200012&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000200012&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 1806-9657. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200012>

HERRMANN, D.R. **Atributos físicos e microbiológicos do solo em sistema de manejo orgânico e convencional com semeadura direta**. Tese, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal C. Rondon, 2020. 83 p.

KOIDE, R. T; MOSSE, B. A history of research on arbuscular mycorrhiza. **Mycorrhiza**, v.14, p.145–163, 2004.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; SILVA, P. B.; CARDOSO, M. M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agrônômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, suplemento 1, p. 33-40, 2012.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B.; SILVEIRA, P. M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo

Vermelho distroférico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 21- 28, 2006

KUNZE, A. et al. Phosphatase activity in sandy soil influenced by mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 705–711, 2011.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C. de; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, E. R.; Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 36, p. 71-78, 2012.

LIMA FILHO, F. de; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; DONIZETI CARLOS, J.A. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas. **Embrapa**, Brasília, DF. V. 2, 2014. 478p

LOPES, A. S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema Plantio Direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, 2015.

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F. C. B.L.; LIMA, R. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; YANO, E. H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras, milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 251-259, 2013.

MENEZES, L. A. & LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, n.3, p.173-180, 2004.

MERGULHÃO, A. C. E. S.; SIVA, M. V. da; LYRA, M. C. C. P. de; FIGUEIREDO, M. V. B.; SILVA, M. L. R. B. da; MAIA, L. C. Caracterização morfológica e molecular de fungos micorrízicos arbusculares isolados de áreas de mineração de gesso, Araripina, PE, Brasil. **Hoehnea**. v. 41, n. 3, p. 393-400, 2014.

MERTEN, G. H; ARAÚJO, A. G.; BISCAIA, R. C. M.; BARBOSA, G. M. C.; CONTE, O. No-till surffasse runoff and soil losses in the southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 152, p. 85-93, 2015.

MEURER, E.J.; **Fundamentos de química do solo**. 2 ed. Porto Alegre. Gênese, 2004. 174 p.

MEURER, E. J. **Potássio**. In: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG: Sociedade brasileira de ciência do solo, 2006. cap.11, p. 281-295.

MIELNICZUK, J. Manejo conservacionista da adubação potássica. In YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. p. 201-222.

MIRANDA, N.O. de; GÓES, G.B. de; ANDRADE NETO, R.C.; LIMA, A.S. Sorgo forrageiro em sucessão a adubos verdes na região de Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 2, 2010.

MOREIRA, F. M. S; CARES, J. E; ZANETTI, R; STURMER, S. **O ecossistema solo**: Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras, UFLA, 2013.

MOTTIN, M.C. **Propriedades físico-químicas do solo e produtividade de milho de segunda safra consorciado com plantas de cobertura e soja em sucessão**. Tese de doutorado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal C. Rondon. 2019, 83 p.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 531-538, 2001.

OLIVEIRA, T. K. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n. 8, p. 1079-1087, 2002.

PEREIRA, SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J.N., GOLLE, D.P.; HORN, R. C. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias** [online]. vol.40, n.4, 2017.

PERIN, A.; SANTOS, R.H.S; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M.; CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.39, n.1, 2004.

RAMOS, L. M. G.; KONRAD, M. L. D. F.; SILVA, D. E.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; BATISTA, L. M. T. Diversidade de fungos micorrízicos e

colonização radicular, em forrageiras solteiras e em consórcio com milho. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 2, p. 235–244, 2012.

RIBEIRO, L. L. **Manejo mecânico de plantas de cobertura e seus efeitos nas propriedades químicas do solo e na produtividade da soja em sucessão**. Dissertação de mestrado Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal C. Rondon. 2019, 57 p.

REDIN, M.; GIACOMINI, S.J; FERREIRA; P.A.A.; ECKHARDT; D.P. Plantas de cobertura de solo e agricultura Sustentável: espécies, matéria seca e ciclagem de carbono e nitrogênio. In: TIECHER, T. **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, RS: UFRGS, 2016. p.7-22.

ROSOLEM, C.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; VOLF, M.R.; NASCIMENTO, C.A.C. do; MARIANO, E. Dinâmica do potássio no sistema solo-planta. In: SEVERIANO, E.C. (ed). **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.10, 2019.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A. C.;MACEDO MOTTA, C.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Leguminosas forrageiras anuais de inverno. In: FONTANELI, R. S; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2.ed. Brasília: Embrapa, p. 305- 320, 2012.

SANTOS, I. C.; SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W. Adubação verde no cultivo de hortaliças. **Circular Técnica**, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, v. 1, n. 179, p. 1-6, 2013.

SILVA, E.C.da; AMBROSANO, E.J.; SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; CARVALHO, A. M, de. Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas. In: LIMA FILHO, O.F. de; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; DONIZETI CARLOS, J.A.; Brasília DF: Embrapa, 2004. v.1 p.507

SILVA, E.C. da; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M.E.da C.; TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio (15N) da crotalária e do

milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, v.36, 2006.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; VILLANUEVA, F.C.A.; ESPINAL, F.S.C. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.118-127, 2009.

SILVA, A. G. B.; GUERRA, J. G. M.; GONÇALVES JUNIOR, M.; COSTA, J. R.; ESPINDOLA, J. A. A.; ARAÚJO, E. S. Desempenho agrônômico de mucuna-verde em diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 6, p. 603-608, 2011.

SILVA, A. F. DA; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 179-192, Jan/fev. 2014.

SIQUEIRA, J. O; SOUZA, F. A; CARDOSO, E. J. B. N; TSAI, S.M. **Micorrizas: 30 anos no Brasil**. Ed. UFV, 1º ed. Lavras, Minas Gerais. 2010.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. H. M.; FERRANI NETO, J.; CASTRO, G. S. A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milheto, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47 (10): 1462- 1470, 2012.

SOUZA, J.L.; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, 2013.

TESDALE, J.; BRANDSAETER, L.O.; CALEGARI, A.; SKORA NETO, F. Cover crops and weed management. In:UPADHYAYA, M.K.; BLACKSHAW, R.E. (Ed.). **Non-chemical weed management: principles, concepts and technology**. Cambridge:CAB International, 2007.

TEXEIRA, W. G.; MALTA, C. G. Adubos verdes como fonte de nutrientes para uma Variedade crioula de milho pipoca. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, n.14, 2012.

TIECHER, T.; RHEINHEIMER, D. S.; CALEGARI, A. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment. **Soil and Tillage Research**, v. 124, p. 57-67, ago. 2012.

TOGO CÔRTE, G. R.; SOUZA ROCHA, A.M.; CORREIA COSTA, L.; SANTOS CAVALCANTE, V.; MELLO PRADO, R.; SANTOS, V.R. dos. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em adubos verdes cultivados em área sob manejo orgânico. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal, 2015.

TURNER, B. L. Resource partitioning for soil phosphorus: a hypothesis. **Journal of Ecology**, v. 96, n. 4, p. 698–702, jul. 2008.

VANELLI, J.; SEIDEL.E.P.; STANGARLIN, J.R.; MOTTIN, M.C.; COUTINHO, P.W.R.; HENQUEMEIER, N.P.; CADORIN, D.A.; FRADALOSO, J.F.; ALVES, A.L. Microbiological Assessment of soil planted with cover crops, and soybean and maize in succession. **American Journal of Plant Sciences**, v. 9, 2018.

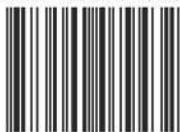




**Centro Vocacional Tecnológico de Agroecologia, Mandioca  
e Agricultura Sustentável do Oeste do Paraná**

ISBN: 978-65-00-07943-2

TCD



9 786500 079432



**unioeste**  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná



**Unioeste – Campus de Marechal Cândido Rondon**

Centro de Ciências Agrárias (CCA), Rua Pernambuco, 1777

85960-000 – Marechal Cândido Rondon, PR

Fone: (45) 3284 – 7901